PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile

RegioneEmiliaRomagna

CONFERENZA DELLE REGIONI E DELLE PROVINCE AUTONOME

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

MICROZONAZIONE SISMICA

Livello 3

Relazione illustrativa

Regione Emilia-Romagna

Comune di Monzuno



Regione	Soggetto realizzatore	Data
EMILIA-ROMAGNA		
Studio realizzato con il contributo di cui all'OCPDC 532/2018 recepita con DGR 2047/2018	Dott. geologo Samuel Sangiorgi	Giugno 2023

INDICE GENERALE

1 INTRODUZIONE....3
1.1 Contenuti dello studio....3
1.2 Riferimenti normativi....5
1.3 Gli elaborati a corredo dello studio....6
2 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO....9
2.1 Riferimenti bibliografici....9
2.2 Sismicità storica....10
2.3 Sorgenti sismogeniche e mappa pericolosità sismica INGV....10
2.4 Ulteriori elementi di riferimento per la pianificazione territoriale....12
2.4.1 Gli indirizzi regionali per gli studi di microzonazione sismica....12
2.4.2 Il rischio sismico definito nel Piano Territoriale Metropolitano di Bologna....14
3 ASSETTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO DELL'AREA....15
3.1 Inquadramento geologico regionale....15
3.2 Ulteriori dati geologici e morfo-strutturali in aree con evidenze di attività tettonica recente....18
3.3 Stratigrafia....20
3.3.1 Elementi introduttivi....20
3.3.2 Unità Liguridi....22
3.3.3 Successione Epiligure....22
3.3.4 Dominio Padano-Adriatico....24
3.3.5 Depositi continentali quaternari....24
4 DATI GEOTECNICI E GEOFISICI....28
4.1 Dati pregressi e indagini eseguite per la MS di livello 2 (OCDPC 344/2016)....28
4.2 Le indagini eseguite per la MS di livello 3 (OCDPC 532/2018)....29
5 MODELLO DEL SOTTOSUOLO....31
5.1 Brento – La Vallazza....31
5.2 Vado – Valla (con ulteriori approfondimenti – OCDPC 532/2018)....32
5.3 Ca' del Cucco....37
5.4 Tre Fasci....37
5.5 Monzuno – Madonnina delle campagne (con ulteriori approfondimenti – OCDPC 532/2018)....39
5.6 Cozzo di Sotto e area di emergenza “Camping Riva di Setta”....43
5.7 Le Braine....45
5.8 Rioveggio – Canova – Polverara – Molino Cattani....46
5.9 San Rocco....48

5.10 Montorio....49
5.11 Gabbiano....50
5.12 Trasasso – Serra di Trasasso....51
5.13 Area di emergenza "Camping Le Querce"....52
5.14 Valle....53
5.15 Nasce....54
6 INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE....56
6.1 Frequenze naturali dei terreni....56
6.2 Substrato sismico e coperture....56
6.3 Ulteriori considerazioni sugli approfondimenti di "livello 3"....57
7 METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI (MS LIVELLO 1-2)....58
7.1 Cenni introduttivi....58
7.2 I fattori di amplificazione considerati per lo studio di MS e il livello di approfondimento delle MOPS....58
7.3 Calcolo dei fattori di amplificazione con approccio semplificato....59
7.3.1 Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali....59
7.3.2 Zone di attenzione per instabilità....62
7.4 Effetti della topografia: calcolo dei fattori di amplificazione con approccio semplificato. 62
7.5 Calcolo dei valori di "Hazard" (HSM)....65
8 METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI (MS LIVELLO 3)....66
8.1 Cenni introduttivi sugli approfondimenti svolti....66
8.2 Calcolo dei fattori di amplificazione con modelli numerici bidimensionali della RSL....67
8.2.1 Cenni metodologici....67
8.2.2 Dati di input....68
8.2.3 Esiti delle simulazioni numeriche....71
8.3 Verifiche di stabilità dei pendii in condizioni sismiche....75
8.3.1 Cenni metodologici....75
8.3.2 Esiti delle verifiche....76
8.4 Calcolo dei valori di "Hazard"....78
9 ELABORATI CARTOGRAFICI....80
9.1 Carta delle Indagini (Tavola 1)....80
9.2 Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica (Tavola 2)....80
9.3 Carta delle frequenze naturali dei terreni (Tavola 3)....81
9.4 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica MOPS (Tavola 4)....82
9.5 Carta delle velocità delle onde di taglio S (Tavola 5)....86
9.6 Carta di microzonazione sismica livello 2-3 (Tavole da 6 a 13)....87
9.7 Carta della distribuzione dei valori di H (Tavole da 14 a 17)....88
10 BIBLIOGRAFIA....89

1 INTRODUZIONE

1.1 Contenuti dello studio

L'Unione Comuni Appennino Bolognese[1] e nello specifico il Comune di Monzuno hanno beneficiato di un ulteriore assegnazione di contributi stanziati dal Dipartimento della Protezione Civile nazionale per l'aggiornamento degli studi di microzonazione sismica e CLE con approfondimenti della MS di "livello 3", come previsto dalla Legge 77/2009 e ai sensi dell'Ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 532/2018 (recepita dalla Regione Emilia-Romagna con Deliberazione della Giunta Regionale n. 2047/2018).

Occorre rammentare che il Comune di Monzuno è già risultato beneficiario di un precedente contributo per la realizzazione di studi di MS di "livello 2" e CLE del territorio di propria competenza ai sensi dalla Legge 77/2009 (OCDPC 344/2016, recepita dalla RER con DGR n. 2188/2016). Lo studio di MS di "livello 2" è stato svolto dal Raggruppamento costituito dai geologi professionisti Samuel Sangiorgi (Capogruppo), Raffaele Brunaldi, Maurizio Zamboni e Antonio Milioto e dall'ing. Marco Soglia (rilievi per l'analisi della CLE).

Questo ulteriore studio ha dunque permesso di svolgere le seguenti attività:

- l'esecuzione di nuove indagini geognostiche e geofisiche (penetrometrie DPSH; stendimenti sismici a rifrazione; registrazioni HVSR);
- il recepimento di ulteriori indagini geognostiche/geofisiche di repertorio forniteci dall'Amministrazione comunale;
- l'aggiornamento degli studi di "livello 1", e in particolare della cartografia MOPS in conseguenza delle ulteriori indagini e approfondimenti svolti. In questo senso, questo ulteriore studio ha consentito di effettuare alcune rettifiche necessarie ai fini della coerenza con le linee guida CTMS come la rimozione delle <<zone di potenziale evoluzione di frana>> (ad esclusione di quelle già definite – e ancora vigenti – nelle "perimetrazioni delle aree di frana" dall'Autorità di Bacino del Reno: zone 2-3-4). Si sono inoltre apportati ulteriori revisioni alle zone di attenzione per instabilità di versante per tenere conto anche dei recenti aggiornamenti dell'"Inventario del Dissesto " regionale.
- un ampliamento delle aree studiate e con approfondimenti fino al "livello 2" per comprendere il territorio urbanizzato definito dalla pianificazione urbanistica comunale (PUG) ai sensi della LR n.24/2017. In questo senso, sono stati inclusi nella microzonazione con approfondimenti fino al "livello 2" due nuovi areali comprendenti due aree di emergenza indicate nella CLE non considerate in precedenza nello studio di MS. Si sono inoltre calcolati e rappresentati cartograficamente gli ulteriori fattori di amplificazione richiesti dagli Indirizzi regionali vigenti in materia di rischio sismico (DGR 476/2021);

[1] L'Unione comprende anche il territorio comunale di Monzuno

- la realizzazione di nuove sezioni geotecniche e sismostratigrafiche rappresentative delle "zone di attenzione per instabilità di versante" interessate dagli approfondimenti di "livello 3"
- gli approfondimenti di "livello 3" consistiti in analisi numeriche bidimensionali della risposta sismica locale e in verifiche di stabilità dei pendii in condizioni sismiche delle "zone di attenzione per instabilità di versante" di interesse. Le verifiche hanno inoltre consentito di quantificare gli spostamenti attesi per i corpi di frana studiati;
- l'aggiornamento cartografico dell'Analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (CLE);
- l'archiviazione dei nuovi dati disponibili e il complessivo adeguamento delle cartografie secondo gli standard di rappresentazione e archiviazione previsti per la MS e la CLE.

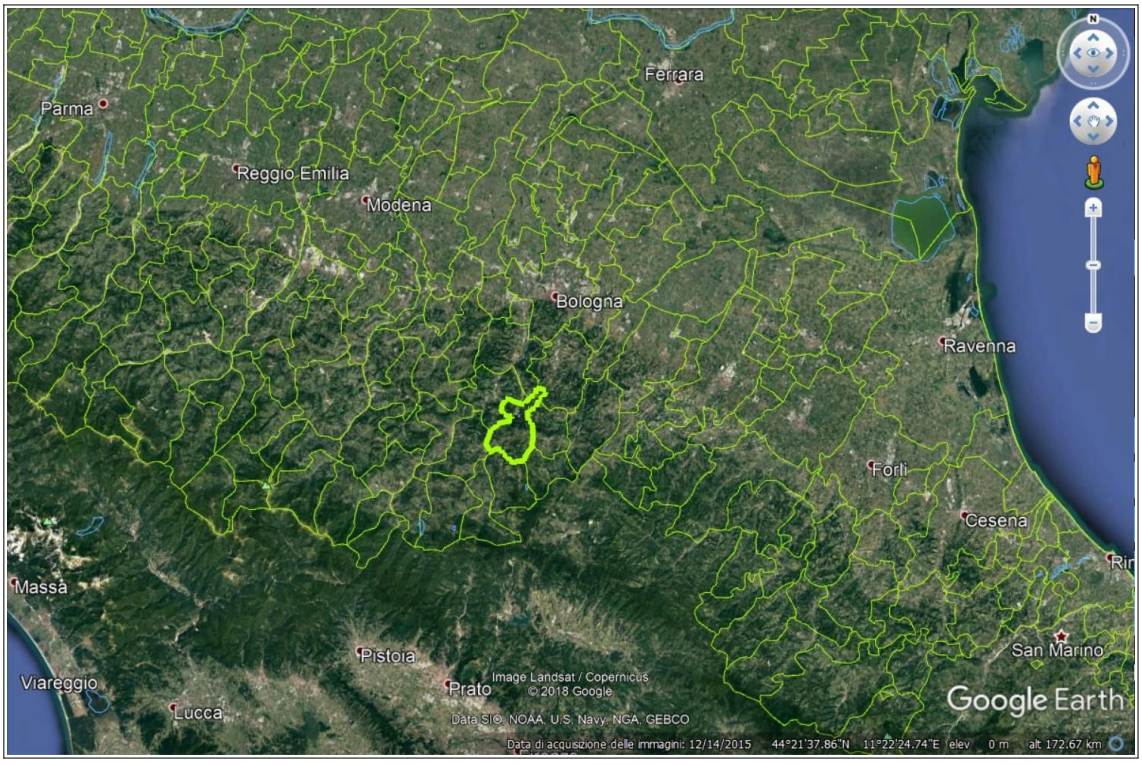


Figura 1.1 – Localizzazione del territorio amministrativo del Comune di Monzuno (foto aerea: "Google Earth")

La figura 1.1 offre un inquadramento del limite comunale di Monzuno: si tratta di un territorio amministrativo situato in un contesto morfologico montano, di estensione areale totale pari a circa 65 Kmq e con una popolazione di circa 6.398 abitanti (dato ISTAT 01/01/2023).

La figura 1.2 localizza con maggior dettaglio le aree urbane/urbanizzate (il Capoluogo e le frazioni) interessate dallo studio di microzonazione sismica.

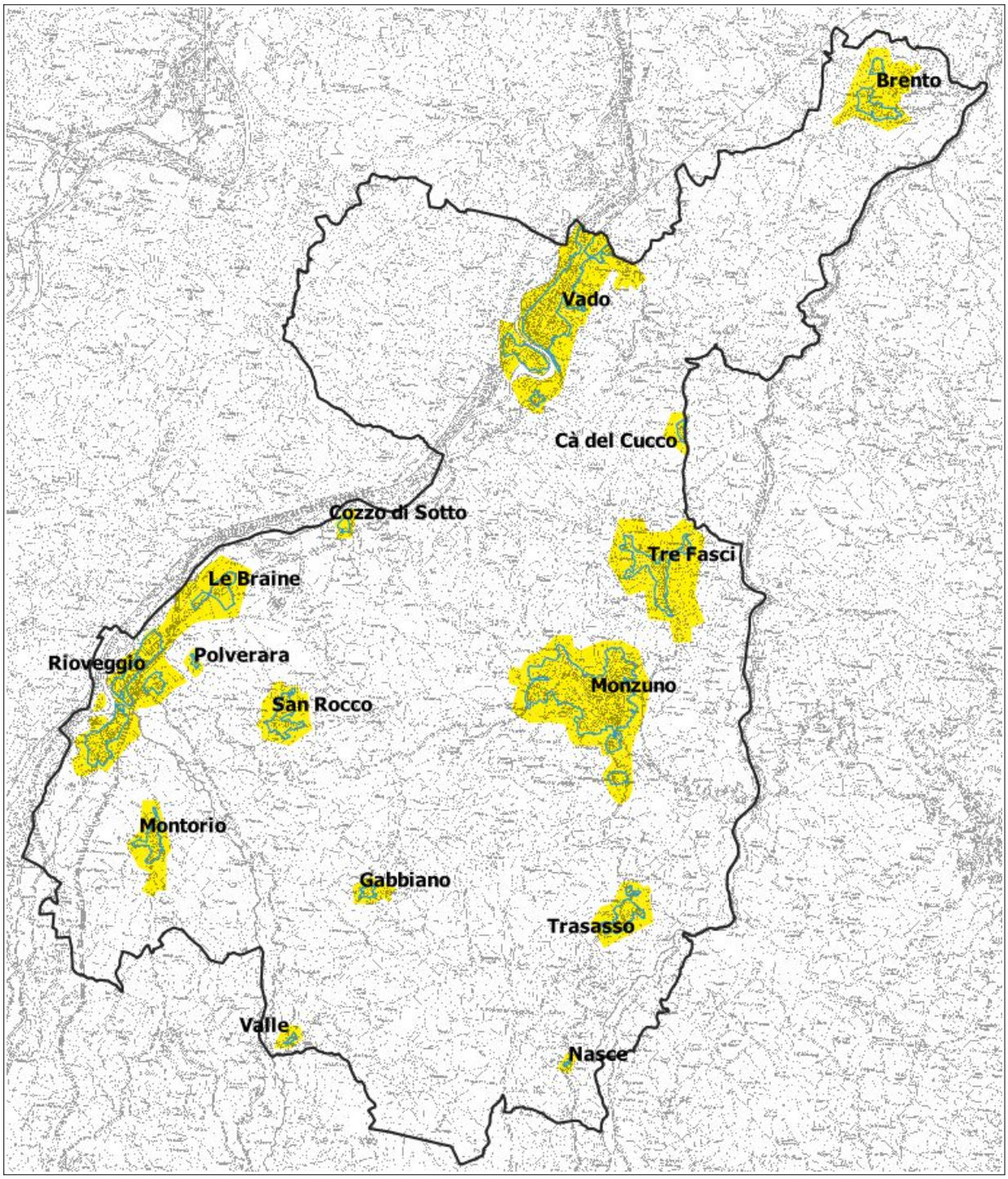


Figura 1.2 – Areali interessati dalla microzonazione sismica (in evidenziato giallo) e aree urbanizzate (limiti in azzurro) Base topografica della Regione Emilia-Romagna, scala 1:25.000

1.2 Riferimenti normativi

Il presente lavoro è redatto sulla base delle indicazioni contenute nell'Allegato A2 della Delibera n. 2047/2018 della Giunta della Regione dell'Emilia-Romagna: "*criteri per la realizzazione degli*

studi di microzonazione sismica e analisi della condizione limite per l'emergenza, di cui all'ordinanza del capo dipartimento della protezione civile n. 532/2018 e decreto del capo dipartimento della protezione civile del 9 agosto 2018"

Per quanto non specificato nel suddetto documento, i riferimenti tecnici per la realizzazione dello studio e per l'elaborazione e la redazione delle tavole cartografiche sono rappresentati dai seguenti testi:

- ✔ "Microzonazione sismica – Standard di rappresentazione e archiviazione informatica versione 4.2", redatto dalla Commissione tecnica per la microzonazione sismica (Commissione tecnica per la microzonazione sismica, dicembre 2020), da qui in avanti "Standard CTMS 4.2";
- ✔ "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica", approvato dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome e successive modifiche e integrazioni (Gruppo di lavoro MS, 2008; AA.VV., 2011), da qui in avanti "indirizzi ICMS".

Nella redazione dello studio ci si è inoltre riferiti alle seguenti normative:

- ✔ Deliberazione della Giunta Regionale n. 630/2019 "Atto di Coordinamento Tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, LR n. 24/2017)"
- ✔ Deliberazione della Giunta Regionale n. 476/2021 (testo coordinato con le modifiche introdotte dalla DGR n. 564/2021) "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 alla deliberazione della Giunta regionale 29 aprile 2019, n. 630"
- ✔ LR N. 19/2008 "Norme per la riduzione del Rischio Sismico";
- ✔ LR N.24/2017 "Disciplina regionale sulla tutela e l'uso del territorio";
- ✔ DM del 17/01/2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni".

1.3 Gli elaborati a corredo dello studio

Gli elaborati dello studio di microzonazione sismica per il Comune di Monzuno sono i seguenti:

- la presente Relazione Descrittiva (riprodotta in formato *.pdf) che, oltre a caratterizzare e inquadrare le aree oggetto delle analisi nel contesto geologico, geomorfologico e sismotettonico regionale, descrive le metodologie seguite e illustra i risultati dello studio di microzonazione rappresentati nelle diverse cartografie;
- le tavole cartografiche (riprodotte in formato *.pdf) elencate in tabella 1.1 e illustrate in dettaglio nel capitolo 8;
- l'archivio informatizzato dei dati delle indagini (alfanumerici e cartografici in formato *.shp – shapefile);

- le sezioni litotecniche di riferimento per il territorio studiato (riprodotte in formato *.pdf), contenute nell'Allegato 1;
- i rapporti delle indagini di nuova esecuzione realizzate per questo ulteriore aggiornamento e per gli approfondimenti di "livello 3" (riprodotti in formato *.pdf), contenuti nell'Allegato 2;
- le sezioni topografiche pubblicate per la stima degli effetti topografici per il territorio studiato fino al "livello 2" (riprodotte in formato *.pdf), contenute nell'Allegato 3;
- le schede dei modelli numerici bidimensionali della RSL (riprodotte in formato *.pdf), contenute nell'Allegato 4;
- i rapporti delle verifiche di stabilità di versante in condizioni sismiche (riprodotti in formato *.pdf), contenuti nell'Allegato 5.

Elaborato cartografico	Sigla Tavola	Scala
Carta delle indagini	Tavola 1a/b/c	1:5.000
Carta geologico-tecnica	Tavola 2a/b	1:10.000
Carta delle frequenze naturali dei terreni	Tavola 3a/b	1:10.000
Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)	Tavola 4a/b/c	1:5.000
Carta delle velocità delle onde di taglio S	Tavola 5a/b	1:10.000
Carta di microzonazione sismica livello 3 – FA_{PGA}	Tavola 6a/b/c	1:5.000
Carta di microzonazione sismica di livello 3 – FA_{SA1}	Tavola 7a/b/c	1:5.000
Carta di microzonazione sismica di livello 3 – FA_{SA2}	Tavola 8a/b/c	1:5.000
Carta di microzonazione sismica di livello 3 – FA_{SA3}	Tavola 9a/b/c	1:5.000
Carta di microzonazione sismica di livello 3 – FA_{SA4}	Tavola 10a/b/c	1:5.000
Carta di microzonazione sismica di livello 3 – FA_{SI1}	Tavola 11a/b/c	1:5.000
Carta di microzonazione sismica di livello 3 – FA_{SI2}	Tavola 12a/b/c	1:5.000
Carta di microzonazione sismica di livello 3 – FA_{SI3}	Tavola 13a/b/c	1:5.000
Carta della distribuzione dei valori di H – H_{SM}	Tavola 14a/b/c	1:5.000
Carta della distribuzione dei valori di H – H_{0408}	Tavola 15	1:5.000
Carta della distribuzione dei valori di H – H_{0711}	Tavola 16	1:5.000
Carta della distribuzione dei valori di H – H_{0515}	Tavola 17	1:5.000

Tabella 1.1 – Elaborati cartografici predisposti per lo studio di microzonazione sismica del Comune di Monzuno

Tutti gli elaborati sono stati realizzati secondo le specifiche indicate nella DGR 2047/2018 della Regione Emilia-Romagna e considerando anche gli ulteriori aggiornamenti apportati dalla vigente DGR 476/2021. Per quanto riguarda l'archiviazione e la rappresentazione cartografica, vengono rispettate le specifiche riportate nelle linee guida emanate dal Dipartimento della Protezione Civile con gli Standard MS 4.2 (CTMS, 2020). Si segnala a questo proposito che l'obbligo di attenersi in modo rigoroso ai suddetti standard di rappresentazione, ha vincolato il

presente lavoro sia a livello di articolazione delle tavole (numero e tipologia) e della relazione (titoli e ordine dei capitoli), che a livello di rappresentazione cartografica (tematismi rappresentati, legende e denominazioni, ma anche layout, colori e font dei caratteri) e di contenuti descrittivi.

Le cartografie elaborate hanno utilizzato come base topografica di riferimento i raster tipografici georeferenziati della Regione Emilia dalla Regione Emilia Romagna (DBTR scala 1.5.000), nella versione più aggiornata pubblicata on line (formato WMS). Per questo lavoro, la base topografica raster è stata georeferenziata secondo il sistema di riferimento richiesto, ovvero nelle coordinate “WGS_1984_UTM_Zone_33N”, per produrre tutti gli strati informativi in formato numerico in coerenza con quanto richiesto dai già citati Standard MS.

2 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Riferimenti bibliografici

La sismicità di un territorio è strettamente connessa al suo contesto tettonico-strutturale, dunque alla presenza di strutture geologicamente "attive". Alla base di ogni stima della pericolosità sismica di un territorio vi è quindi l'indispensabile conoscenza della sua storia sismica (cioè di tutte le informazioni sui terremoti avvenuti nel passato) e della geologia strutturale locale, fattori strettamente connessi tra loro.

A supporto della redazione del presente capitolo, sono stati utilizzati i dati liberamente consultabili di database pubblici sviluppati da diversi enti e gruppi di ricerca:

- il *CPTI15 - Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani versione 4.0* (Rovida et al., 2022; http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15), che raccoglie i parametri dei terremoti avvenuti in Italia con intensità massima ≥ 5 o magnitudo ≥ 4.0 d'interesse nella finestra temporale 1000-2020;
- il *DBMI15 versione 4.0 - Database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani* utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI15 e provenienti da diverse fonti. È relativo ai terremoti con intensità massima ≥ 5 e d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2020 (Locati et al., 2022 http://emidius.mi.ingv.it/DBMI);
- il *CFTI5Med - Catalogo dei Forti Terremoti in Italia e in area mediterranea* (Guidoboni et al., 2018), che riporta per numerose località i risentimenti di circa 300 tra i terremoti storici più forti avvenuti sul territorio italiano, e fornisce anche informazioni sul contesto storico, sociale e demografico in cui gli eventi si sono prodotti, sui parametri epicentrali, sugli effetti dei terremoti sull'ambiente fisico (fagliazione superficiale, frane sismo-indotte, liquefazioni, maremoti, ecc.), sul danneggiamento dei centri storici e di beni monumentali;
- la *Mappa di Pericolosità Sismica Nazionale* (INGV, 2004; http://esse1.mi.ingv.it/) che definisce una "pericolosità di base" su un reticolo di punti di riferimento. Ad essi sono attribuiti, per nove differenti periodi di ritorno del sisma atteso, i valori di accelerazione orizzontale massima del suolo (ag) e dei principali "parametri spettrali", da utilizzare per il calcolo dell'azione sismica;
- la *Zonazione Sismogenetica ZS9* (Meletti e Valensise, 2004 (http://zonesismiche.mi.ingv.it/documenti/App2.pdf), che individua sul territorio italiano 42 macrozone-sorgente e ha rappresentato il riferimento per i calcoli di pericolosità sismica nel territorio nazionale di cui al punto precedente;

  il *Database delle Sorgenti Sismogenetiche Italiane DISS versione 3.3.0* (DISS Working Group, 2021), che contiene sorgenti individuali e composite di terremoti, intese come una rappresentazione georeferenziata semplificata e in 3D di faglie (sorgenti individuali) o regioni contenenti faglie (sorgenti composite) in grado di generare terremoti di M 5.5 o superiore.

2.2 Sismicità storica

Il DBMI15 (Locati et al., 2022), riporta per il Capoluogo 14 eventi sismici (figura 2.1) con modesti risentimenti per i manufatti esistenti (vi risultano associate massime intensità pari a 6). La scarsità di dati è imputabile alla mancanza o al non reperimento di fonti storiche.

Effetti	In occasione del terremoto del														
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
5-6	1892	12	29	13	47	4	Castel del Rio	36	5-6	4.37
4-5	1964	09	05	21	09		Appennino tosco-emiliano	22	5	4.35
NF	1986	12	06	17	07	1	Ferrarese	604	6	4.43
NF	1992	04	17	11	59	0	Appennino bolognese	56	4-5	4.11
3	1995	08	24	17	27	3	Appennino pistoiese	56	6	4.45
NF	1996	03	14	01	56	3	Appennino tosco-romagnolo	20	4-5	3.56
NF	2000	05	06	22	07	0	Faentino	85	5	4.08
NF	2000	05	08	12	29	5	Faentino	126	5	4.67
NF	2000	05	10	16	52	1	Faentino	151	5-6	4.82
NF	2002	06	18	22	23	3	Frignano	186	4	4.30
NF	2002	06	19	22	11	1	Frignano	52	3	4.03
5-6	2003	09	14	21	42	5	Appennino bolognese	133	6	5.24
NF	2003	12	07	10	20	3	Forlivese	165	5	4.18
NF	2005	07	15	15	17	1	Forlivese	173	4-5	4.29

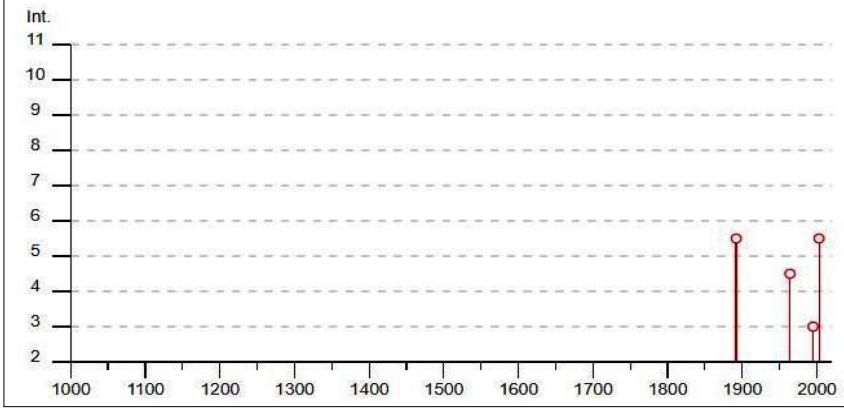


Figura 2.1- Terremoti significativi per Monzuno e macrointensità stimata (fonte: INGV - Database Macrosismico Italiano)

2.3 Sorgenti sismogeniche e mappa pericolosità sismica INGV

Secondo la Zonazione sismogenetica del Territorio Italiano - ZS9, prodotta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) nel 2004 (Meletti e Valensise, 2004), che rappresenta il riferimento per le valutazioni di pericolosità sismica nel territorio nazionale, l'area in esame ricade nella Zona 913 (Appennino Emiliano-romagnolo), caratterizzata da un valore di Mw_{max} pari a 6.14. La zona sismogenica 913 è una delle zone in cui è stato scomposto longitudinalmente l'arco appenninico settentrionale e centrale da Parma fino all'Abruzzo, con eventi sismici riconducibili a meccanismi cinematici prevalentemente compressivi fino al suo margine, oppure a situazioni trascorrenti nelle zone di svincolo della struttura appenninica. Tutta la fascia è caratterizzata da terremoti storici che raramente hanno raggiunto valori molto elevati di magnitudo (fonte: INGV).

Il database DISS v. 3.3.0 (DISS Working Group, 2021) evidenzia come tutto il territorio di Monzuno ricada esternamente alle sorgenti sismogeniche definite per il territorio appenninico. In particolare, il Comune risulta a NE della sorgente "ITCS037 - Mugello-Città di Castello-Leonessa" (figura 2.2), che comprende una lunga fascia di territorio esteso fino all'Appennino Umbro e caratterizzata da sismicità legata a meccanismi tettonici prevalentemente estensionali e profondità ipocentrali dei terremoti generalmente comprese tra 12 km e 22 km. La sorgente sismogenica individuale meno distante all'area di studio è localizzabile nel territorio del Mugello (ITIS087 Mugello Ovest), con l'evento più significativo del 23/06/1542 (magnitudo stimata Mw =5,9).

La più vicina sorgente sorgente sismogenica individuale è tuttavia localizzata a est del territorio comunale ("ITIS058 "Loiano"), recentemente definita in seguito all'evento sismico del settembre 2003 (Mw =5,3).

Il territorio comunale può inoltre risentire di terremoti associabili all'estesa e più settentrionale fascia sismogenica complessa denominata "ITCS047 - Castelvetro di Modena-Castel San Pietro Terme". Questa fascia sismogenica è caratterizzata da una sismicità associata al fronte compressivo del margine appenninico bolognese affiorante.

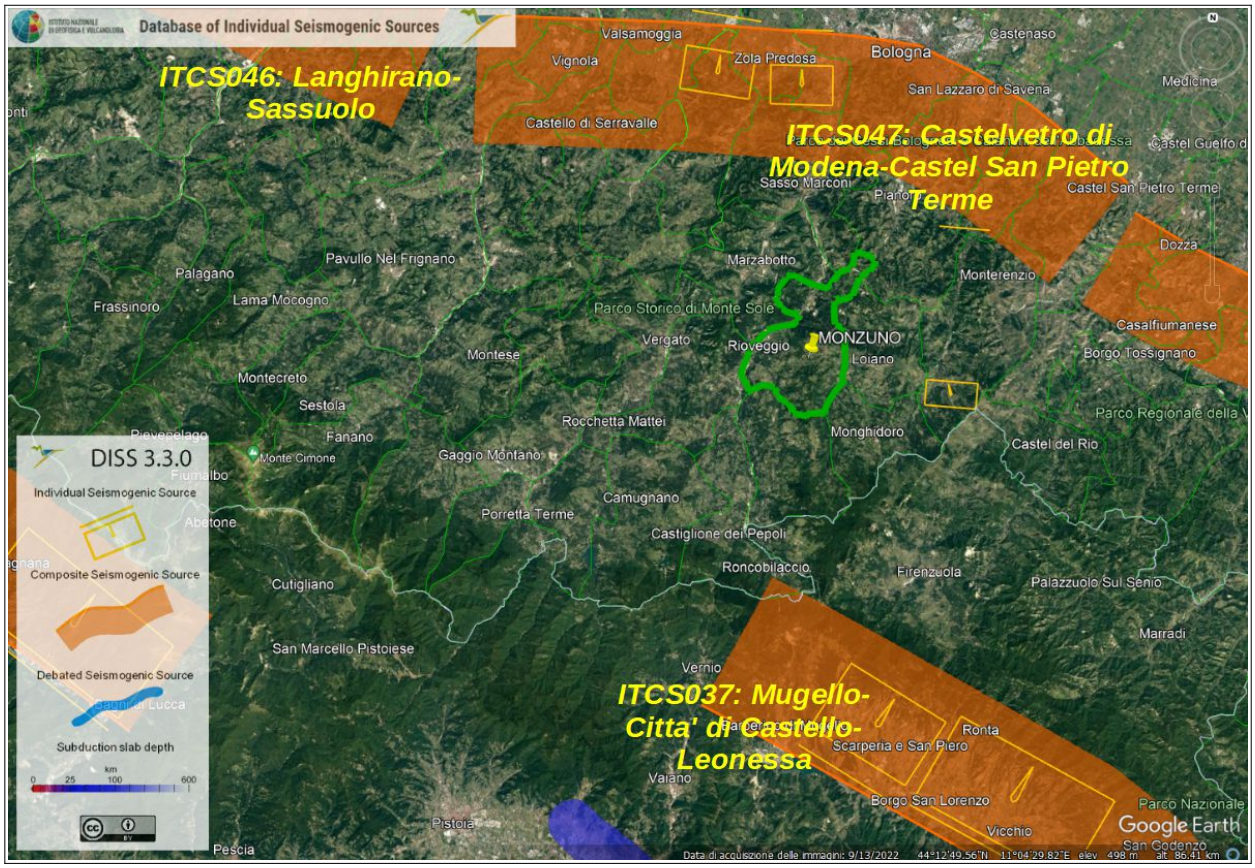


Figura 2.2 – Localizzazione delle sorgenti sismogenetiche contenute nel database DISS (v.3.3). Foto aerea: Google Earth

2.4 Ulteriori elementi di riferimento per la pianificazione territoriale

2.4.1 Gli indirizzi regionali per gli studi di microzonazione sismica

La Regione Emilia-Romagna ha elaborato e approvato (con Delibera dell'Assemblea Legislativa n.112 del maggio 2007) gli <<Indirizzi per gli studi di Microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica>>, in coerenza con la LR n.20/2000 <<Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio>>. Questi indirizzi regionali per la microzonazione sismica, sono stati redatti sulla scorta degli esiti delle indagini sismiche che la Regione Emilia-Romagna ha effettuato nel territorio regionale negli ultimi 40 anni circa, assumendo come riferimento la "pericolosità di base" elaborata da INGV e recepita a livello nazionale con l'OPCM 3519/2006.

Con le successive DGR 2193/2015 e DGR 630/2019, vengono introdotti sostanziali aggiornamenti agli indirizzi tecnici di riferimento per le analisi sismiche da espletare a supporto della pianificazione territoriale e urbanistica. Queste revisioni hanno considerato come ulteriore riferimento anche le vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC), le ulteriori esperienze scientifiche seguite ai recenti eventi sismici italiani (L'Aquila 2009; pianura emiliana del 2012) e, infine, le esperienze di applicazione della DAL 112/2007. In sintesi, le principali novità contenute nella la DGR 2193/2015 e nella DGR 630/2019 consistono:

- ✔ nelle rimodulazioni degli abachi di microzonazione sismica da considerarsi per le analisi semplificate ("livello 2");
- ✔ nell'introduzione di un ulteriore fattore di amplificazione riferito all'intensità spettrale di Housner SI3 (per l'intervallo di periodo T compreso tra 0,5 s e 1,5 s);
- ✔ nell'introduzione dei fattori di amplificazione riferiti all'accelerazione spettrale SA1, SA2, SA3, SA4 (per intervalli di periodo T rispettivamente di 0,1-05s, 04-08s, 0,7-0,11s, 0,5-1,5s);
- ✔ nella definizione dell'input sismico (ag_{ref} al sito di riferimento) che ora è definito in base ai valori di pericolosità sismica elaborati dall'INGV per tutto il territorio nazionale sui punti di una griglia di passo pari a 0,05° (mappa MPS04) in analogia con quanto previsto per le NTC 2008);
- ✔ nella richiesta di produrre cartografie delle frequenze naturali dei terreni a scala territoriale e a supporto del "primo livello" di approfondimento;
- ✔ nella richiesta di produrre una carta della distribuzione sul territorio dei valori di "Hazard" H_{SM} (Naso et al., 2019).

Gli ultimi aggiornamenti degli indirizzi regionali, apportati con la DGR 476/2021 (e DGR integrativa 564/2021), hanno infine riguardato la selezione di nuovi segnali (accelerogrammi) di riferimento per le analisi di risposta sismica locale negli studi di terzo livello.

Gli indirizzi RER forniscono gli elementi essenziali per espletare gli studi di pericolosità sismica

secondo i tre "livelli" di approfondimento e forniscono inoltre tabelle e formule propedeutiche alla valutazione semplificata dell'amplificazione locale (microzonazione sismica di "secondo livello").

Per quanto riguarda la ag al sito di riferimento (ag_{ref}), la figura 2.3 riporta per il territorio comunale di Monzuno i punti della griglia INGV e i relativi valori di a_{refg} (mappa MPS04). Ai punti vengono attribuiti i parametri della pericolosità sismica di base e in particolare si attribuiscono il valore dell'accelerazione massima attesa su suolo rigido, con una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni. La griglia di punti è costruita per tutto il territorio nazionale (densità di 20 punti per grado, circa un punto ogni 5 km) e la mappa MPS04 è diventata ufficialmente la mappa di riferimento per il territorio nazionale a seguito dell'Ordinanza PCM 3519/2006 (G.U. n.105 dell'11 maggio 2006).

Si evince che per il Capoluogo, il valore di a_{refg} (per terremoti con TR =475 anni) è definito pari a 0,166g. Per il territorio amministrativo la pericolosità "di base" risulta in diminuzione da sud a NNO.

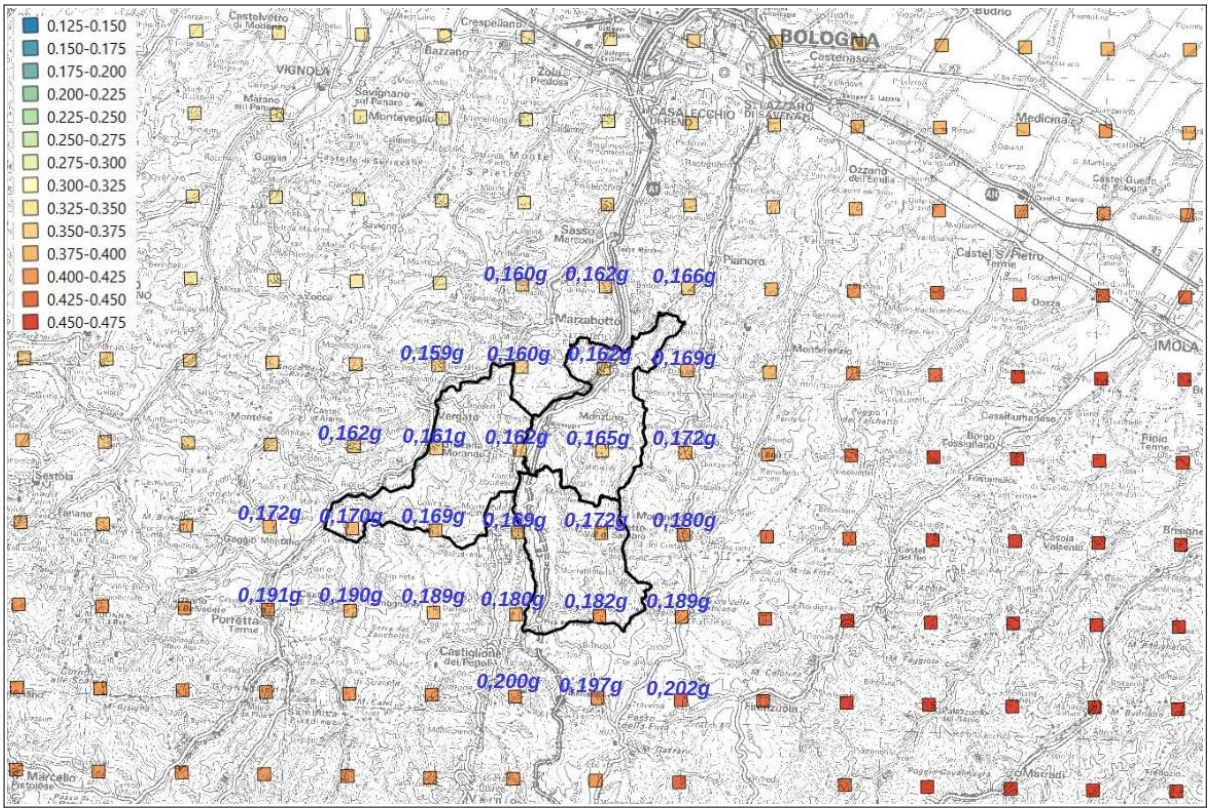


Figura 2.3 – Reticolo INGV di pericolosità sismica. La figura riporta i punti della griglia relativi al territorio comunale di Grizzana Morandi, Monzuno e San Benedetto Val di Sambro (da "Relazione Illustrativa" MS OCDPC 344/2016)

2.4.2 Il rischio sismico definito nel Piano Territoriale Metropolitano di Bologna

La Città Metropolitana di Bologna ha provveduto all'aggiornamento[2] degli studi di pericolosità sismica preliminare dell'intero territorio amministrativo, ai sensi della DGR n.630/2019. Gli esiti di tali studi sono sono stati recepiti assunti nel Piano e in particolare è stata redatta la <<Carta di area vasta delle aree suscettibili di effetti locali>> (alla scala 1:25.000 per la collina/montagna), che fornisce:

- un primo livello di approfondimento e identifica le condizioni geologiche e morfologiche che possono determinare effetti locali sulla base dei quali è possibile definire potenziali scenari di pericolosità sismica locale;
- una prima distinzione del territorio sulla base degli effetti locali attesi in caso di evento sismico e, per ciascuna tipologia di esse, vengono indicate le indagini e/o le analisi di approfondimento che devono essere effettuate dagli strumenti di pianificazione successivi.

[2] aggiornamento dei contenuti della <<Variante al PTCP in materia di Rischio Sismico>> approvata con Delibera del Consiglio Provinciale del n°57 del 28/10/2013

3 ASSETTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO DELL'AREA

3.1 Inquadramento geologico regionale[3]

L'assetto geologico strutturale generale è attribuibile al contesto montano più ampio di "catena appenninica" settentrionale. Il settore di catena appenninica del territorio in esame è caratterizzato da un generale assetto strutturale a falde sovrapposte (Elter, I960; Reuter & Groscurth, I978), sviluppatosi principalmente nel Terziario in seguito alla collisione tra due blocchi continentali rappresentati dalla zolla Europea (o Sardo-Corsa), e della microplacca Adria o Apula o Adriatico-Padana. Il processo di collisione è stato preceduto dalla chiusura di un'area oceanica: il paleoceano ligure o ligure-piemontese, precedentemente interposto tra di esse (Abbate et alii, 1970).

La catena deriva pertanto dalla deformazione di differenti domini paleogeografici meso-cenozoici: il *Dominio ligure* (corrispondente in larga misura all'area oceanica), il *Dominio sub ligure*, sviluppato sulla crosta assottigliata africana adiacente alla zona oceanica, e il *Dominio tosco-umbro* di pertinenza adriatico-padana.

Oltre a questi domini entra a far parte dell'Appennino settentrionale il *Dominio epiligure* (Ricci Lucchi & Ori, 1985; Bettelli et alii, 1989) formato da sedimenti deposti a partire dall'Eocene medio sulle unità Liguri già tettonizzate.

La chiusura dell'Oceano ligure e la collisione tra i due blocchi continentali portano alla formazione di un prisma di accrezione (Treves, 1984) costituito da rocce deformate per raschiatura ed appilamento a spese degli originari sedimenti deposti sui domini citati. Rocce che inizialmente occupavano aree paleogeografiche tra loro affiancate vengono a sovrapporsi, con i terreni del Dominio ligure accavallati su quelli del subligure e di ambedue sul Dominio tosco-umbro-marchigiano costituito a sua volta da elementi strutturali sovrapposti.

Nell'appennino emiliano, le Liguridi affioranti sul versante padano, tradizionalmente definite "Liguridi esterne", non presentano impronte di carattere metamorfico e non risultano aver conservato testimonianza dell'originario substrato oceanico sul quale esse si depositarono e dal quale si scollarono durante l'orogenesi appenninica. Rocce ofiolitiche, tuttavia, sono presenti anche nelle Successioni delle Liguridi esterne, ma sotto forma di masse isolate (anche di considerevoli dimensioni, incluse tettonicamente o per fenomeni di frana). Le Liguridi esterne offrono indirette testimonianze della vicinanza del margine continentale (microplacca Adria).

L'orogenesi dell'Appennino settentrionale, che ha scomposto i vari domini paleogeografici appilando e giustapponendo tra loro in modo complicato le successioni stratigrafiche tanto da rendere problematica la ricostruzione degli originari rapporti, è il risultato di movimenti tettonici complessi sviluppatisi in un arco di tempo che dal Cretaceo superiore giunge sino all'attuale. Le varie fasi di questa evoluzione sono solitamente raggruppate in cicli principali:

[3] Sintesi estratta dalle "Note Illustrative" della Carta Geologica d'Italia scala 1:50.000 (fogli 237 e 252)

1) il primo ciclo in ordine di tempo comprende le “fasi liguri” (o mesoalpine) ed ha interessato i Domini liguri, interno ed esterno e, probabilmente, anche quello subligure. Esso si considera concluso con l'inizio della deposizione nell'Eocene medio dei terreni della Successione epiligure;
2) Il secondo ciclo, miocenico, comprende le “fasi toscane s.l.” (o neoalpine) durante le quali si ha la messa in posto sui Domini tosco-umbri delle Unità liguri e subliguri già tettonizzate e della sovrastante Successione epiligure.

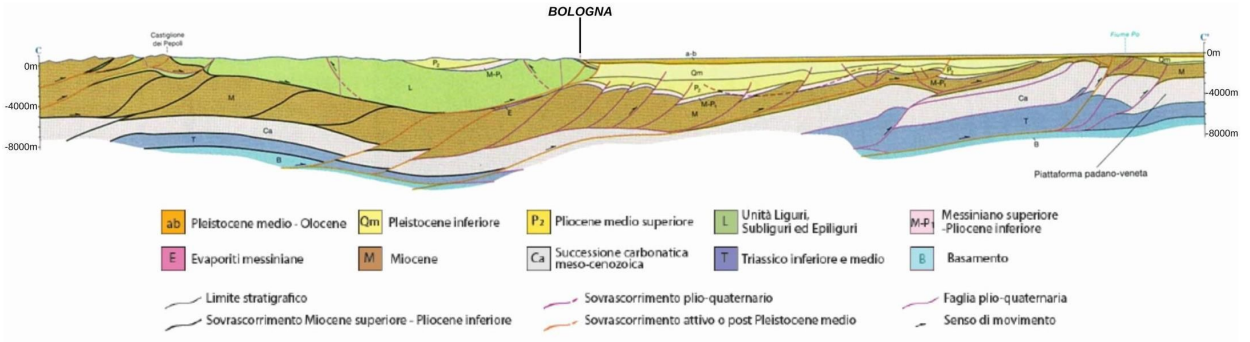
La tettonica delle Liguridi esterne risulta caratterizzata da una prima fase con pieghe isoclinali compresse (Casnedi, 1982; Marini, 1982; Meccheri et alii, 1982; Marroni, 1991; Vescovi, 1991; Bettelli et alii, 1994; 1996), seguita da una seconda fase che ha prodotto un ulteriore raccorciamento ed ha ripiegato le strutture precedenti. Ambedue le fasi sono a vergenza europea, opposta a quella che caratterizza le fasi successive. Esse portano ad una profonda ristrutturazione del prisma di accrezione Ligure che, successivamente durante le fasi toscane, non subirà, tranne poche eccezioni, ulteriori sostanziali modifiche.

L'insieme delle fasi liguri porta ad un appilamenlo delle successioni deposte nei Domini Liguri in estese falde e alla chiusura dell'oceano ligure-piemontese. I movimenti avvengono in ambiente subacqueo e su questi terreni corrugati si impostano vari bacini minori entro cui si depositano le sequenze detritiche Epiliguri.

Le fasi toscane sono caratterizzate a partire dall'Oligocene superiore dalla collisione delle due zolle continentali l'Europea (o Sardo-Corsa) e l'Apula con una tettonica a *thrusts* e falde, prima con sottoscorrimento verso ovest delle Unità toscane al di sotto delle Unità tettoniche subliguri e liguri già impilate e successivamente di quelle umbro-marchigiane al di sotto delle precedenti. Vengono così ad individuarsi le principali unità tettoniche che ora costituiscono l'ossatura della catena appenninica settentrionale in cui la parte più profonda dell'edificio è occupata dal nucleo metamorfico apuano (Carmignani et alii, 1978) al quale si sovrappone la Falda toscana a sua volta sovrascorsa dalle Subliguridi e dalle Liguridi.

La strutturazione dell'Appennino è dunque strettamente connessa da un lato all'evoluzione estensionale del Mediterraneo occidentale e dall'altro al contemporaneo sottoscorrimento del basamento padano-adriatico e delle coperture meso-cenozoiche al di sotto di quello ligure-toscano (Tomaselli et alii, 1992) e della catena neoformata. Tale strutturazione ha portato le Unità tettoniche Liguri e Subliguri con sovrapposte stratigraficamente le formazioni Epiliguri a costituire una estesa coltre alloctona che a partire da] Miocene inferiore si accavalla via via sugli altri domini (quelli Toscani e quelli Umbro-Marchigiani) sino al margine della catena.

In figura 3.1 è rappresentato il quadro geologico strutturale più ampio che identifica i rapporti tra catena e Pianura Padana. Questa figura, pubblicata nelle Note Illustrative della Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna (2004), riporta una sezione geologica di sintesi, ricostruita da Castiglione dei Pepoli, passando per Bologna, fino al fiume Po.



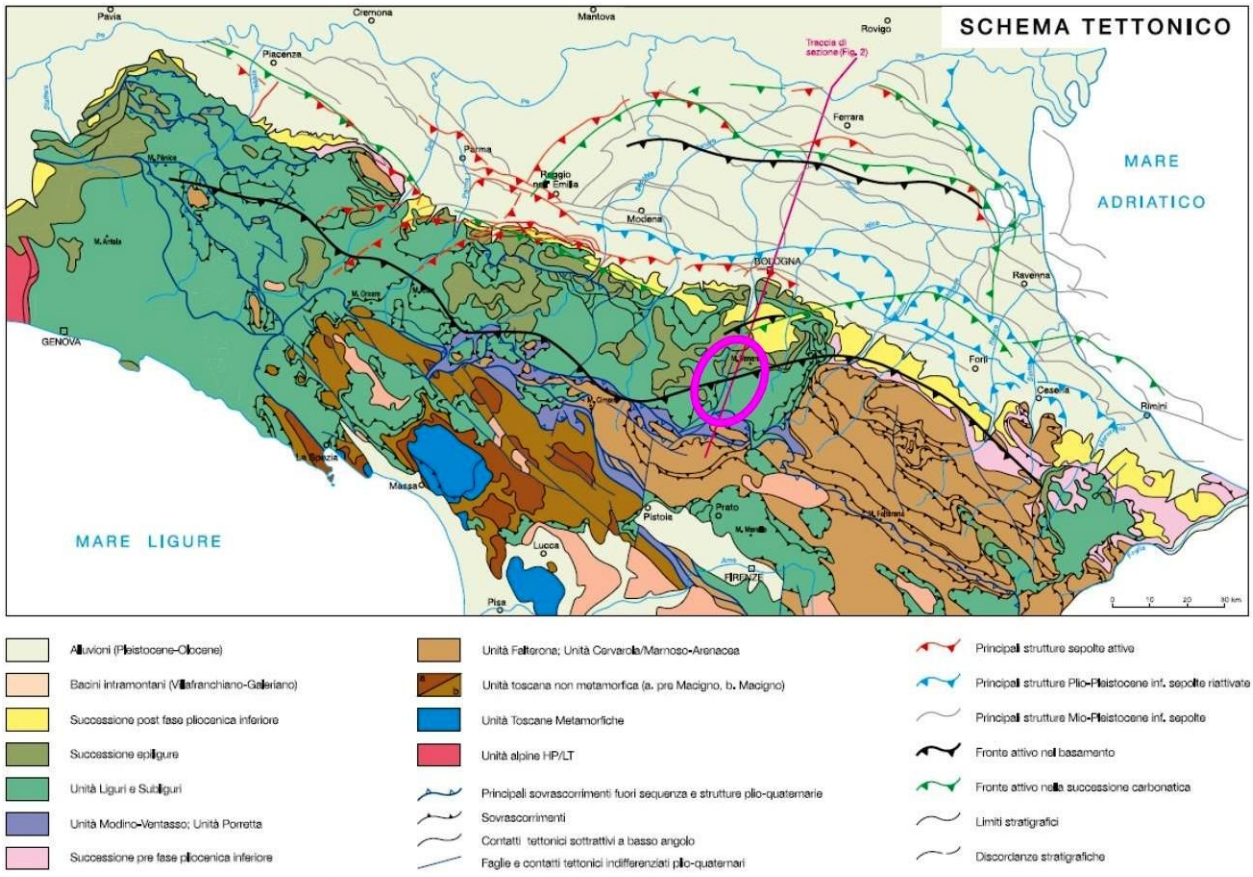


Figura 3.1 – Schema geologico e tettonico del territorio emiliano-romagnolo, tratto dalle "Note Illustrative alla Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna" (ed. 2004). Il territorio studiato è localizzato nel cerchiato fucsia

La figura 3.2 presenta un ulteriore e più aggiornato schema tettonico del territorio emiliano-romagnolo tratto dalle Note Illustrative della Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna e aree limitrofe (edizione 2016).

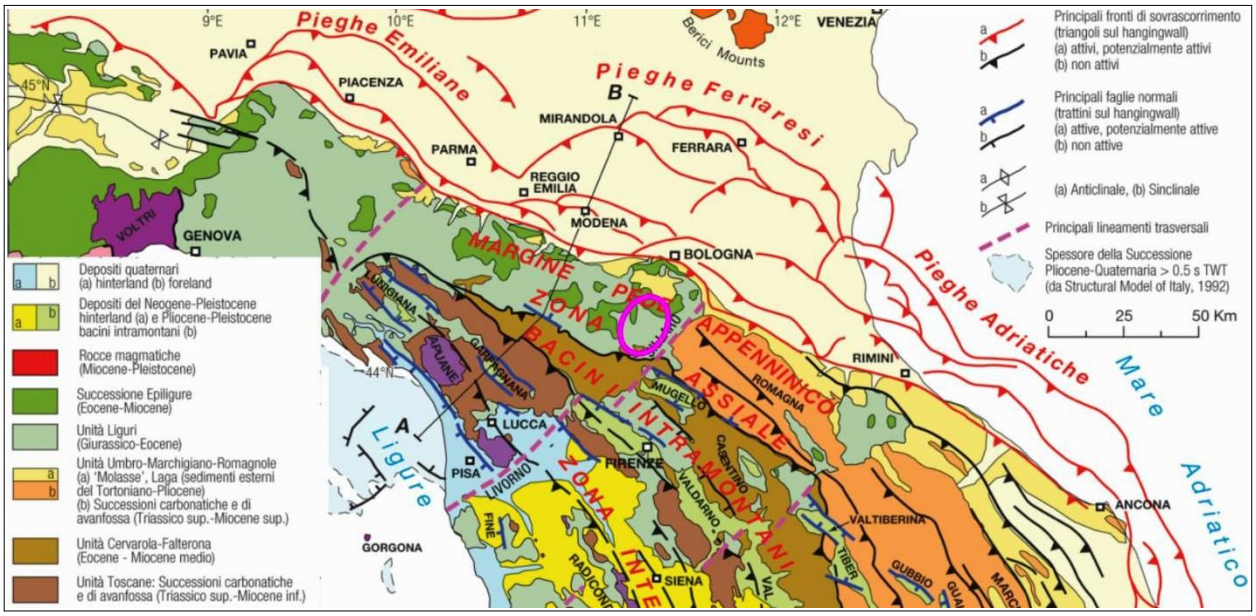


Figura 3.2 – Schema tettonico emiliano-romagnolo tratto dalle "Note Illustrative alla Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna a aree limitrofe" (ed. 2016). Il Territorio studiato è localizzato nel cerchiato fucsia

3.2 Ulteriori dati geologici e morfo-strutturali in aree con evidenze di attività tettonica recente

Le "Note Illustrative" prodotte a corredo della carta sismotettonica dell'Emilia-Romagna, nelle due edizioni fin qui pubblicate (2004 e 2016), hanno approfondito su particolari evidenze di attività tettonica recente riscontrate in settori di catena, di margine e di pianura della regione. Rilievi geologici, sismici nonché studi morfo-tettonici indicano come la tettonica attiva sia generalmente caratterizzata dalla presenza di strutture compressive attive, come sovrascorrimenti e piegamenti, come evidenziano anche i meccanismi focali di terremoti noti (Gasparini et alii, 1985; Boccaletti et alii, 1985; Anderson & Jackson, 1987; Frepoli & Amato, 1997; Mariucci et alii, 1999; Benedetti et alii, 2000-2003; Selvaggi et alii, 2001).

Vari Autori, hanno descritto strutture tettoniche trasversali all'asse principale, orientate NNE-SSW, che svincolano la catena in questo settore caratterizzato da deformatione attiva prevalentemente lungo il "thrust" appenninico (Ghelardoni, 1965; Bortolotti, 1966; Castellarin et al., 1985; v. anche Martelli, 2015; Martelli et al. 2017; ecc.).

Rispetto al territorio in esame, l'andamento geografico del principale spartiacque, posto più a sud rispetto al territori di studio, evidenzia come la catena appenninica risulti dislocata tra le valli del Panaro e del Sillaro. In particolare, l'area del crinale appenninico tra Pracchia (Pistoia) e Castiglione dei Pepoli risulta compreso in una delle principali fasce di deformazione trasversale di questa parte della catena (figura 3.3). Sono infatti individuabili struture con direzione NE-SW, come ad esempio la faglia localizzata nella valle del F. Reno (da Pontepetri a Ponte alla Venturina, con una lunghezza di oltre 15 km) le cui caratteristiche morfologiche (fianchi acclivi;

andamento rettilineo) suggeriscono attività recente quaternaria.

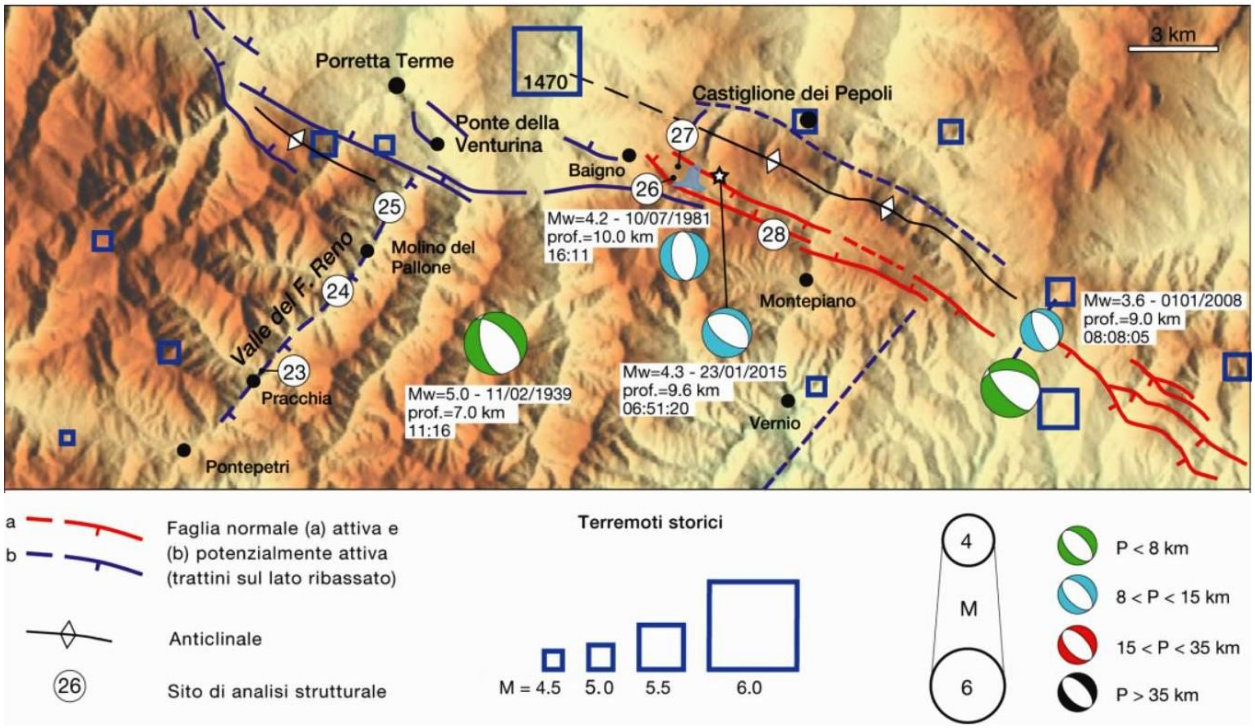


Figura 3.3 – Mappa schematica dell'area di crinale appenninico tra Valle del Reno e Castiglione dei Pepoli (da: Note Illustrative Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna e aree limitrofe – ed. 2016)

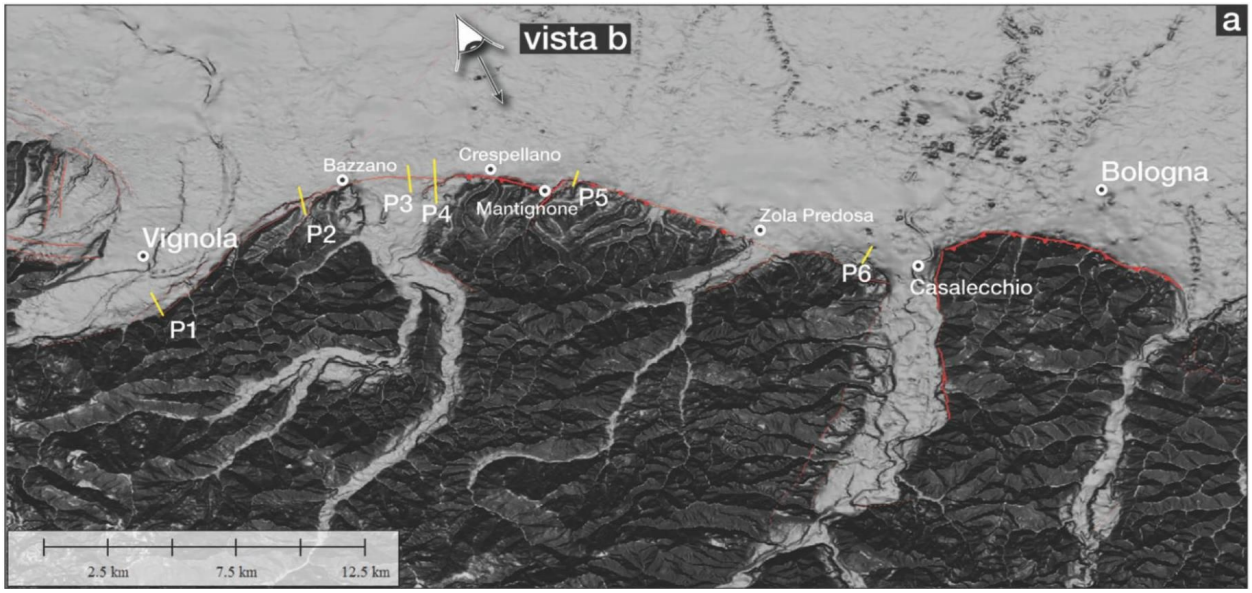


Figura 3.4 – Elaborazione DEM del fronte affiorante del margine appenninnico tra Vignola e Bologna (da: Note Illustrative Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna e aree limitrofe – ed. 2016)

Il territorio studiato appare dunque inserirsi in un contesto più ampio di attività deformative tettoniche relativamente recenti. Ulteriori evidenze sono infatti riscontrabili più a nord, ovvero lungo il limite morfofologico collina-pianura, dove si possono individuare strutture trascorrenti minori che dislocano il fronte del margine affiorante tra le valli dei fiumi Panaro e Reno. In

particolare, nel settore Casalecchio-Bologna, si riscontra una dislocazione sinistra del fronte di quasi 4 km (Boccaletti et al., 2004), con il limite morfologico collina-pianura, ad est del Reno, che risulta infatti più avanzato verso nord (figura 3.4).

3.3 Stratigrafia

3.3.1 Elementi introduttivi

I dati conoscitivi sono derivati dalla Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000, consultabile anche on line nel sito del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna. Un ulteriore riferimento per questo lavoro, è rappresentato anche dalla Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (progetto CARG).

Il territorio comunale di Monzuno è costituito da substrato marino affiorante appartenente, da sud a NE, ai domini Ligure ed epiligure, inoltre in una limitata area settentrionale, a depositi del dominio Padano-Adriatico. La figura 3.5 rappresenta un'ulteriore schema di sintesi delle principali litologie (affioranti o meno).

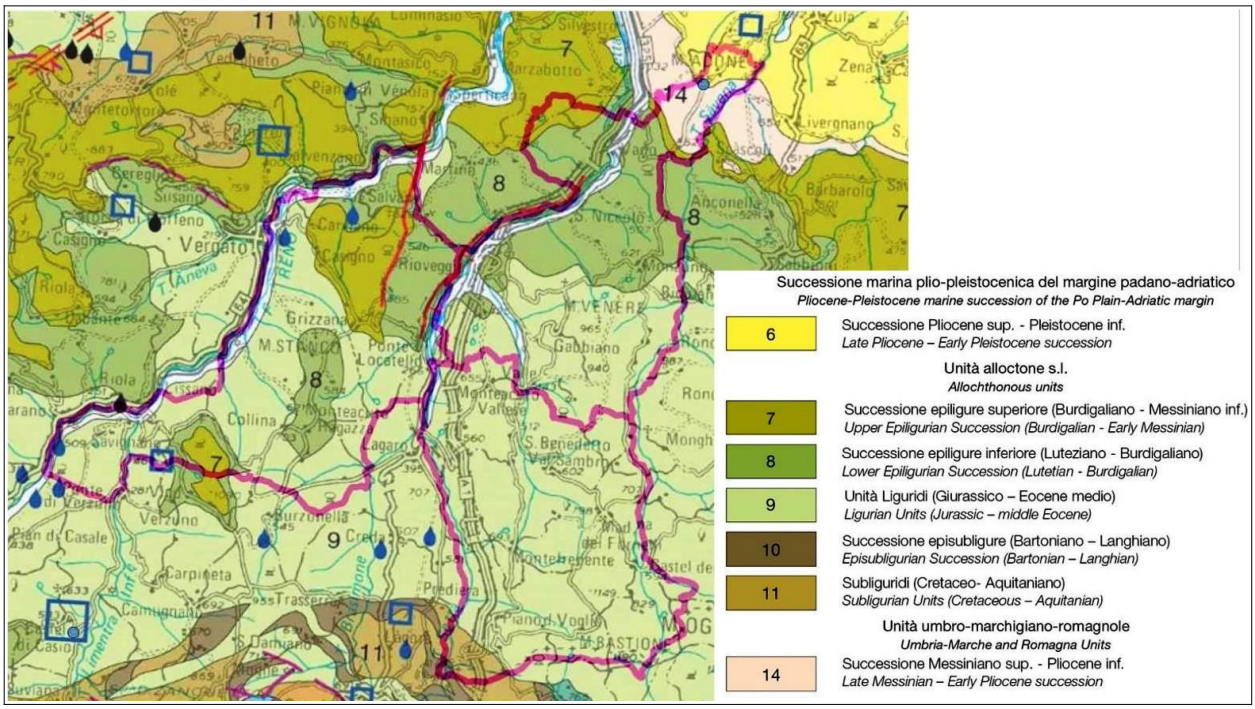


Figura 3.5 – Stralcio della Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna e aree limitrofe (ed. 2016) e della sua legenda (unità geologiche affioranti nel territorio comunale di Monzuno e nei Comuni limitrofi di Grizzana Morandi e San Benedetto Val di Sambro)

Le unità litostratigrafiche Liguri sono rappresentate da formazioni torbiditiche di età tardo cretacea e paleogenica per le quali è stato possibile ricostruire delle originarie successioni stratigrafiche e da formazioni, genericamente definibili come "pre-flysch" (Complessi di base Auctti), che si presentano per lo più deformate in modo pervasivo con la distruzione dell'originario ordine stratigrafico. Queste ultime costituiscono in gran parte ciò che nei Fogli della Carta Geologica d'Italia a scala 1:100.000 era definito come "Complesso caotico" e

"Complesso indifferenziato".

La Successione Epiligure (Eocene medio-Messiniano inf.), che risulta discordante sulle unità litostratigrafiche Liguri, è schematicamente costituita da una parte inferiore rappresentata da depositi caotici di colata e da sedimenti torbiditico-emipelagici di mare profondo (formazioni "pre flysch") e da una parte superiore caratterizzata da sedimenti di piattaforma s.l. a dominante carbonatico-terrigena e da peliti e corpi arenacei risedimentati di scarpata-bacino. Questa successione è dunque caratterizzata da notevoli differenze stratigrafiche all'interno del territorio studiato.

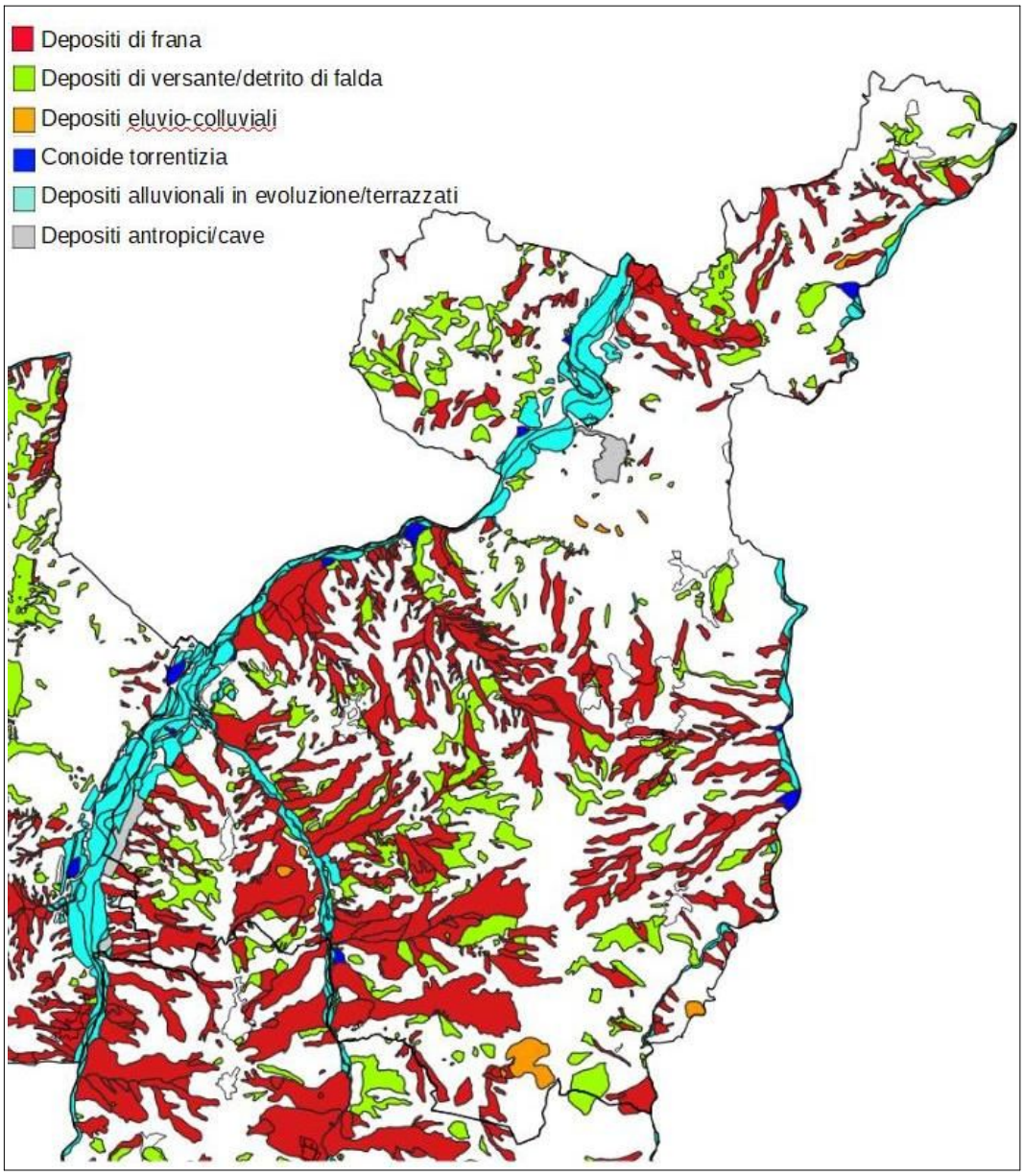


Figura 3.6 – Depositi continentali quaternari nel territorio comunale di Monzuno (fonte dati vettoriali: SGSS Regione Emilia-Romagna)

I depositi del dominio Padano-Adriatico, limitati al settore NE del territorio conunale, sono

attribuiti a unità della successione post evaporitica pliocenica e in particolare ad arenarie e conglomerati poco cementati delle formazioni di Monterumici (non presenti negli areali studiati) e di Monte Adone.

I depositi continentali di età quaternaria (figura 3.6) sono infine rappresentati da depositi alluvionali (terrazzati e non) e locali depositi di conoide torrentizia, inoltre depositi di versante s.l., detrito di falda e depositi eluvio-colluviali.

Nei successivi paragrafi verranno descritte con maggio dettaglio le singole unità litostratigrafiche affioranti (dai termini più antichi ai più recenti) e i depositi quaternari che interessano il territorio studiato di Monzuno.

3.3.2 Unità Liguridi

MOV – FORMAZIONE DI MONTE VENERE

Torbiditi arenaceo-marnose con base fine grigio-chiaro, in strati da medi a molto spessi fino a banchi di oltre 15 m, al tetto intervalli sottili o medi di argille scure o nerastre. Intercalazioni metriche di strati arenaceo-pelitici da sottili a spessi grigio brunastri, con rapporto A/P >1, a luoghi prevalenti sugli strati calcareo-marnosi. Le areniti hanno composizione arcosica e possono avere cementazione scarsa, specie quelle a grana più grossolana.. Paleocorrenti con provenienza dai quadranti meridionali. Torbiditi di ambiente marino profondo. Contatto inferiore non preservato. Potenza di oltre 900 m. Età deposizionale: Campaniano sup. – Maastrichtiano sup.

MOH – FORMAZIONE DI MONGHIDORO

Torbiditi arenaceo-pelitiche in strati generalmente spessi, raramente molto spessi, con rapporto A/P >2/1. Si intercalano intervalli metrici di strati sottili e medi con rapporto A/P = 1/2. Le arenarie sono gradate con base a granulometria da media a grossolana, talora microconglomeratica, localmente poco cementate, di colore grigio scuro ma generalmente marroni o giallastre per alterazione ed ossidazione dei minerali femici; passano ad argilliti più o meno siltose di colore nerastro. Nella parte bassa della formazione sono presenti torbiditi a base arenacea e tetto calcareo-marnoso con abbondanti tracce di fucoidi. Localmente distinta una litofacies arenacea (MOHa), caratterizzata da strati da sottili a spessi con rapporto A/P>>1, potente fino a 300 m. Torbiditi di piana bacinale. Limite inferiore graduale su MOV, dove non tettonizzato. La potenza geometrica massima è di qualche centinaio di metri. Età deposizionale: Maastrichtiano sup. – Paleocene.

3.3.3 Successione Epiligure

BAI – BRECCE ARGILLOSE DI BAISO (BAI3 – Membro di Poggio Cavaliera)

Brecce poligeniche a prevalente matrice argillosa grigia, localmente arenacea, con clasti eterometrici di areniti calcaree fini, arenarie fini, marne e argilliti nerastre. Sono presenti a

luoghi inclusi metrici e decametrici di MMP e LOI. Materiale proveniente esclusivamente da MOH e MOV. Contatto inferiore discordante su MOH e MOV. Potenza massima di oltre 250 m.

LOI – Formazione di Loiano

Arenarie arcosiche, da fini a molto grossolane, a luoghi microconglomeratiche, in genere scarsamente cementate, con subordinati conglomerati, in strati medi e banchi frequentemente amalgamati, di colore biancastro o grigio chiaro (marrone chiaro se alterate); sono presenti intercalazioni, spesso discontinue, di torbiditi sottili arenaceo-pelitiche grigie o verdastre (A/P sempre >1). Frequenti anche i "cogoli". Nella porzione basale sono presenti slump intraformazionali di spessore ed estensione assai limitata ed argille rosso-mattone e grigio-verdastre, localmente marnose, interdigidate con brecce argillose a matrice nerastra, inglobanti blocchi calcilutitici di dimensioni massime decimetriche. Sedimentazione torbiditica in bacino confinato profondo. Interdigitazione a scala regionale con MMP. Il limite inferiore è discordante su MOH, MOV, BAI o risulta tettonizzato. La potenza affiorante raggiunge 700 m.
Età deposizionale: Luteziano A: Priaboniano

LOI2 – MEMBRO DI MONZUNO

Brecce e conglomerati poligenici prevalenti, a matrice arenacea, più o meno cementati, con clasti e blocchi costituiti in prevalenza di arenarie grigio-marroni, areniti calcaree, calcari mamosi e mame scheggiose grigio-biancastre e argilliti nerastre. La dimensione dei clasti raggiunge anche il metro, con il materiale più grossolano (proveniente da MOV e MOH) molto angoloso (indicativo di una scarsa o nulla elaborazione subaerea) e il materiale più fine, di provenienza da rocce ignee, decisamente più arrotondato. La stratificazione è in alcuni casi mal visibile soprattutto nelle aree con la presenza dei clasti di maggiori dimensioni; negli orizzonti caratterizzati anche dalla presenza di strati arenacei (es. Monzuno) la stratificazione è in genere meglio definita e grossolanamente gradato. Lo spessore massimo raggiunge i 300 m (tra Savena e Setta).

MMP – MARNE DI MONTEPIANO

Nell'unità, costituita da alternanze di marne e argille marnose, possono essere distinte due litozone o membri informali, tra loro sempre sovrapposte. La litozona basale, nota in letteratura come "banchi rossi", è costituita da marne argillose e argille, spesso siltose, scagliettate, a stratificazione maldefinita e prevalentemente di color rosso vinato (subordinatamente verdognolo); frequenti sono gli slumping. Presso la base dell'unità vengono segnalati alcuni banchi calcarei a fratturazione concoide, ricchi in Fucoidi nella parte alta.
La litozona superiore, in passaggio graduale con la precedente, è costituita per lo più da marne grigio-verdastre a fratturazione sub-concoide, compatte e spesso siltose; a queste si intercalano.
Sottili livelli di arenarie finissime grigio-azzurrine, di spessore decimetrico. Al passaggio con la sovrastante Formazione di Ranzano, la colorazione torna spesso su toni rosso-vinati, caratteristici della porzione basale.
A luoghi nell'unità si segnalano sottili strati di siltiti nerastre, di arenarie biancastre e calcilutiti.

Le arenarie presenti sono molto immature, con cernita da moderata a scarsa, e la loro composizione risulta ricca in Q e F con pochi liticidescrizione si rimanda al testo originale.
Lo spessore nella sezione-tipo è di circa 100 m, mentre lo spessore massimo può raggiungere i 700 m.

ANT – MARNE DI ANTOGNOLA

Marne argillose e marne siltose verdognole o grigie con patine manganesifere; fratturazione concoide o con tipiche superfici concentriche; frequenti i microfossili e talora i bioclasti. Stratificazione da molto sottile a media, talora difficilmente percepibile, sia per scarsa classazione granulometrica che per bioturbazione. Sono presenti rari livelli torbiditici di arenarie vulcanoclastiche, arcosiche e quarzoso-feldspatiche, da sottili a medi, e strati sottili e sottilissimi, discontinui, di cineriti biancastre, tipicamente alterate in giallo o giallo ocra. Il limite inferiore è netto, discordante, su MMP, sfumato su RAN; in eteropia con MVT. Ambiente di sedimentazione di piattaforma esterna, scarpata e base scarpata con apporti torbiditici. La potenza totale della formazione raggiunge alcune centinaia di metri. Età deposizionale: Rupeliano terminale – Burdigaliano?.

3.3.4 Dominio Padano-Adriatico

ADO – FORMAZIONE DI MONTE ADONE

Prevalenti arenarie con abbondante matrice siltoso-argillosa, alternate a peliti sabbiose con stratificazione da sottile a spessa, a geometria tabulare e lenticolare. Verso l'alto aumenta la frequenza delle peliti. Spesso stratificazione non ben evidente per bioturbazione. Il colore delle sabbie è grigio, grigio-azzurro o beige se alterate, quello delle peliti grigio scuro. Sono presenti corpi grossolani con geometria sia tabulare che lenticolare, con stratificazione incrociata concava e superfici e docce erosive e intervalli a macrofossili (Lamellibranchi, Gasteropodi e Scafopodi). I ciottoli sono prevalentemente costituiti da calcilutiti di origine ligure. La cementazione è da media a scarsa, spesso differenziale con presenza di "cogoli" generalmente allineati subparallelamente alla stratificazione. La formazione è interamente suddivisa in 2 membri in rapporti di parziale sovrapposizione e di notevole eteropia laterale. Ambiente di sedimentazione variabile da fluviale a marino costiero e piattaforma. La potenza massima totale affiorante è di un migliaio di metri. Età deposizionale: Pliocene medio e sup. – Pleistocene inf.?

3.3.5 Depositi continentali quaternari

Depositi alluvionali:

b1 – Depositi alluvionali in evoluzione

Costituiti da ghiaie, talora embriciate, sabbie e limi argillosi di origine fluviale, attualmente soggetti a variazioni dovute alla dinamica fluviale; detrito generalmente incoerente e caotico, costituito da clasti eterometrici ed eterogenei, talora arrotondati, in matrice sabbiosa, allo sbocco di impluvi e valli secondarie. Sono talora fissati da vegetazione.

i1 – Conoide torrentizia in evoluzione

Depositi alluvionali, prevalentemente ghiaiosi, a forma di ventaglio aperto verso valle, in corrispondenza dello sbocco di valli e vallecole trasvesali ai corsi d'acqua principali ove la diminuzione di pendenza provoca la sedimentazione del materiale trasportato dall'acqua, soggetti ad evoluzione dovuta alla dinamica torrentizia.

i2 – Conoide torrentizia inattiva

Depositi alluvionali, prevalentemente ghiaiosi, a forma di ventaglio aperto verso valle, in corrispondenza dello sbocco di valli e vallecole trasvesali ai corsi d'acqua principali ove la diminuzione di pendenza provoca la sedimentazione del materiale trasportato dall'acqua, attualmente non soggetti ad evoluzione.

AES7 – Depositi del subsintema di Villa Verrucchio

Ghiaie sovrastate da limi più o meno sabbiosi, organizzate in alcuni ordini di terrazzi intravallivi. Al tetto suoli non calcarei di colore bruno scuro, sovrastanti altri suoli non calcarei. Il fronte di alterazione è spesso complessivamente fino a 2 m circa. Sono individuati nel fondovalle del torrente Setta, presso Rioveggio – Canova. Limite inferiore erosivo e discordante sui sottostanti depositi marini. Spessore massimo di 70 m circa nel sottosuolo della pianura. Età deposizionale: Pleistocene sup.

AES8 – Depositi del subsintema di Ravenna

Nelle porzioni intravallive, sono costituite da ghiaie di canale fluviale passanti a limi ed argille. Le ghiaie hanno uno spessore fino a tre metri circa; i depositi fini sovrastanti hanno uno spessore variabile fino a due metri circa. Età: Pleistocene sup. – Olocene.

AES8a – Unità di Modena (AES8a)

Il Subsintema di Ravenna distingue una unità di rango gerarchico inferiore che, dove presente, ne costituisce il tetto stratigrafico. Il limite superiore è sempre affiorante e generalmente costituito da un suolo calcareo; il limite inferiore è costituito da una superficie di erosione fluviale nelle aree intravallive e dal contatto netto sul suolo non calcareo (o scarsamente calcareo). Età deposizionale: post-romana (IV-VI sec. d.C. – Attuale).

a1 – Deposito di frana attiva

Deposito gravitativo con evidenze di movimenti in atto o recenti, costituito da litotipi eterogenei, raramente monogenici, ed eterometrici, più o meno caotici. La tessitura dei depositi è condizionata dalla litologia del substrato e dal tipo di movimento prevalente. La maggior parte dei depositi di frana del territorio appenninico è comunque di tipo complesso ed è il risultato di più tipi di movimento sovrapposti nello spazio e nel tempo (tipicamente scorrimenti/colamenti). La tessitura prevalente risulta costituita da clasti di dimensioni variabili immersi in una abbondante matrice pelitica e/o sabbiosa.

***a1a** – Deposito di frana per crollo e/o ribaltamento*

Deposito originato da distacco di rocce litoidi da un pendio acclive e messo in posto con

processi di caduta libera, rimbalzo e rotolamento di ciottoli e massi. L'accumulo detritico è costituito da materiale eterogeneo ed eterometrico, con frammenti litoidi di dimensioni variabili tra qualche cmc e decine di mc, privo di matrice o in matrice sabbioso-pelitica a luoghi alterata e pedogenizzata. E' caratteristica la riattivazione improvvisa e la estrema velocità del movimento.

***a1b** – Deposito di frana per scivolamento*

Deposito originato dal movimento verso la base del versante di una massa di terra o roccia, che avviene in gran parte lungo una superficie di rottura o entro una fascia, relativamente sottile, di intensa deformazione di taglio.

***a1d** – Deposito di frana per colamento lento*

Deposito messo in posto da movimento distribuito in maniera continuata all'interno della massa spostata. Le superfici di taglio all'interno di questa sono multiple, temporanee e generalmente non vengono conservate. I materiali coinvolti sono per lo più coesivi. I depositi più frequenti sono costituiti in prevalenza da una matrice pelitica e/o pelitico-sabbiosa che include clasti di dimensioni variabili.

***a1g** – Deposito di frana complessa*

Deposito messo in posto in seguito alla combinazione nello spazio e nel tempo di due o più tipi di movimento.

a2 – Deposito di frana quiescente

Deposito gravitativo senza evidenze di movimenti in atto o recenti ma con possibilità di riattivazione, costituito da litotipi eterogenei, raramente monogenici, ed eterometrici, più o meno caotici. La tessitura dei depositi è condizionata dalla litologia del substrato e dal tipo di movimento prevalente. La maggior parte dei depositi di frana del territorio appenninico è comunque di tipo complesso ed è il risultato di più tipi di movimento sovrapposti nello spazio e nel tempo (tipicamente scorrimenti/colamenti). La tessitura prevalente risulta costituita da clasti di dimensioni variabili immersi in una abbondante matrice pelitica e/o sabbiosa.

***a2b** – Deposito di frana per scivolamento*

(descrizione analoga a a1b)

***a2d** – Deposito di frana per colamento lento*

(descrizione analoga a a1d)

***a2g** – Deposito di frana complessa*

(descrizione analoga a a1g)

***a2h** – Deposito di frana per scivolamento in blocco*

Deposito costituito da masse di dimensioni più o meno rilevanti di roccia che, pur scivolate lungo una o più superfici di scorrimento, traslazionale e/o rotazionale, conservano al loro

interno la coerenza stratigrafica della roccia di provenienza. Si trovano spesso nella parte alta dei versanti e su vaste superfici e sono in grande prevalenza in stato di attività quiescente. Sono caratterizzate frequentemente dalla presenza di insediamenti storici. Il movimento gravitativo complesso e profondo può interessare grandi ammassi rocciosi, talora con relative coperture superficiali, e si attua attraverso una deformazione per lo più lenta e progressiva della massa rocciosa, senza una superficie di scorrimento ben determinabile.

a3 *– Depositi di versante*

Costituito da litotipi eterogenei ed eterometrici più o meno caotici. Frequentemente l'accumulo si presenta con una tessitura costituita da clasti di dimensioni variabili immersi e sostenuti da una matrice pelitica e/o sabbiosa (che può essere alterata per ossidazione e pedogenesi), a luoghi stratificato e/o cementato. La genesi può essere gravitativa, da ruscellamento superficiale e/o da soliflusso.

a4 *– Deposito eluvio-colluviale*

Coltre di materiale detritico, generalmente fine (sabbie, limi e peliti) prodotto da alterazione "in situ" o selezionato dall'azione mista delle acque di ruscellamento e della gravità, con a luoghi clasti a spigoli vivi o leggermente arrotondati.

a6 *– Detrito di falda*

Accumulo detritico costituito da materiale eterogeneo ed eterometrico, generalmente a quote elevate o molto elevate, con frammenti litoidi di dimensioni variabili tra qualche cmc e decine di mc, privo di matrice o in matrice sabbioso-pelitica alterata e pedogenizzata, di origine gravitativa frequentemente alla base di scarpate e lungo i versanti più acclivi.

Vengono inoltre assunte alcune perimetrazioni relative a depositi antropici (aree di cava) situate nel fondovalle del Setta .

4 DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

4.1 Dati pregressi e indagini eseguite per la MS di livello 2 (OCDPC 344/2016)

La fase iniziale di lavoro svolta per gli studi di MS di livello 2 (OCDPC 344/2016) ha previsto la raccolta, selezione e riordino delle indagini geognostiche/geofisiche e di laboratorio disponibili per il territorio di Monzuno. In questo senso, si è potuto disporre di un discreto numero di prove geognostiche e geofisiche di repertorio fornite dall'Amministrazione comunale. Si tratta di prove relative a indagini geologiche, archiviate presso l'Ufficio Tecnico comunale e svolte per gli interventi più significativi di progettazione esecutiva (permessi di costruire) o per interventi di pianificazione (es: Varianti specifiche; Piani Particolareggiati; ecc.).

Le prove pregresse, considerate per lo studio di microzonazione e implementate nel database che costituisce l'archivio delle indagini per questo lavoro, risultano così distinte per tipologia:

- ✔ n. 23 carotaggi (a carotaggio continuo o a distruzione di nucleo)
- ✔ n. 62 prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT)
- ✔ n. 32 prove penetrometriche dinamiche superpesanti (DPSH)
- ✔ n. 18 prove penetrometriche dinamiche medie (DPM)
- ✔ n. 15 prove penetrometriche dinamiche leggere (DL)
- ✔ n. 1 stendimento sismico attivo MASW;
- ✔ n. 6 registrazioni microtremori sismici a stazione singola (HVSR)

Per gli studi di MS di livello 2 (OCDPC 344/2016) sono state inoltre eseguite prove integrative con lo scopo di disporre di ulteriori conoscenze geognostico/geofisiche del sottosuolo investigato, in relazione alla complessità sismostratigrafica locale e alla quantità/qualità di indagini di repertorio già disponibili. In questo senso, sono state eseguite le seguenti ulteriori indagini:

- ✔ n. 3 **prove penetrometriche dinamiche superpesanti (DPSH)** → eseguite con mezzo semovente cingolato “Pagani” e spinte fino a “rifiuto strumentale”;
- ✔ n. 6 **stendimenti sismici attivi MASW** → Le prove MASW hanno consentito la stima della velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio (Vs) nel sottosuolo fino a circa -35÷40 metri di profondità. La metodologia per la realizzazione di una indagine sismica MASW ha previsto acquisizioni dei segnali sismici con sismografo multicanale ABEM RAS24 a 24 canali, generati da sorgenti energizzanti artificiali lungo lo stendimento dei geofoni;
- ✔ n. 2 **stendimenti sismici passivi Re.Mi.** → anch'esse eseguite per la stima della velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio (Vs) nel sottosuolo fino a circa -35÷40 metri di profondità. La metodologia per la realizzazione di una indagine sismica MASW ha previsto acquisizioni passive dei segnali sismici con sismografo multicanale ABEM

RAS24 a 24 canali, lungo lo stendimento dei geofoni;

- ✔ n. 41 **registrazioni dei microtremori a stazione singola (HVSR)** → con registrazioni di 18 minuti e frequenza di campionamento di 128 Hz, eseguite con strumento "Tromino" della Micromed.

La figura 4.1 offre una localizzazione/distribuzione di sintesi delle indagini di repertorio e delle indagini integrative eseguite per lo studio di MS (OCDPC 344/2016).

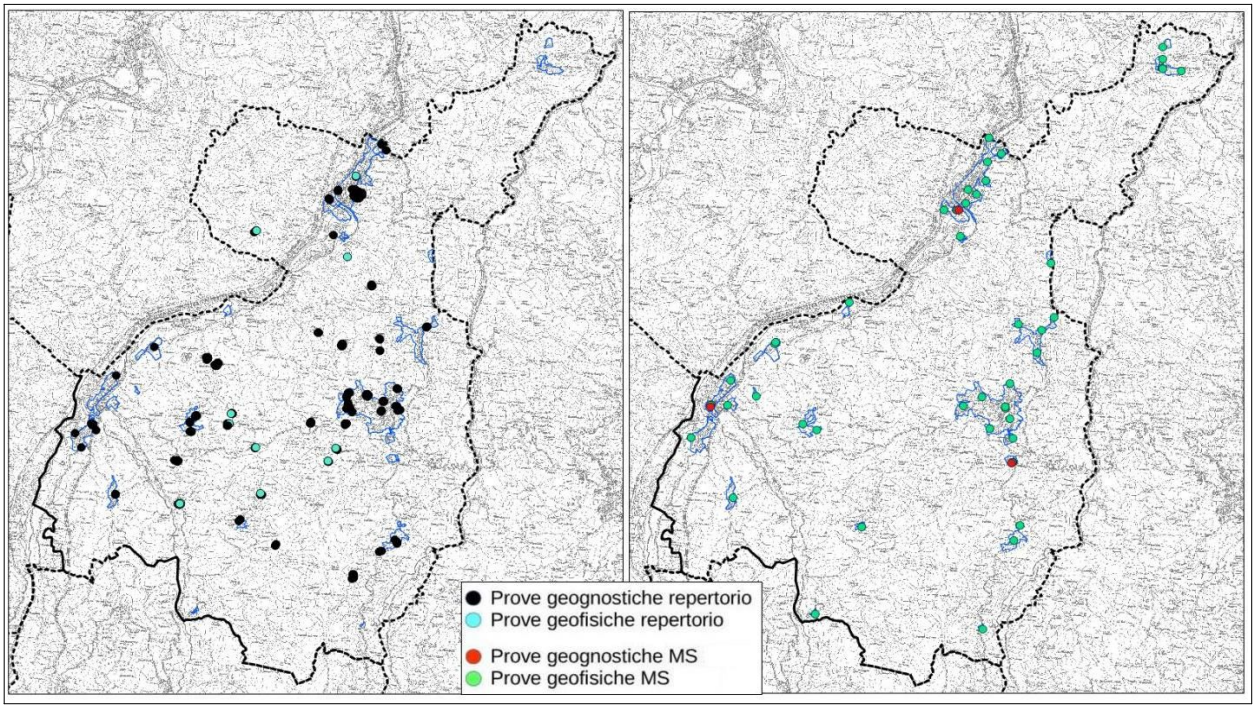


Figura 4.1 – Localizzazione delle indagini di repertorio (a sx) e delle indagini integrative (a dx) eseguite per lo studio di MS (OCDPC 344/2016)

4.2 Le indagini eseguite per la MS di livello 3 (OCDPC 532/2018)

Per questo ulteriore aggiornamento della MS e per poter svolgere approfondimenti di "livello 3" sono state eseguite altre indagini integrative a integrazione dei dati già disponibili. Più in particolare sono state realizzate le seguenti prove:

- ✔ n. 3 **prove penetrometriche dinamiche superpesanti DPSH** (foto 4.1) → eseguite con mezzo semovente cingolato "Pagani" e spinte fino a "rifiuto strumentale". Le nuove penetrometrie sono state realizzate presso Vado su depositi di frana quiescente complessa (areale interessato da approfondimenti della MS di "livello 3") e presso i Camping "Riva del Setta" e "Le Querce" (nuovi areali interessati da approfondimenti della MS di "livello 2" comprendenti aree di emergenza comunale incluse nella CLE);
- ✔ n. 2 **stendimenti sismici a rifrazione** (foto 4.2) → realizzati presso la frazione Vado e rispettivamente su depositi di frana quiescente complessa (due areali interessati da approfondimenti della MS di "livello 3").

- ✔ n. 17 **registrazioni dei microtremori a stazione singola (HVSR)** → con registrazioni di 18 minuti e frequenza di campionamento di 128 Hz, eseguite con strumento "Tromino" della Micromed. Le ulteriori registrazioni sono state realizzate negli areali interessati da approfondimenti della MS di "livello 3" a integrazione delle indagini già disponibili (Capoluogo e frazione Vado) e presso i Camping "Riva del Setta" e "Le Querce" (nuovi areali interessati da approfondimenti della MS di "livello 2" comprendenti aree di emergenza comunale incluse nella CLE).



Foto 4.1– Esecuzione di prove DPSH eseguite rispettivamente presso il Camping "Le Querce" (a sx) e presso Vado (a dx)



Foto 4.2 – Esecuzione degli stendimenti sismici a rifrazione realizzati presso la frazione Vado

5 MODELLO DEL SOTTOSUOLO

Il contesto geologico generale, descritto nel capitolo 3 e gli esiti delle indagini geognostiche e geofisiche disponibili e di nuova esecuzione hanno permesso la classificazione e la modellazione del sottosuolo finalizzata alla caratterizzazione sismica.

Le conoscenze litostratigrafiche degli areali studiati vengono sintetizzate nella Carta Geologico Tecnica, che riporta le litologie superficiali prevalenti e nella Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS), che presenta la suddivisione del territorio comunale sulla base delle caratteristiche della successione litostratigrafica profonda (fino al bedrock sismico) nel territorio studiato.

Il modello di sottosuolo è basato anche su quanto indicato nella Carta Geologica dell'Emilia-Romagna alla scala 1:10.000, in particolare per la redazione della carta geologico-tecnica. Dalla cartografia geologica regionale sono desunti, ad esempio, i limiti delle unità litostratigrafiche affioranti o meno nonché i limiti delle coperture quaternarie (frane; depositi di versante; depositi allivionali di fondovalle; ecc.).

Nei seguenti paragrafi vengono descritti gli elementi ritenuti essenziali ai fini della caratterizzazione sismica delle aree studiate. Rispetto al precedente studio (OCDPC 344/2016), viene inoltre approfondita la caratterizzazione delle "zone di attenzione per instabilità" interessate dagli approfondimenti di "livello 3".

5.1 Brento – La Vallazza

La frazione Brento e il toponimo La Vallazza si insediano su crinali di rilievi caratterizzati da arenarie e conglomerati poco cementate (Formazione di Monte Adone – Membro di Monde delle Formiche ADO1), con stratificazione nord vergente. Nel versante a sud di La Vallazza la cartografia geologica RER individua depositi di versante che interessano parzialmente anche la parte occidentale abitata della frazione Brento. A sud di Brento, il versante è caratterizzato da acclività sostenute (anche >40°), con rilevati detriti di falda, depositi di versante e frane per colamento/scivolamento (figura 5.1).

Le indagini effettuate e disponibili (penetrometrie dinamiche; HVSR; MASW) evidenziano amplificazioni H/V presochè assenti per la presenza di substrato roccioso affiorante, ad esclusione di una limitato settore presso Brento, con coperture di versante fino a 5÷7 metri di spessore (figura 5.2). Lo stendimento MASW e le HVSR hanno stimato una Vs media del substrato ADO1 approssimabile a circa 450 m/s. Per i rilievi e le creste, le sezioni topografiche hanno consentito di stimare amplificazioni morfologiche comprese tra 1,1 e 1,4.

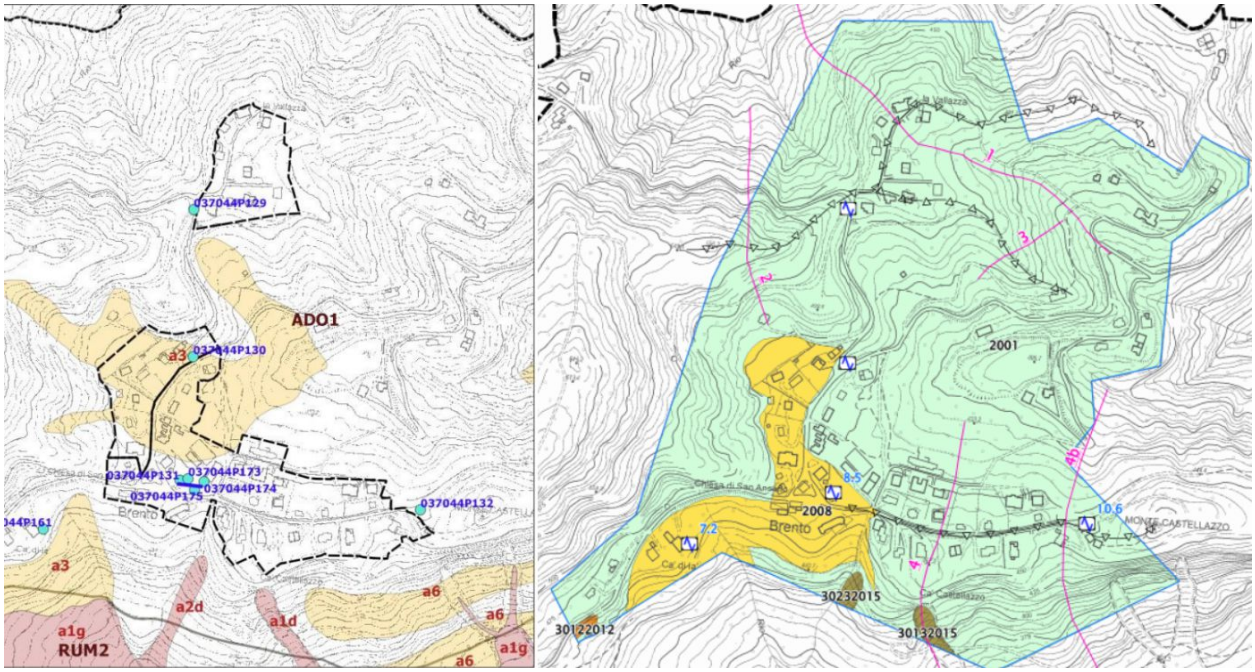


Figura 5.1 – A sx: substrato geologico, coperture quaternarie e discontinuità tettoniche rilevate. Si riportano le prove geognostiche/geofisiche di riferimento. A dx: delimitazione delle zone MOPS

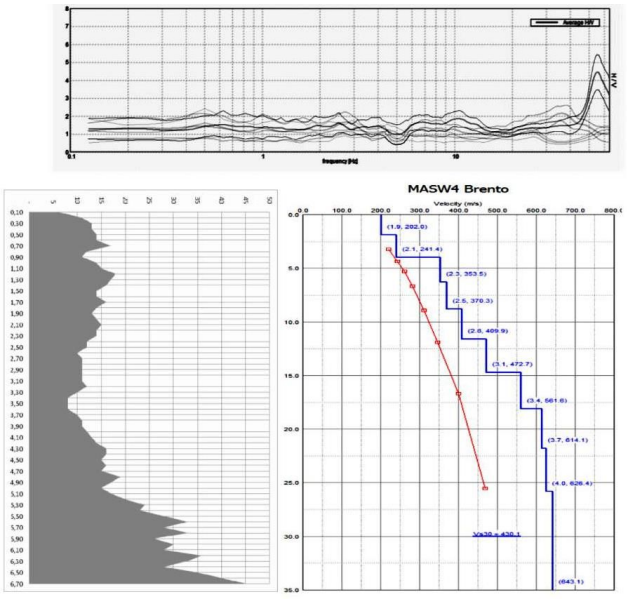


Figura 5.2 – In alto: registrazioni HVSR a La Vallazza e Bresso (P129; P130; P132) nella zona MOPS 2001. In basso penetrometria dinamica (P174) e MASW (L5) eseguite a Bresso nella MOPS 2008

5.2 Vado – Valla (con ulteriori approfondimenti – OCDPC 532/2018)

La frazione Vado si insedia nel fondovalle terrazzato del torrente Setta e in parte nel sovrastante versante in destra idrografica del corso d'acqua. Il substrato roccioso (affiorante nel versante oppure sovrastato da coperture alluvionali AES8/AES8a nel fondovalle) è riconducibile depositi arenitici stratificati poco cementati (Formazione di Loiano – LOI) e risulta caratterizzato da significative deformazioni tettoniche con fagliazioni discontinue e stratificazione vergente da NE (nel settore settentrionale) a SO nel settore di abitato più meridionale. La cartografia geologica rileva al piede del versante accumuli di frana prevalentemente di tipologia complessa riconducibile a scivolamento/colamento (figura 5.3).

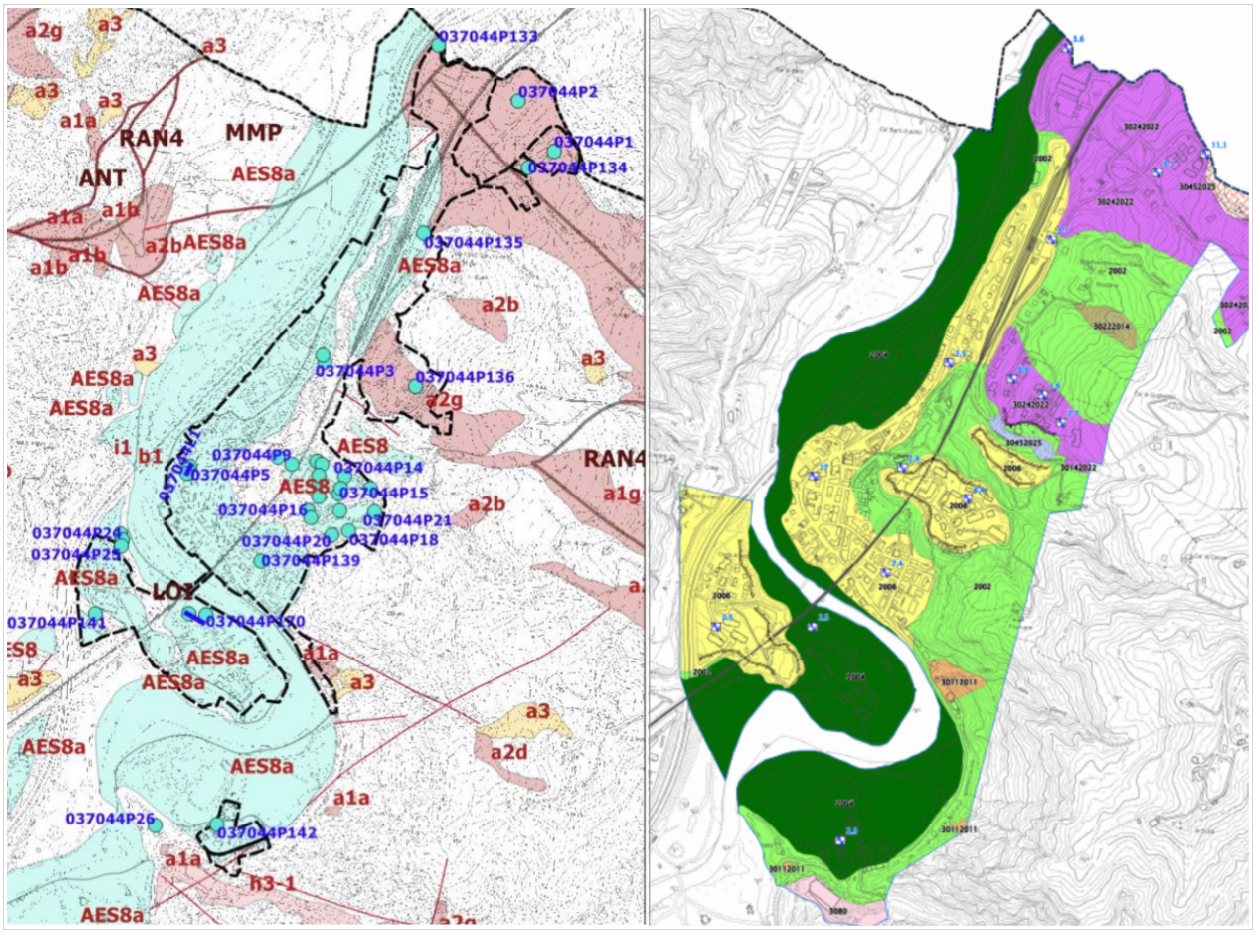


Figura 5.3 – A sx: substrato geologico, coperture quaternarie e discontinuità tettoniche rilevate. Si riportano le prove geognostiche/geofisiche di riferimento. A dx: delimitazione delle zone MOPS (aggiornamento OCDPC 532/2018)

Le numerose indagini raccolte ed effettuate nei depositi alluvionali terrazzati classificati AES8 (penetrometrie dinamiche e statiche, trincee, HVSR, ecc.) hanno evidenziato coperture prevalentemente fini e/o substrato alterato fino a 10 metri (figura 5.4), mentre nel terrazzo più recente del Setta AES8a le coperture risultano modeste, fino a circa 3 metri (figura 5.5). Sulla base dei dati geofisici locali (MASW; HVSR), il substrato roccioso LOI è caratterizzato da Vs30 comprese tra 450 e 500 m/s. Le numerose registrazioni HVSR hanno evidenziato basse amplificazioni spettrali H/V a frequenze medio-alte.

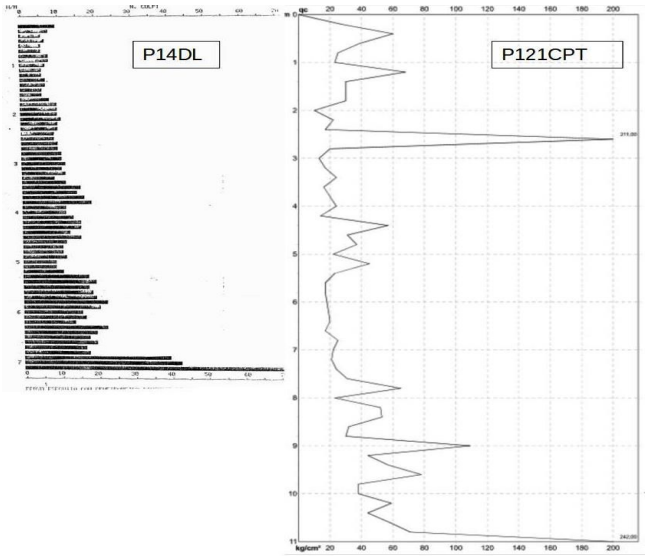


Figura 5.4 – Penetrometrie effettuate nel terrazzo alluvionale AES8 a Vado (MOPS 2006)

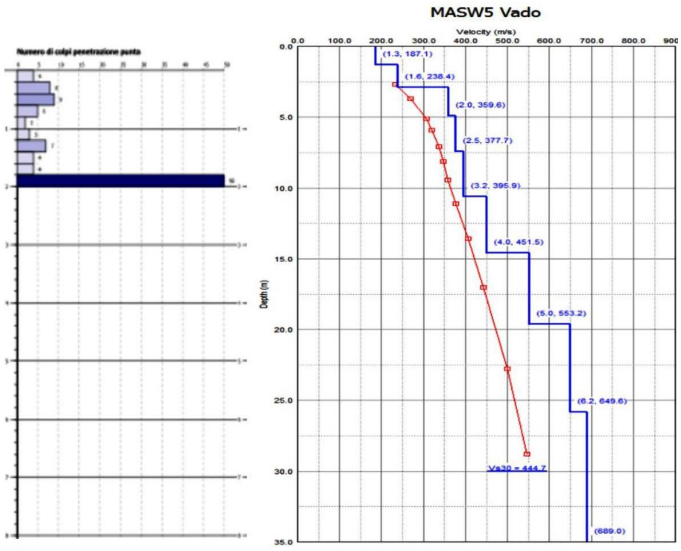


Figura 5.5 – Penetrometria e MASW (L6) effettuata nel terrazzo alluvionale AES8a a Vado (MOPS 2004)

Le indagini già disponibili (sondaggi; penetrometrie; HVSR) per il settore di versante più settentrionale (accumulo di frana complessa) hanno evidenziano coperture fino a 10÷12 metri di profondità, tuttavia si riscontra un substrato molto alterato (anche sabbie sciolte) fino a circa 20 metri e con amplificazioni H/V elevate a medie frequenze (figura 5.6). Per questo settore, sono state eseguite ulteriori indagini geofisiche (stendimento sismico a rifrazione; registrazioni HVSR finalizzate a una migliore definizione del modello sismostratigrafico locale (figura 5.7).

In particolare, nel settore settentrionale le ulteriori indagini e rilievi di campagna hanno consentito di svolgere approfondimenti di "livello 3" che hanno interessato parte del movimento franoso quiescente complesso (in sinistra del rio Monzanello, vedi figura 5.8). Per questo settore, si è dunque elaborata una nuova sezione sismostratigrafica e geotecnica ("sezione 5") che è risultata di riferimento per la modellazione numerica bidimensionale della RSL e per le successive verifiche di stabilità in condizioni sismiche.

La figura 5.9 offre una sintesi della caratterizzazione sismostratigrafica e geotecnica della sezione considerata.

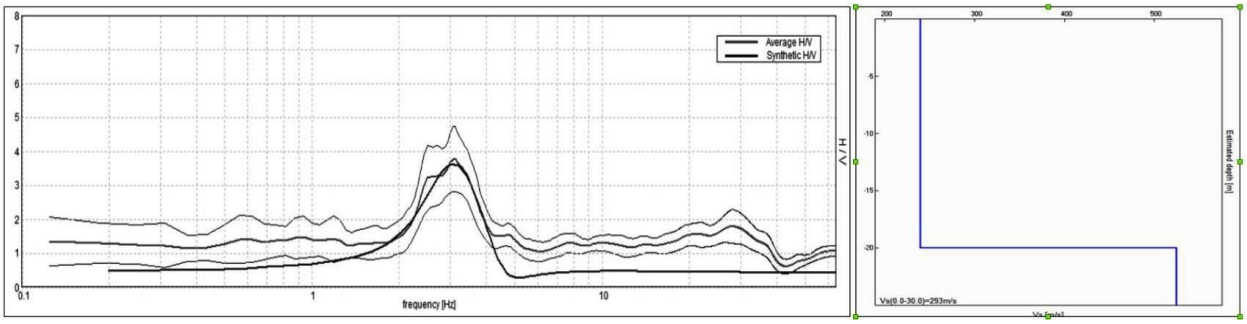


Figura 5.6 – Registrazione P134HVSR e modello sismostratigrafico elaborato per il settore di versante più settentrionale di Vado (accumulo di frana complessa)

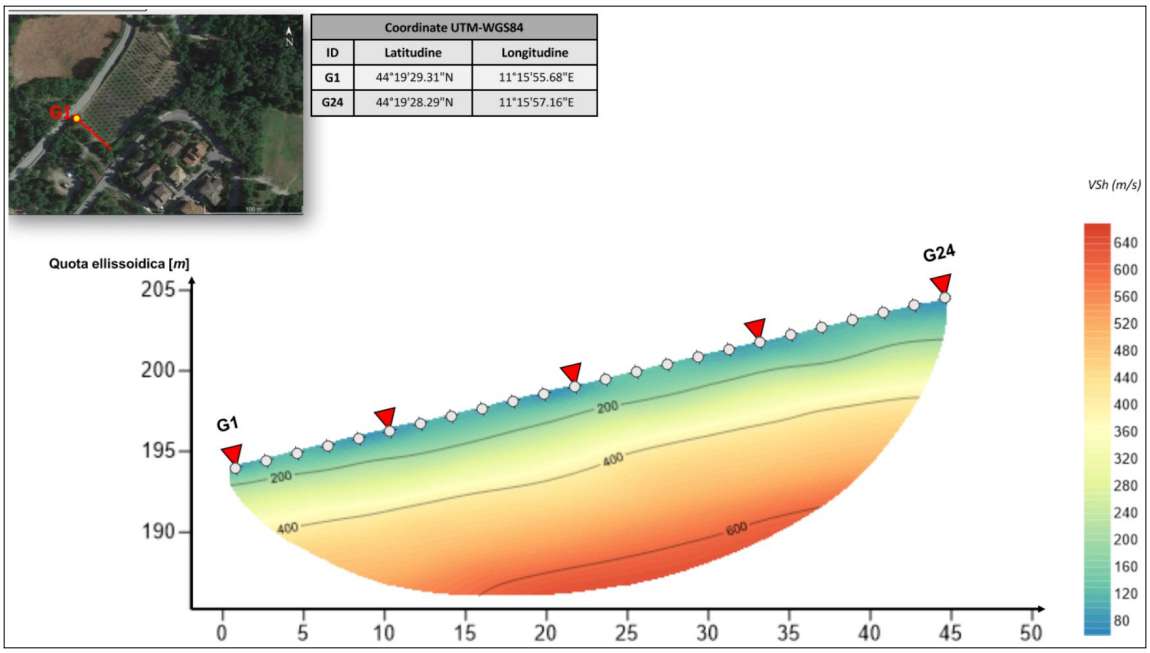


Figura 5.7 – Risultati delle velocita delle onde di taglio S ricavate dello stendimento a rifrazione effettuato sul movimento franoso interessato dagli approfondimenti di "livello 3" (Vado nord)

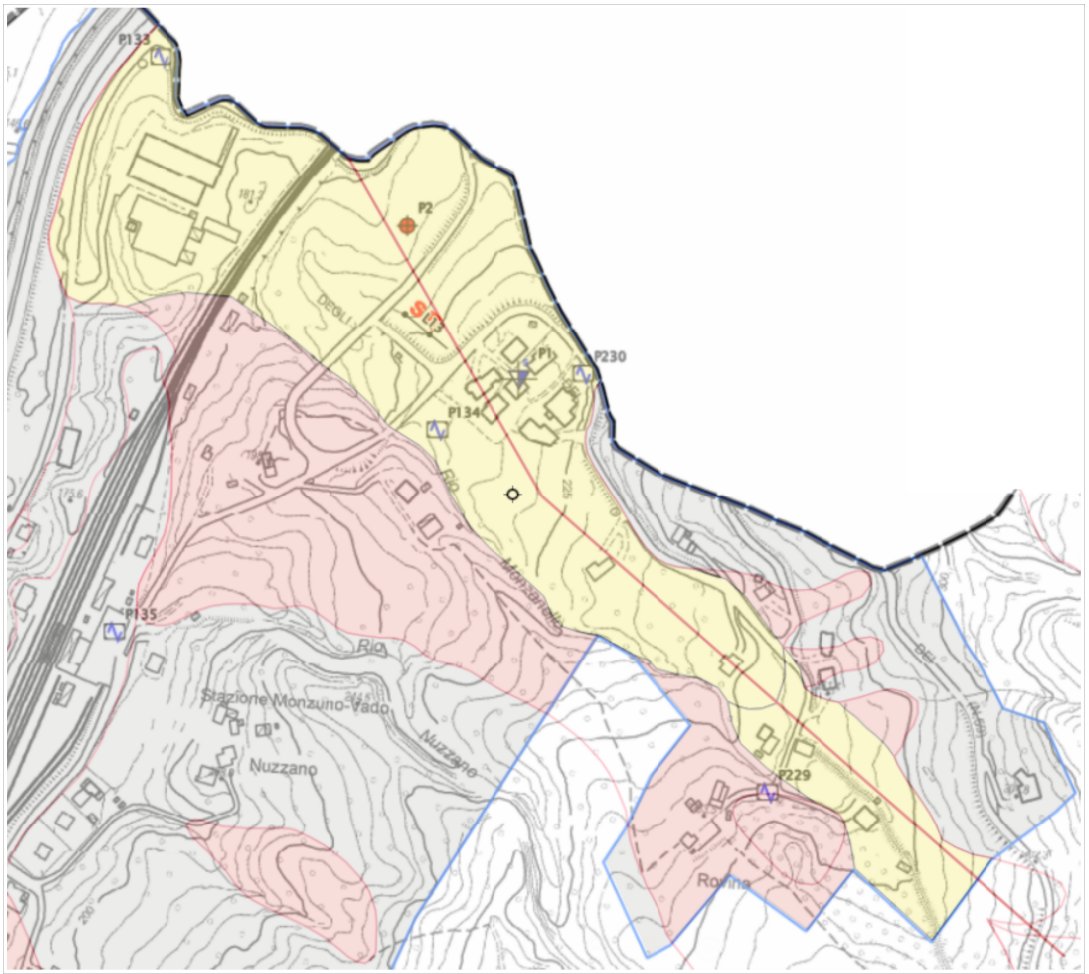


Figura 5.8 – Indagini geognostiche/geofisiche e areale oggetto di approfondimenti di "livello 3" (frana quiescente complessa, evidenziata in giallo) nel settore settentrionale della frazione Vado. È riportata anche la traccia della sezione sismostratigrafica e litotecnica elaborata a supporto degli approfondimenti

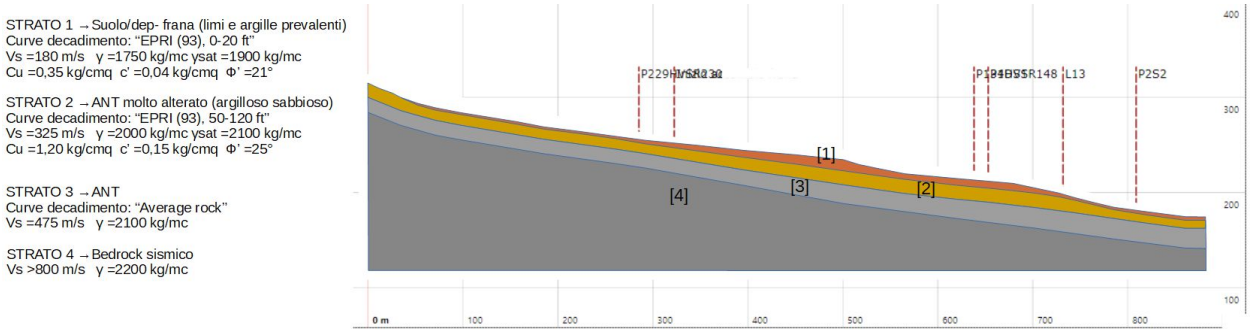


Figura 5.9 – Sintesi della caratterizzazione sismostratigrafica e geotecnica della sezione 5 (Vado)

Sono state inoltre realizzate nuove indagini (penetrometria DPSH, stendimento sismico a rifrazione; registrazioni HVSR) nel versante più meridionale e in sinistra idrografica del fosso Cavera. Si tratta di prove eseguite anche in questo caso su un corpo di frana quiescente complessa, finalizzate allo svolgimento di approfondimenti di "livello 3" (modellazione numerica bidimensionale della RSL e verifiche di stabilità in condizioni sismiche). La figura 5.10 evidenzia l'areale interessato dagli approfondimenti e la localizzazione indagini geognostiche/ geofisiche disponibili. I dati vengono sintetizzati nella nuova "sezione 6" sismostratigrafica e geotecnica di riferimento per gli approfondimenti di "livello 3" (figura 5.11).

Per i risultati degli approfondimenti espletati nella frazione Vado si rimanda rispettivamente ai contenuti dell'allegato 4 (<<Schede modelli numerici della RSL 2D>>) e dell'allegato 5 (<<Stabilità versanti>>).

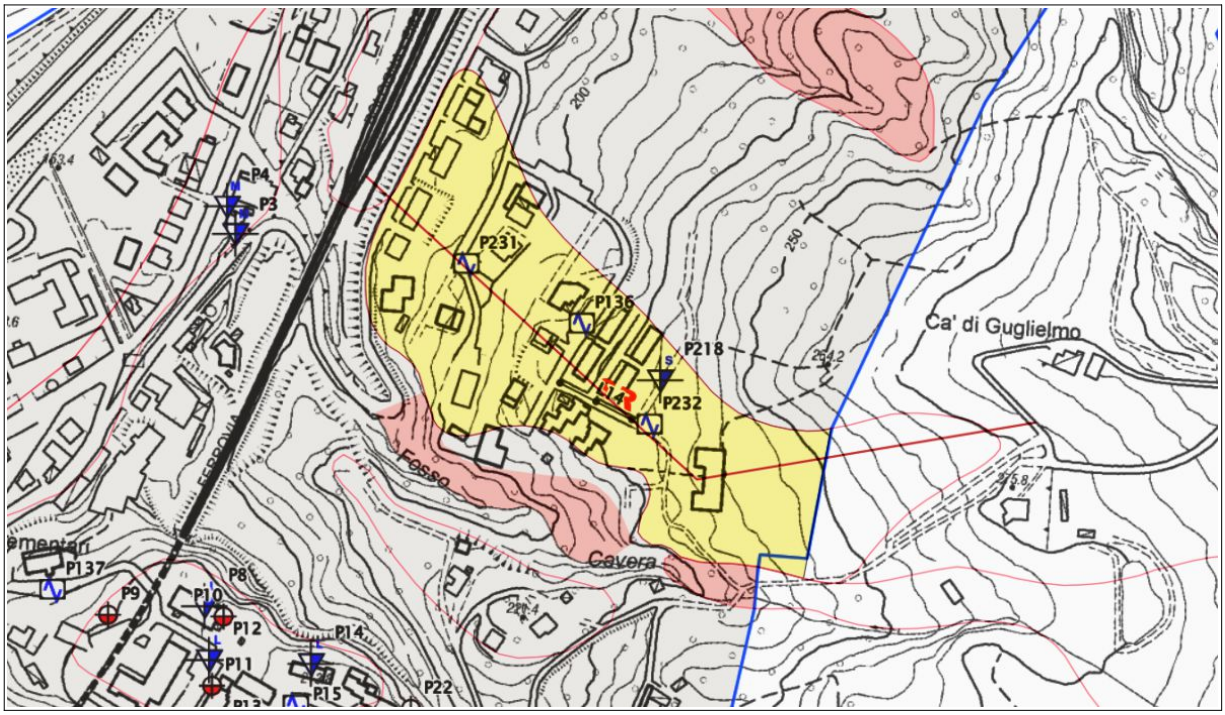


Figura 5.10 – Indagini geognostiche/geofisiche e areale oggetto di approfondimenti di "livello 3" (frana quiescente complessa, evidenziata in giallo) nel settore meridionale della frazione Vado. È riportata anche la traccia della sezione sismostratigrafica e litotecnica elaborata a supporto degli approfondimenti

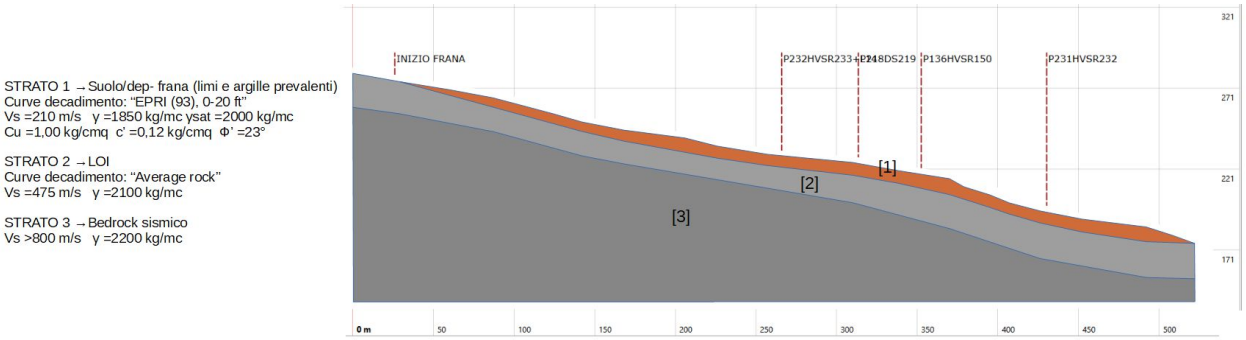


Figura 5.11 – Sintesi della caratterizzazione sismostratigrafica e geotecnica della sezione 6 (Vado)

5.3 Ca' del Cucco

Anche l'edificazione presso il toponimo Ca' del Cucco è insediata su crinale con rilievi caratterizzati da substrato roccioso arenitico stratificato poco cementato (Formazione di Loiano – LOI) subaffiorante (figura 5.12). La registrazione HVSR disponibile evidenzia una traccia spettrale relativamente piatta (basse amplificazioni H/V a frequenza di 2,3 Hz) come riportato in figura 5.13. Sono tuttavia calcolate amplificazioni morfologiche fino a 1,3.

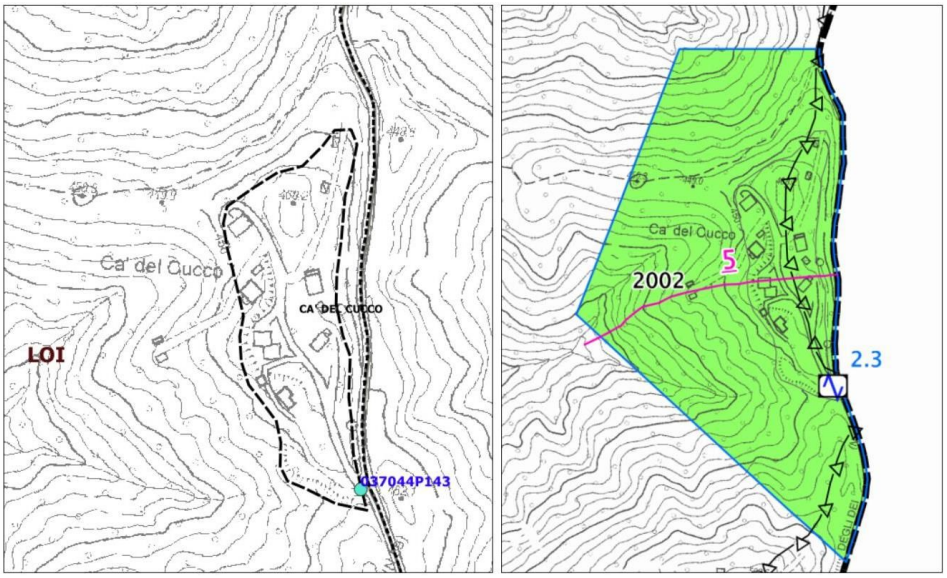


Figura 5.12 – A sx: substrato geologico, coperture quaternarie e discontinuità tettoniche rilevate. Si riportano le prove geognostiche e geofisiche di riferimento. A dx: delimitazione delle zone MOPS

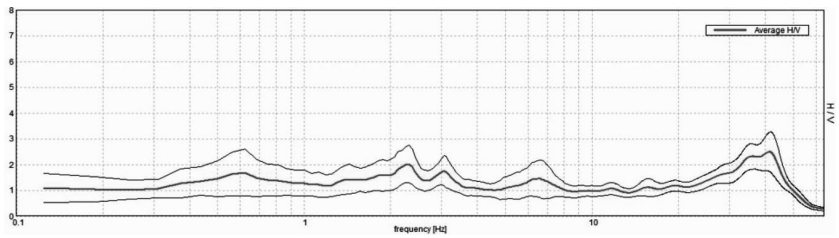


Figura 5.13 – Registrazione P143HVSR eseguita presso Ca' del Cucco

5.4 Tre Fasci

La frazione Tre Fasci è anch'essa insediata su crinall con rilievi caratterizzati da substrato roccioso arenitico stratificato poco cementato (Formazione di Loiano – LOI) subaffiorante (figura 5.14) e versanti con acllività variabili fino a circa 30°. La stratificazione risulta NE vergente.

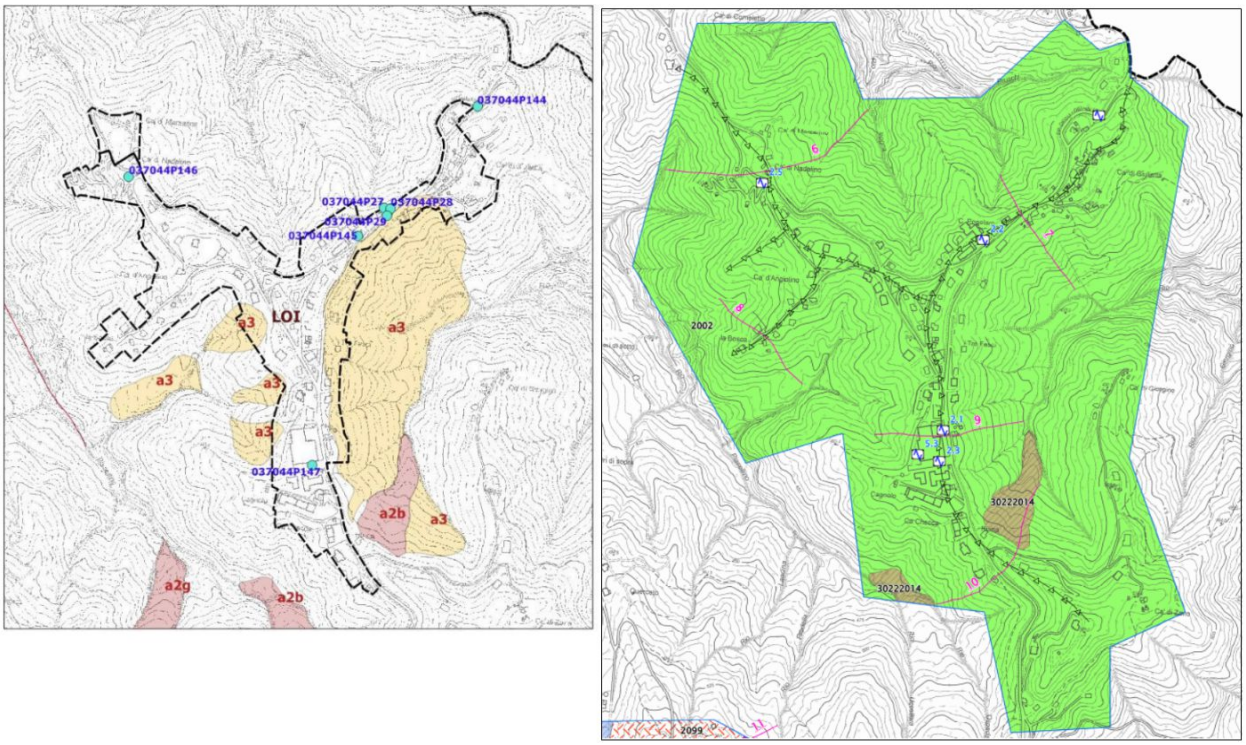


Figura 5.14 – A sx: substrato geologico, coperture quaternarie e discontinuità tettoniche rilevate. Si riportano le prove geognostiche/geofisiche di riferimento. A dx: delimitazione delle zone MOPS

Le indagini disponibili (DPSH; CPT; HVSR) evidenziano nell'abitato substrato sub affiorante "non rigido" (con Vs30 approssimabile a circa 500 m/s), con coperture >3 metri (figura 5.15). Nei versanti la cartografia geologica RER riporta coperture di versante che in base ai rilievi geomorfologici appaiono di modesto spessore e forme di dissesto per scivolamento di limitata supeficie che presumibilmente hanno interessato la coltre più alterata superficiale del bedrock.

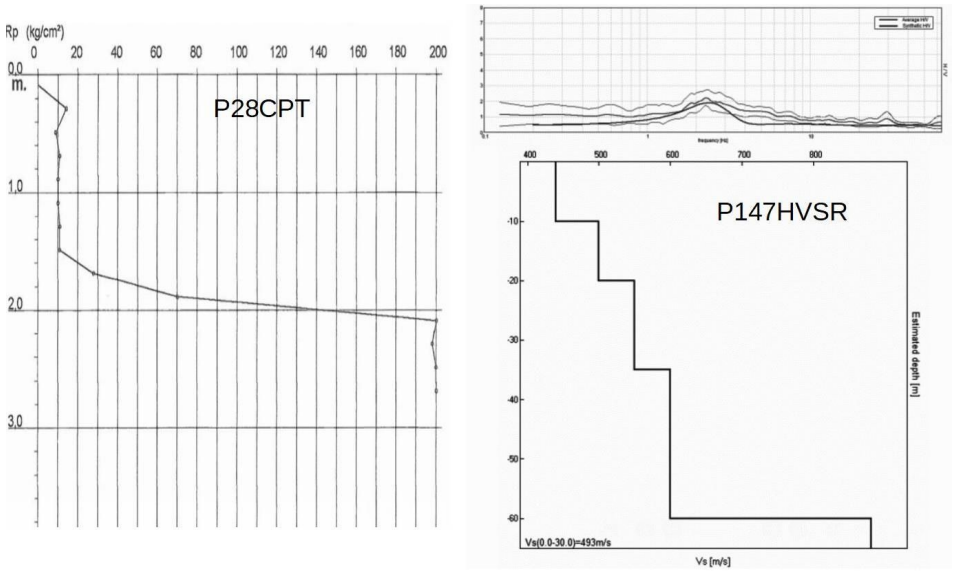


Figura 5.15 – Prova penetrometrica CPT e HVSR con modello sismostratigrafico elaborato per la frazone Tre Fasci

La registrazioni HVSR disponibili evidenziano tracce spettrali con basse amplificazioni a frequenze medio-basse (f_0 tra 2,2, e 2,5 Hz).

Per i rilievi e le creste, le sezioni topografiche hanno consentito di stimare amplificazioni morfologiche comprese tra 1,1 e 1,4.

5.5 Monzuno – Madonnina delle campagne (con ulteriori approfondimenti – OCDPC 532/2018)

Il Capoluogo si insedia prevalentemente su rilievi costituiti da conglomerati e brecce poco cementate (Formazione di Loiano – Membro di Monzuno – LOI2), con areniti stratificate anch'esse poco cementate (LOI) affioranti nel versante a nord dell'abitato (figura 5.16). I rilievi più a sud dell'areale studiato e in particolare il toponimo "Madonnina delle Campagne" sono invece caratterizzati da substrato costituito da alternanze di strati arenacei e strati pelitici (Formazione di Monte Venere – MOV).

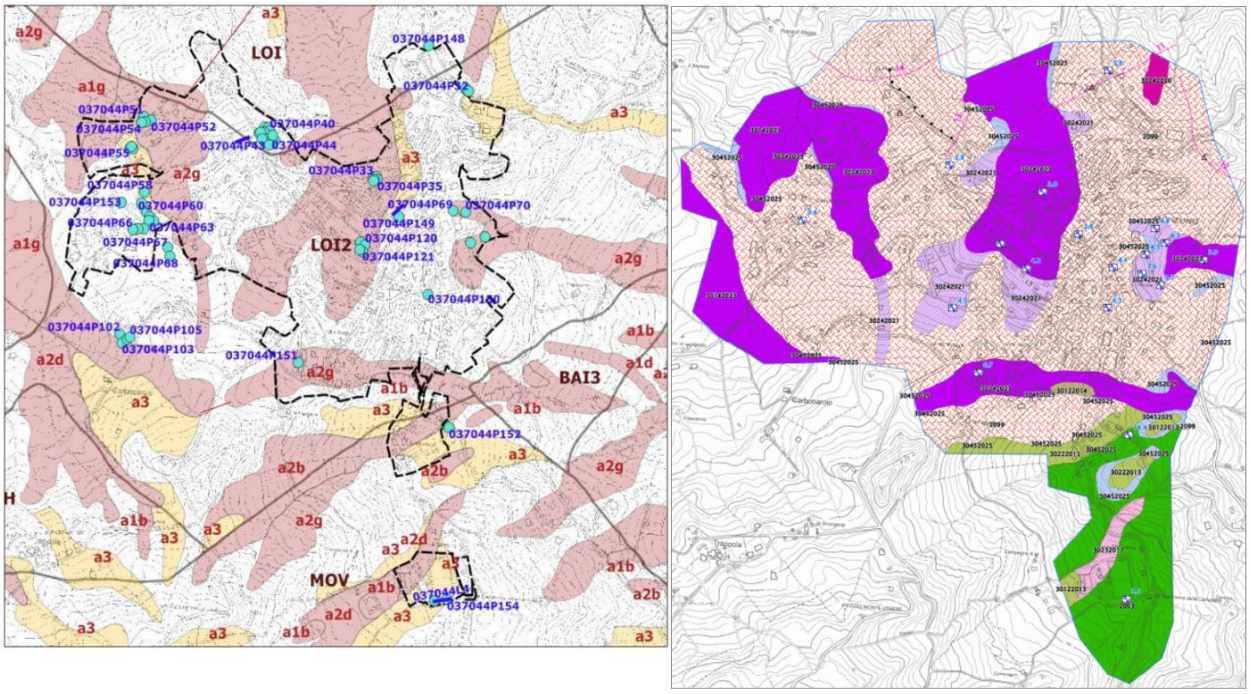


Figura 5.16 – A sx: substrato geologico, coperture quaternarie e discontinuità tettoniche rilevate. Si riportano le prove geognostiche/geofisiche di riferimento. A dx: delimitazione delle zone MOPS

Per Monzuno sono disponibili numerose prove geognostiche/geofisiche (sondaggi; penetrometrie CPT, DPL e DPSH; trincee; stendimenti MASW/Re.Mi. e registrazioni HVSR). Tali prove hanno evidenziato la presenza di coperture fino a circa 10÷15 metri, in parte riconducibili a depositi di versante e/o a bedrock superficiale molto alterato (figura 5.17). La cartografia geologica RER rileva inoltre ampie forme di dissesto, di tipologia per lo più complessa (scivolamento e/o colamento), che hanno interessato anche il territorio urbano, con superfici di scorrimento che coinvolgono il bedrock superficiale più alterato.

Le indagini geofisiche hanno confermato la presenza di coperture "soffici" e/o substrato roccioso molto alterato. Le registrazioni HVSR evidenziano picchi spettrali H/V da moderati ad alti (H/V >3) a frequenze medio-alte (figura 5.18).

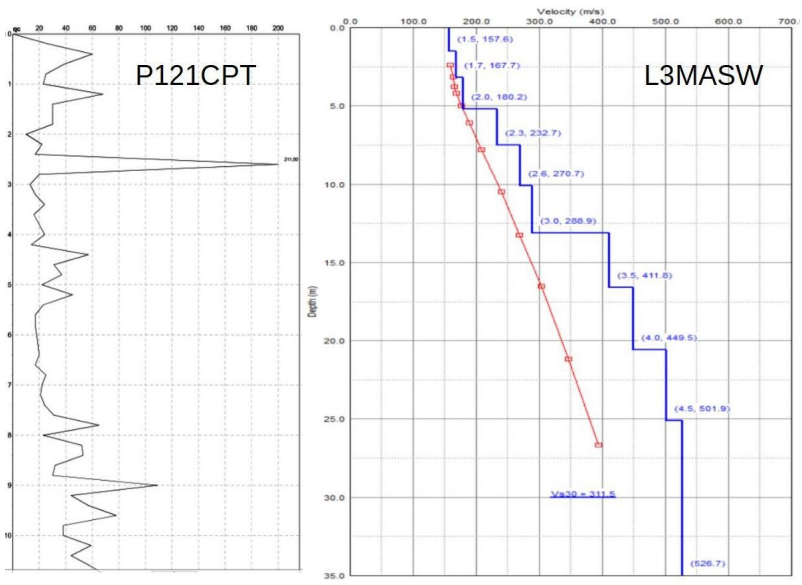


Figura 5.17 – Prova penetrometrica CPT e MASW eseguite presso Monzuno

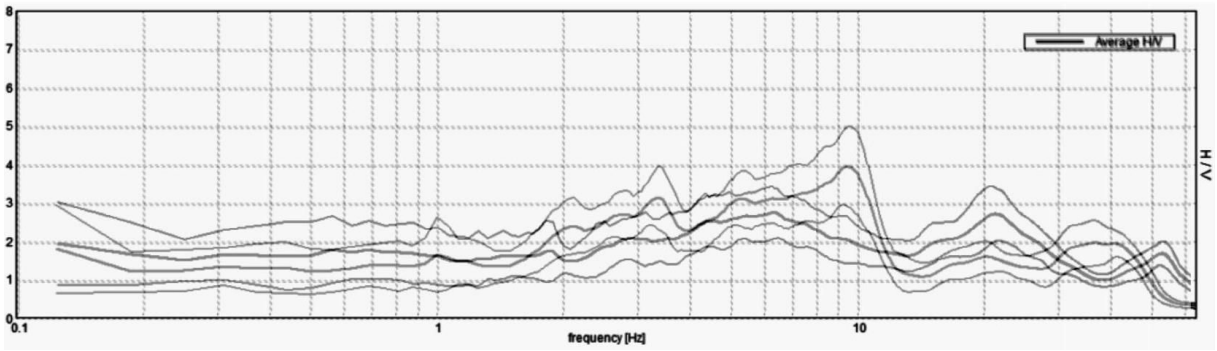


Figura 5.18 – Sovrapposizioni di registrazioni HVSR (P150 e P153) eseguite presso Monzuno

Per questo ulteriore aggiornamento della MS sono stati eseguiti ulteriori rilievi di campagna e prove sismiche (registrazioni HVSR) nonchè la raccolta di ulteriori e recenti indagini geognostiche di repertorio forniteci dall'Ufficio Tecnico Comunale (penetrometrie DPSH; HVSR, prove di laboratorio geotecnico – taglio diretto eseguite per la caratterizzazione dei terreni limitrofi all'edificio comunale in via Casaglia n.1), finalizzate alla una migliore caratterizzazione sismostratigrafica e geotecnica e propedeutiche agli approfondimenti di "livello 3" che hanno interessato due principali movimenti franosi quiescenti complessi (con modellazioni numeriche della RSL 2D e analisi della stabilità in condizioni sismiche) nel territorio urbanizzato. La figura 5.19 evidenzia i movimenti franosi che sono stati oggetto di approfondimenti e le indagini geognostiche/geofisiche disponibili rispetto agli areali studiati.

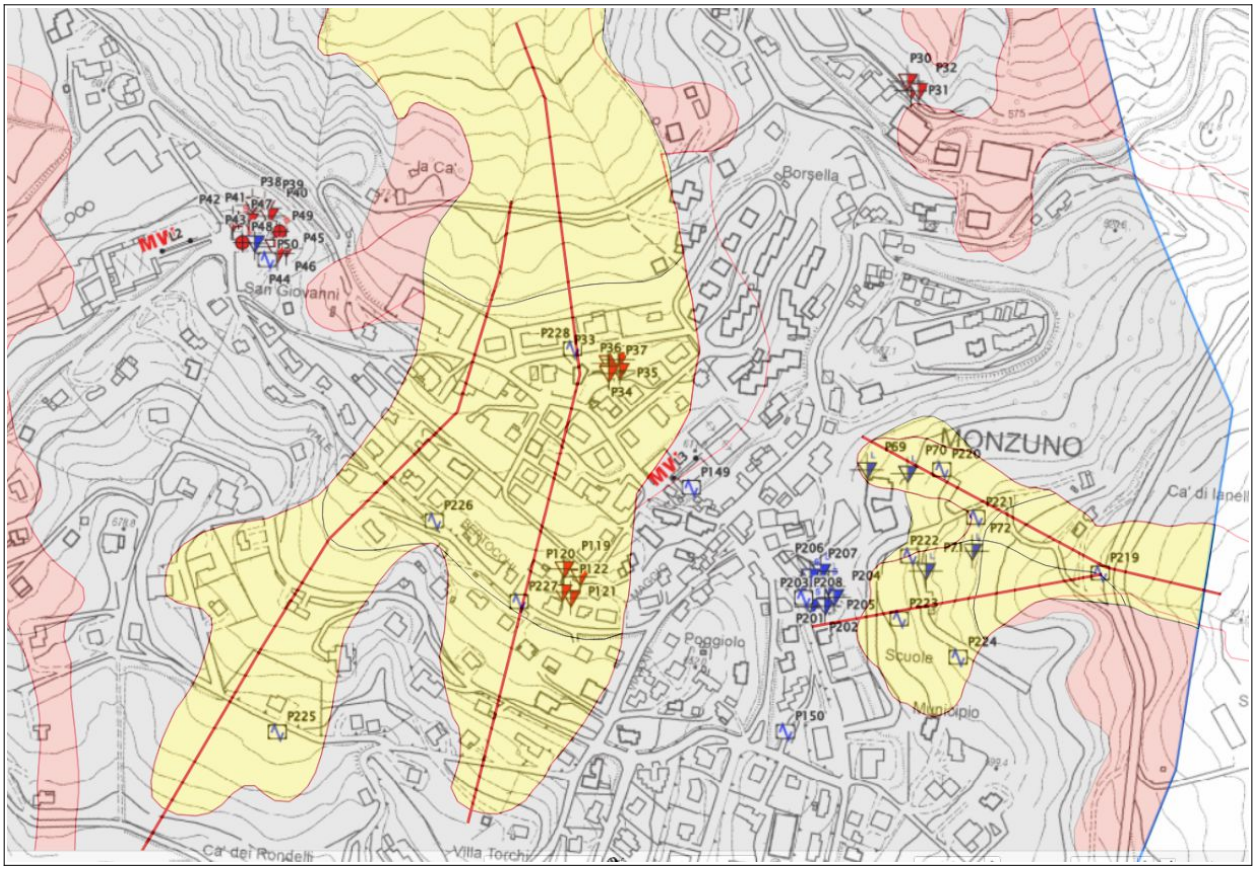


Figura 5.19 – Indagini geognostiche/geofisiche e areali oggetto di approfondimenti di "livello 3" (frane quiescenti complesse, evidenziate in giallo). Vengono riportate anche le tracce delle sezioni sismostratigrafiche e litotecniche elaborate per questo studio

Per il Capoluogo, le indagini geognostiche e geofisiche hanno permesso di elaborare quattro nuove sezioni sismostratigrafiche e geotecniche ("sezione 1", "sezione 2", "sezione 3", "sezione 4") che sono risultate di riferimento per le modellazioni numeriche bidimensionali della RSL e per le successive verifiche di stabilità in condizioni sismiche. Per i risultati si rimanda rispettivamente ai contenuti dell'allegato 4 (<<Schede modelli numerici della RSL 2D>>) e dell'allegato 5 (<<Verifiche di stabilità di versante in condizioni sismiche>>). Le seguenti figure 5.20, 5.21, 5.22 e 5.23 rappresentano la sintesi della caratterizzazione sismostratigrafica e geotecnica delle quattro sezioni considerate.

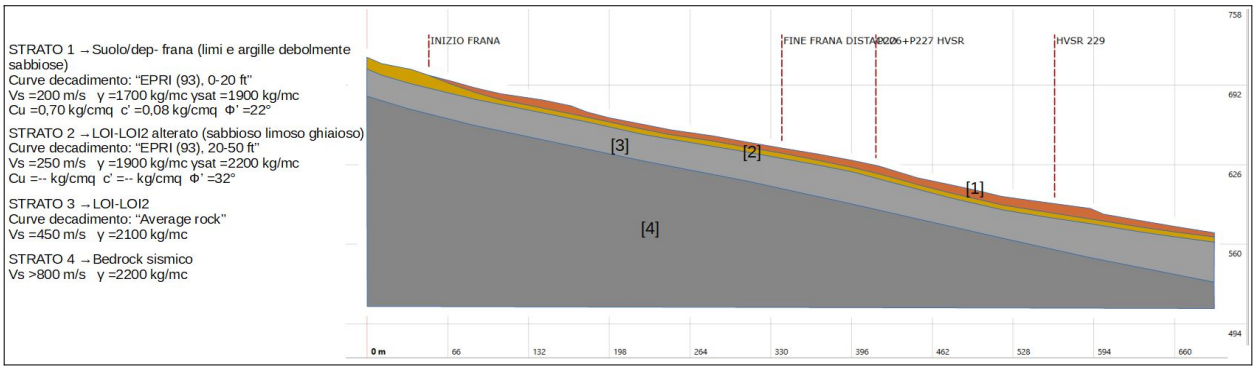


Figura 5.20 – Sintesi della caratterizzazione sismostratigrafica e geotecnica della sezione 1 (Capoluogo)

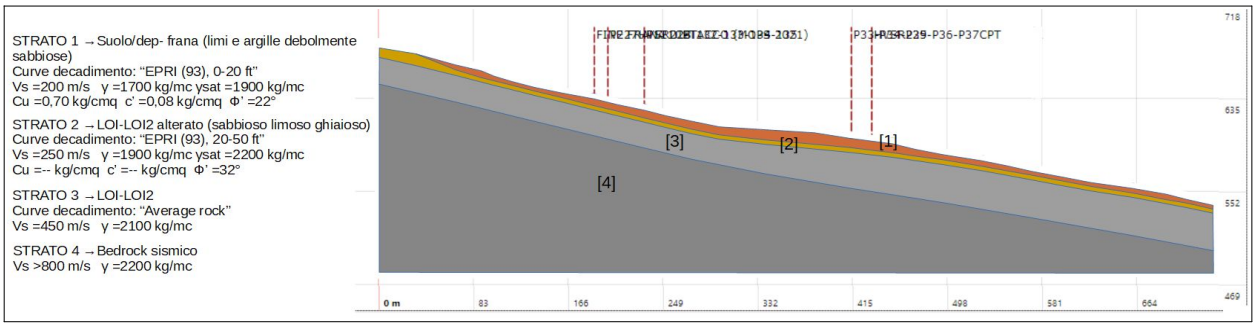


Figura 5.21– Sintesi della caratterizzazione sismostratigrafica e geotecnica della sezione 2 (Capoluogo)

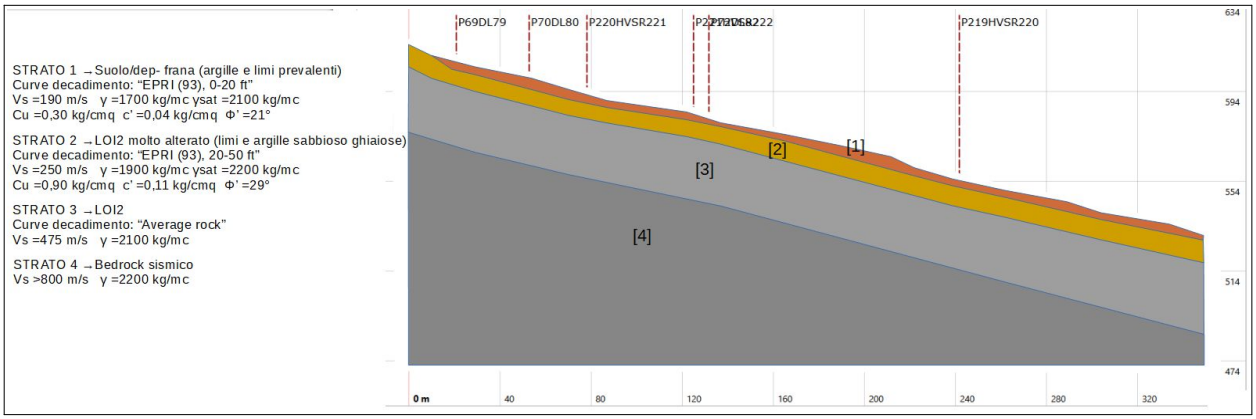


Figura 5.22– Sintesi della caratterizzazione sismostratigrafica e geotecnica della sezione 3 (Capoluogo)

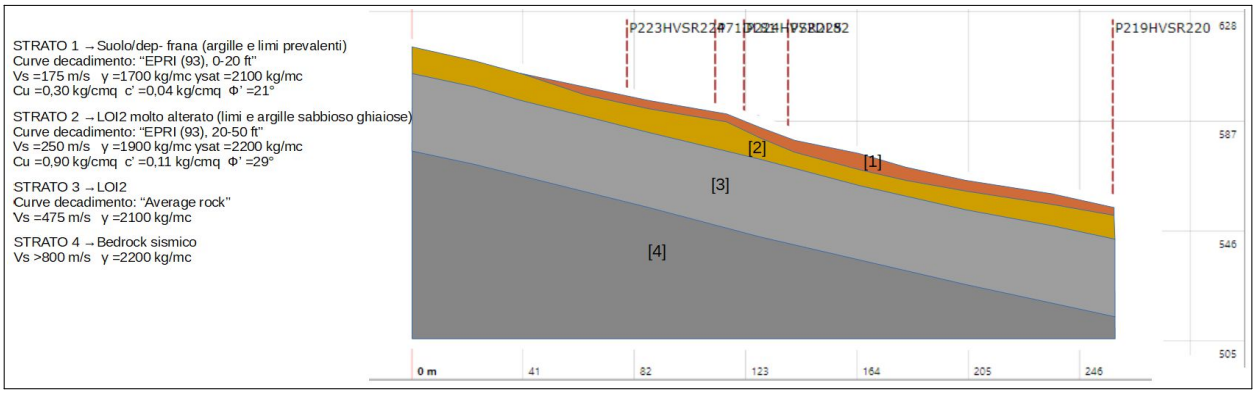


Figura 5.23– Sintesi della caratterizzazione sismostratigrafica e geotecnica della sezione 4 (Capoluogo)

Anche presso il toponimo "Madonnina delle Campagne" le indaginigeognostiche/geofisiche (DPSH; MASW) evidenziano substrato MOS subaffiorante "non rigido" con Vs30 pari a circa 400 m/s (figura 5.24).

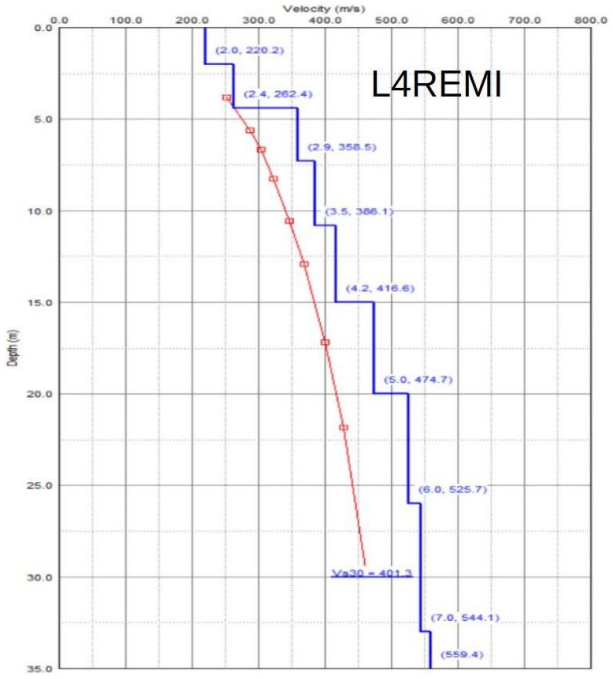


Figura 5.24 – Stendimento MASW eseguito presso Madonnina delle Campagne

5.6 Cozzo di Sotto e area di emergenza "Camping Riva di Setta"

Il toponimo Cozzo di Sotto è situato al piede del fondovalle alla confluenza del Rio Cozzo con il Torrente Setta; parte del perimetro urbano ricade nei depositi di conoide inattiva del rio medesimo.

Il substrato che caratterizza il pendio e il fondovalle è localmente costituito da brecce argillose di Baiso (Membro di Poggio Cavaliera – BAI3), che risultano tettonicamente molto alterate (figura 5.25).

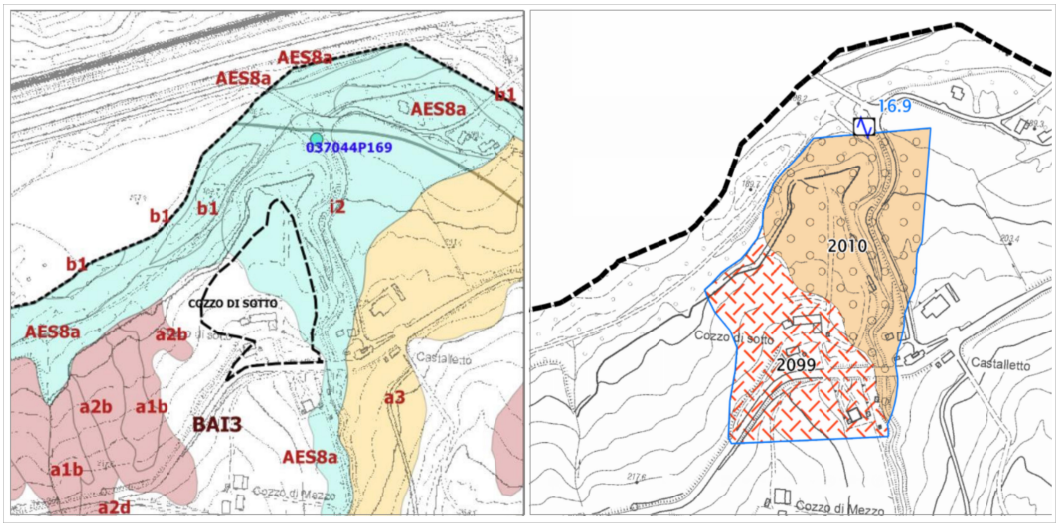


Figura 5.25 – A sx: substrato geologico, coperture quaternarie e discontinuità tettoniche rilevate. Si riportano le prove geognostiche/ geofisiche di riferimento. A dx: delimitazione delle zone MOPS

Dal modello sismostratigrafico ricavato dalla registrazione HVSR effettuata nel fondovalle è possibile ricavare uno spessore delle coperture di conoide pari a circa 10 metri, mentre il

versante è caratterizzato da bedrock molto alterato, con Vs30 approssimabile a 350 m/s (figura 5.26).

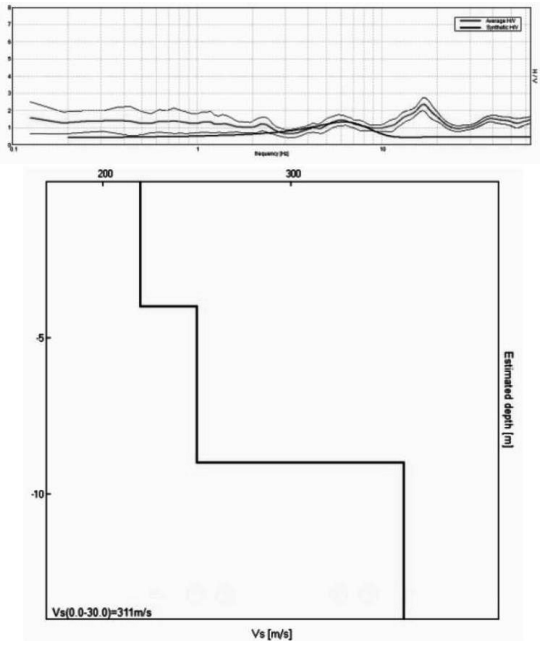


Figura 5.26 – Registrazione P169HVSR eseguita presso Cozzo di Sotto e relativio modello sismostratigrafico

Questo studio ha inoltre permesso di includere negli areali con microzonazione fino al "livello 2" l'area di emergenza indicata nella CLE corrispondente al camping "Riva del Setta" . Nell'areale (figura 5.27) sono state eseguite indagini geognostiche/geofisiche (penetrometria DPSH e registrazioni HVSR) per la caratterizzazione sismostratigrafica. I risultati (figura 5.28) evidenziano anche in questo caso uno spessore delle coperture (alluvionali ghiaiose e sottostante bedrock BAI3 molto alterato) fino a circa 12 metri (Vs12 =228 m/s).

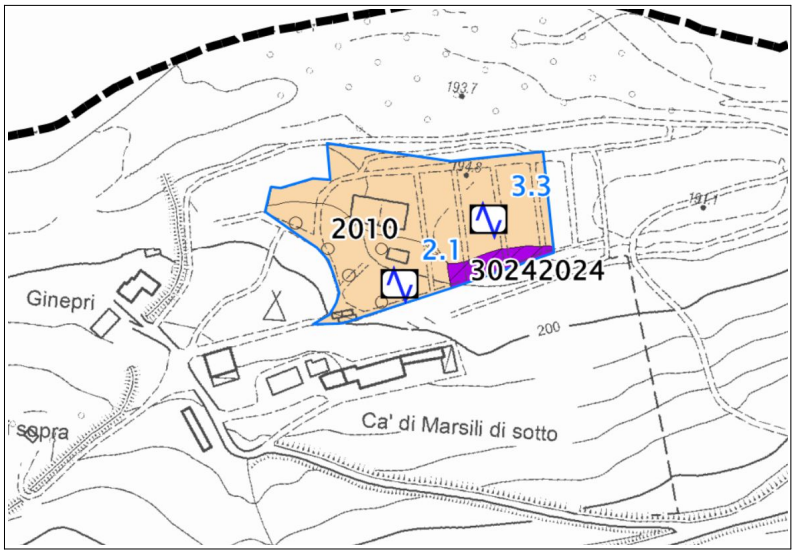


Figura 5.27 – delimitazione delle zone MOPS nell'areale di emergenza "Camping Riva di Setta"

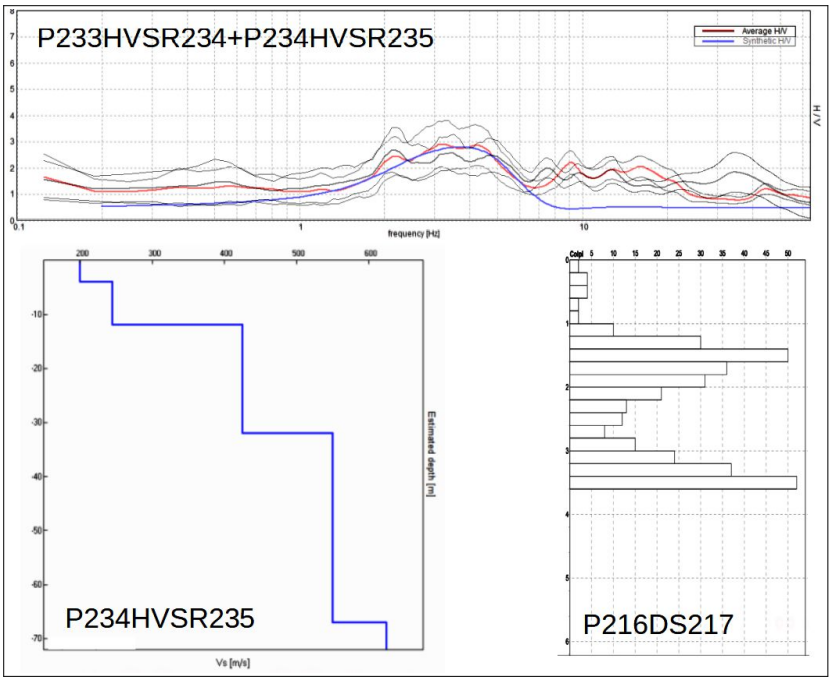


Figura 5.28– Risultati delle indagini eseguite presso il Camping "Riva del Setta (area di emergenza indicata nella CLE)

5.7 Le Braine

Il perimetro urbano denominato "Le Braine" è situato al piede del versante in destra idrografica del Torrente Setta. Il substrato roccioso è anche qui costituito da brecce argillose di Baiso (Membro di Poggio Cavaliera – BAI3), che risultano tettonicamente molto alterate (figura 5.29). Il pendio è tuttavia caratterizzato da coperture di frana complessa (scivolamento/colata) con evidenze di parziale movimento anche recente (la frana viene classificata "attiva" nella cartografia geologica RER).

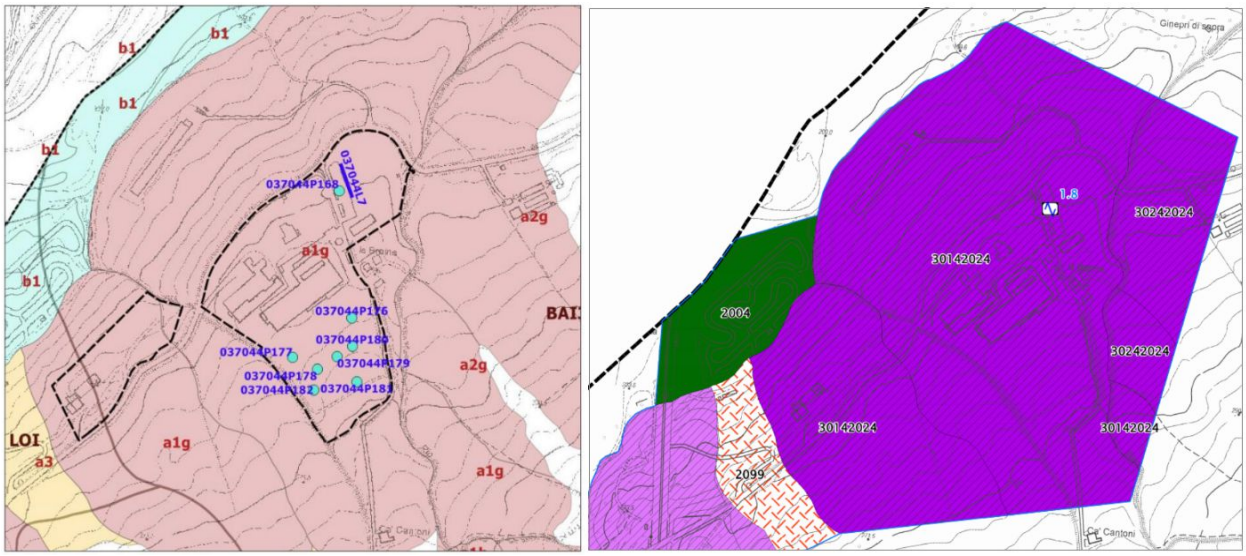


Figura 5.29 – A sx: substrato geologico, coperture quaternarie e discontinuità tettoniche rilevate. Si riportano le prove geognostiche/ geofisiche di riferimento. A dx: delimitazione delle zone MOPS

Le indagini geognostiche/geofisiche disponibili evidenziano spessori di coperture "soffici" (depositi di frana e/o bedrock molto alterato) fino a circa 30 metri (figura 5.30).

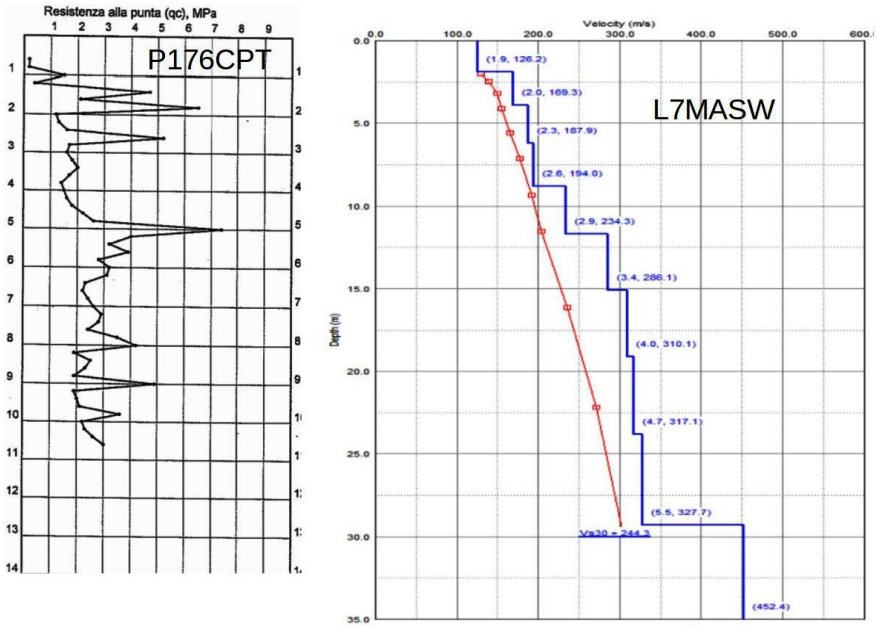


Figura 5.30 – Penetrometria CPT e MASW eseguite presso Le Braine

5.8 Rioveggio – Canova – Polverara – Molino Cattani

La frazione Rioveggio e i toponimi in questione si collocano al piede del pendio nel fondovalle in destra idrografica del Torrente Setta (figura 5.31).

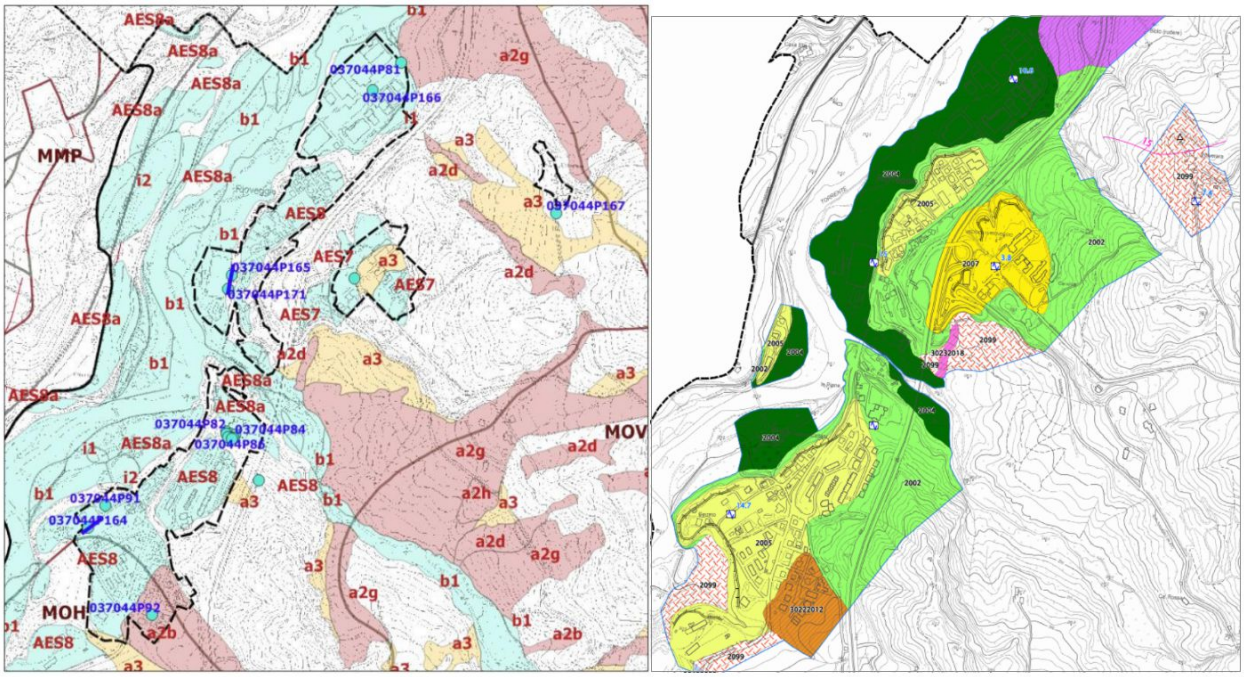


Figura 5.31 – A sx: substrato geologico, coperture quaternarie e discontinuità tettoniche rilevate. Si riportano le prove geognostiche/geofisiche di riferimento. A dx: delimitazione delle zone MOPS

Il substrato roccioso affiorante nel versante è qui costituito da areniti stratificate poco cementate della Formazione di Loiano (LOI), tuttavia gli abitati di Rioveggio, Molino Cattani si insediano prevalentemente su depositi alluvionali terrazzati (AES8a; AES8), con coperture di

modesto spessore, fino a circa 3÷5 metri, come dimostrano le indagini disponibili (figura 5.32). Le registrazioni HVSR effettuate su tali areali evidenziano moderati picchi spettrali H/V ad alte frequenze (comprese tra 10,6÷15 Hz).

Il perimetro urbano "Canova" è anch'esso prevalentemente collocato su depositi alluvionali terrazzati più antichi (AES7). Tali coperture alluvionali risulterebbero ancora di modesto spessore, tuttavia con il sottostante bedrock arenitico LOI che appare localmente molto alterato, fino a circa 15 metri di profondità, come dimostrerebbero anche le indagini disponibili presso il toponimo Polverara (figura 5.33).

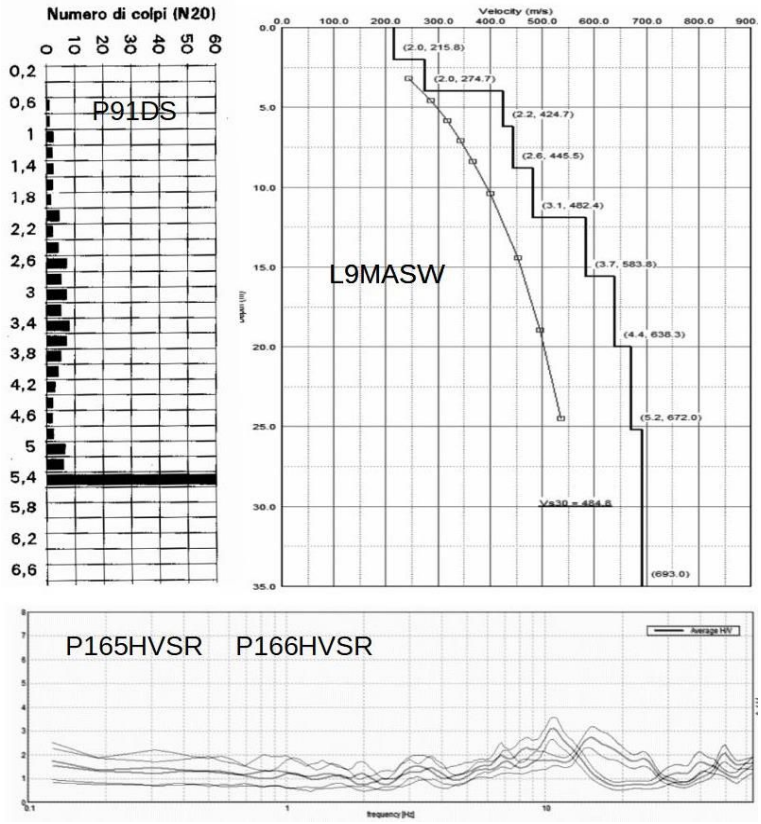


Figura 5.32 – Indagini geognostiche/geofisiche eseguite nel fondovalle abitato di Rioveggio e Molino Cattani

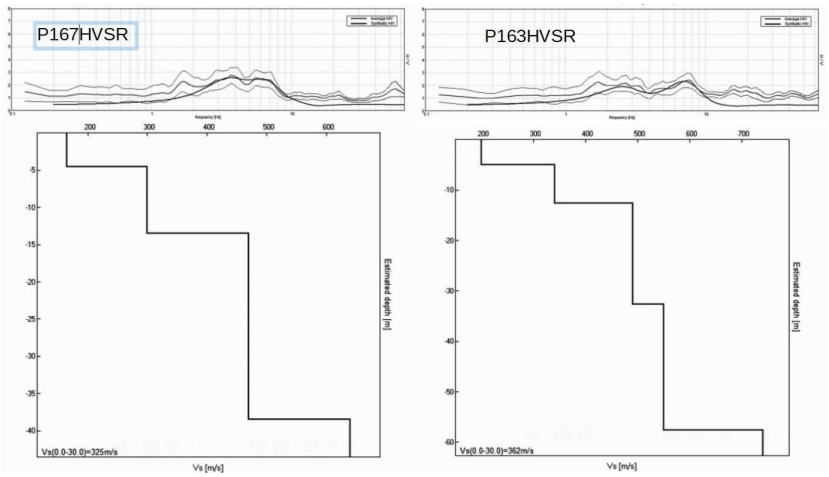


Figura 5.33– Registrazioni HVSR eseguite presso "Canova" (a sx) e presso "Polverara" (a dx) e relativi modelli sismostratigrafici elaborati

5.9 San Rocco

L'abitato di San Rocco si insedia su rilievi caratterizzati da substrato roccioso costituito da alternanze di livelli lapidei/arenacei e pelitici (Formazione di Monte Venere – MOV) e con stratificazioni NE vergente. La cartografia geologica RER rileva nei versanti sottostanti depositi di versante e frequenti forme di dissesto (scivolamento e/o colamento), che lambiscono (in alcuni casi intersecano) il perimetro urbanizzato (figura 5.34).

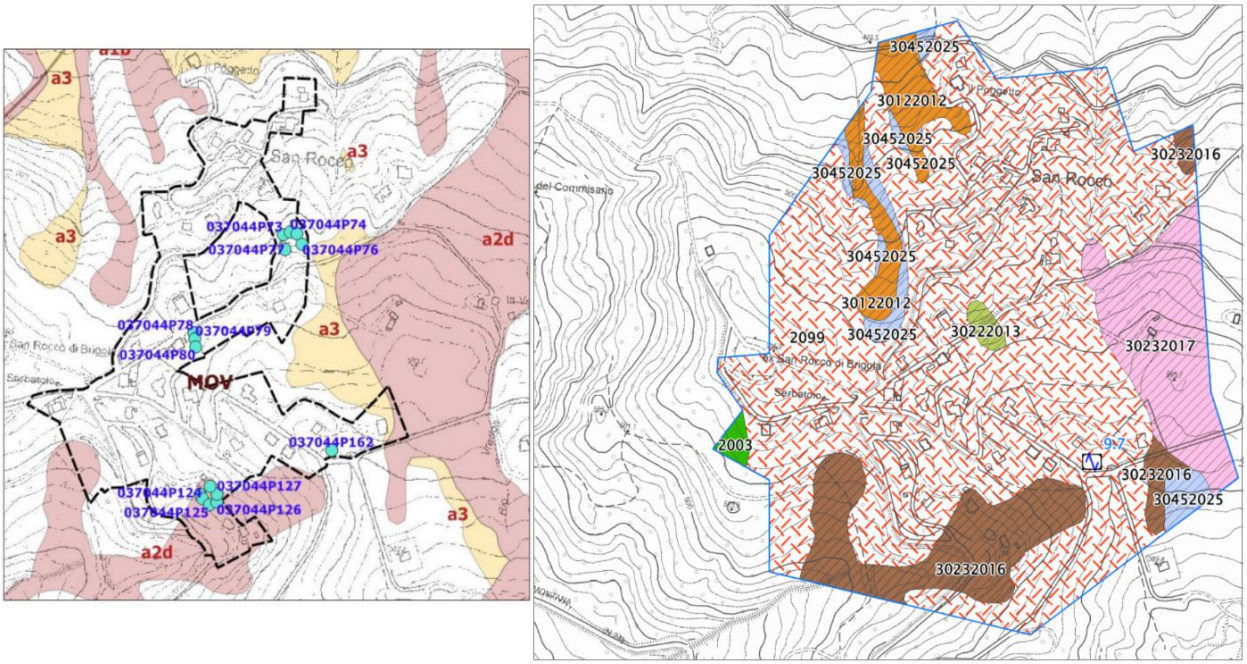


Figura 5.34 – A sx: substrato geologico, coperture quaternarie e discontinuità tettoniche rilevate. Si riportano le prove geognostiche/geofisiche di riferimento. A dx: delimitazione delle zone MOPS

Le indagini disponibili nell'abitato e in particolare le penetrometrie CPT e DPSH (figura 5.35) evidenziano diffuse coperture più superficiali (disfacimento del bedrock affiorante?) di modesto spessore: fino a 5÷6 metri e presumibilmente fino a 10÷12 metri nel versante est (coperture riconducibili a frana per colamento quiescente).

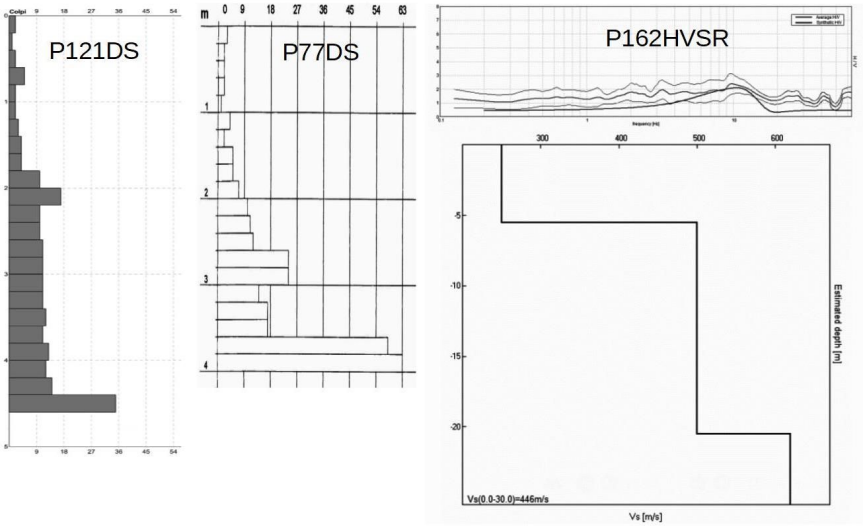


Figura 5.35– Penetrometrie dinamiche e registrazione HVSR eseguite presso San Rocco, con relativo modello sismostratigrafico elaborato

5.10 Montorio

L'abitato di Montorio è anch'esso insediato su rilievi costituiti da substrato roccioso con alternanze di livelli lapidei/arenacei e pelitici (Formazione di Monte Venere – MOV). La cartografia geologica RER rileva nei versanti sottostanti depositi di versante e frequenti forme di dissesto (scivolamento e/o colamento), che lambiscono il perimetro urbanizzato (figura 5.36).

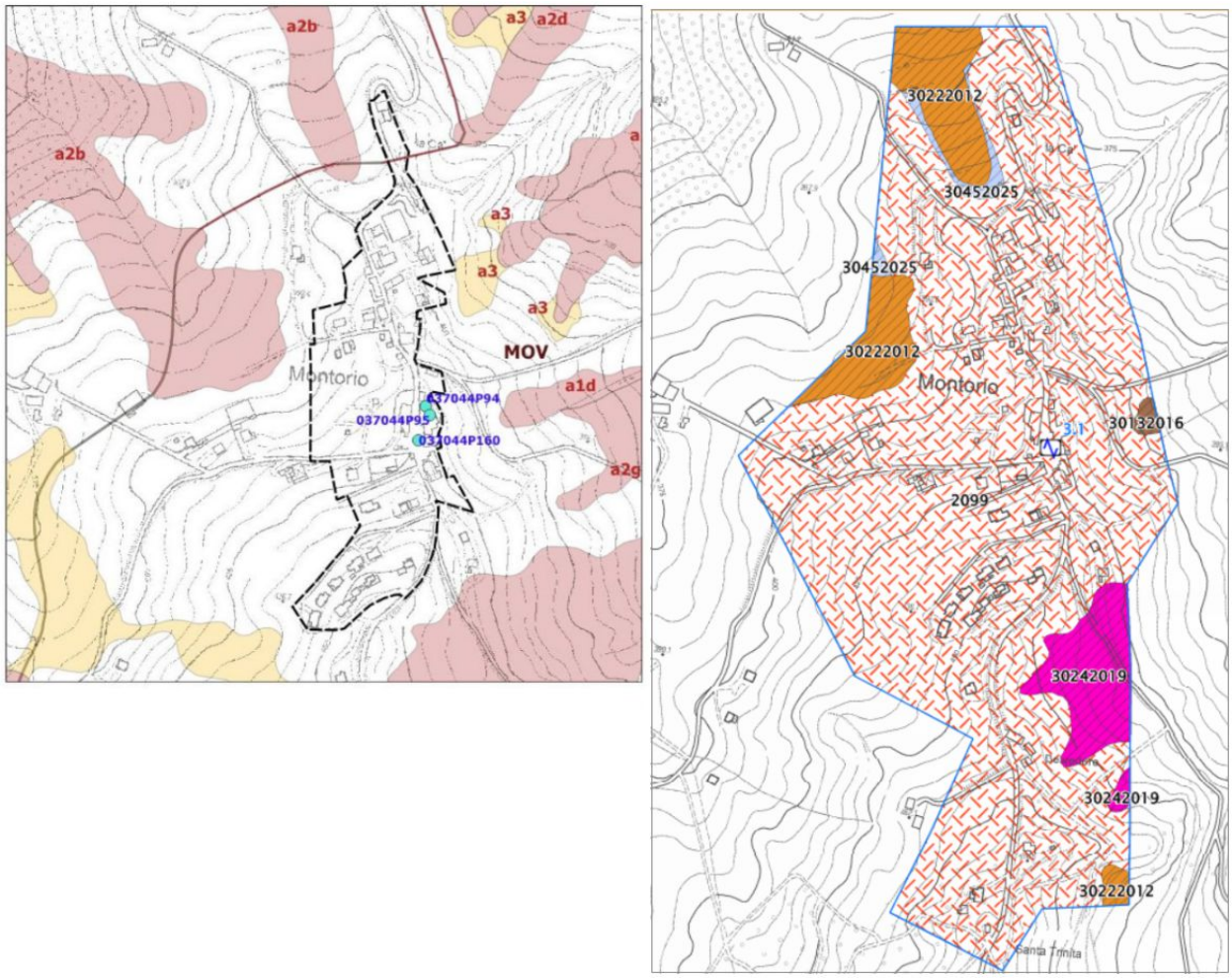


Figura 5.36 – A sx: substrato geologico, coperture quaternarie e discontinuità tettoniche rilevate. Si riportano le prove geognostiche/geofisiche di riferimento. A dx: delimitazione delle zone MOPS

Le indagini disponibili per l'abitato (DPSH; HVSR) e in particolare le penetrometrie CPT e DPSH evidenziano spessori superficiali "soffici" (bedrock affiorante molto alterato?) fino a profondità di circa 9÷10 metri (figura 5.36).

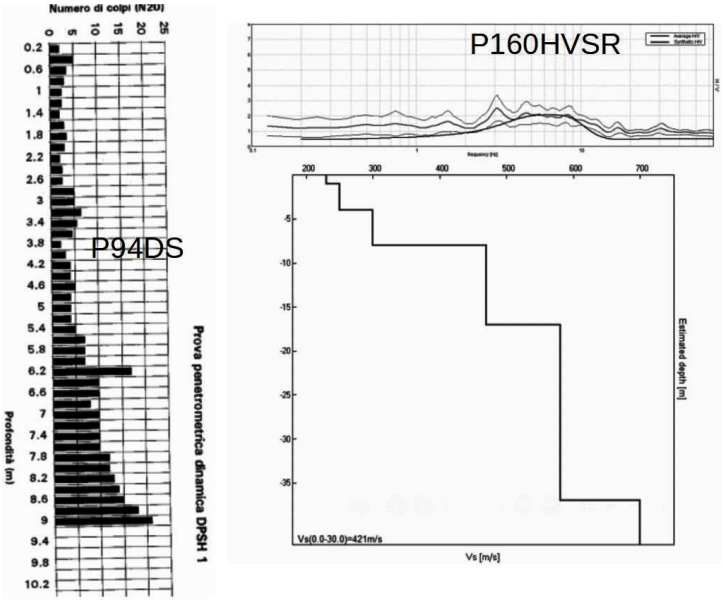


Figura 5.37– Penetrometria dinamica e registrazione HVSR eseguite presso Montorio, con relativo modello sismostratigrafico elaborato

5.11 Gabbiano

Il toponimo "Gabbiano" è situato su rilievi anch'essi caratterizzati da substrato roccioso con alternanze di livelli lapidei/arenacei e pelitici attribuiti alla Formazione di Monte Venere (MOV). La cartografia geologica RER rileva entro l'abitato depositi di versante e forme di dissesto (per scivolamento e/o scivolamento in blocco), nei sottostanti versanti e che lambiscono anche il perimetro urbanizzato (figura 5.38).

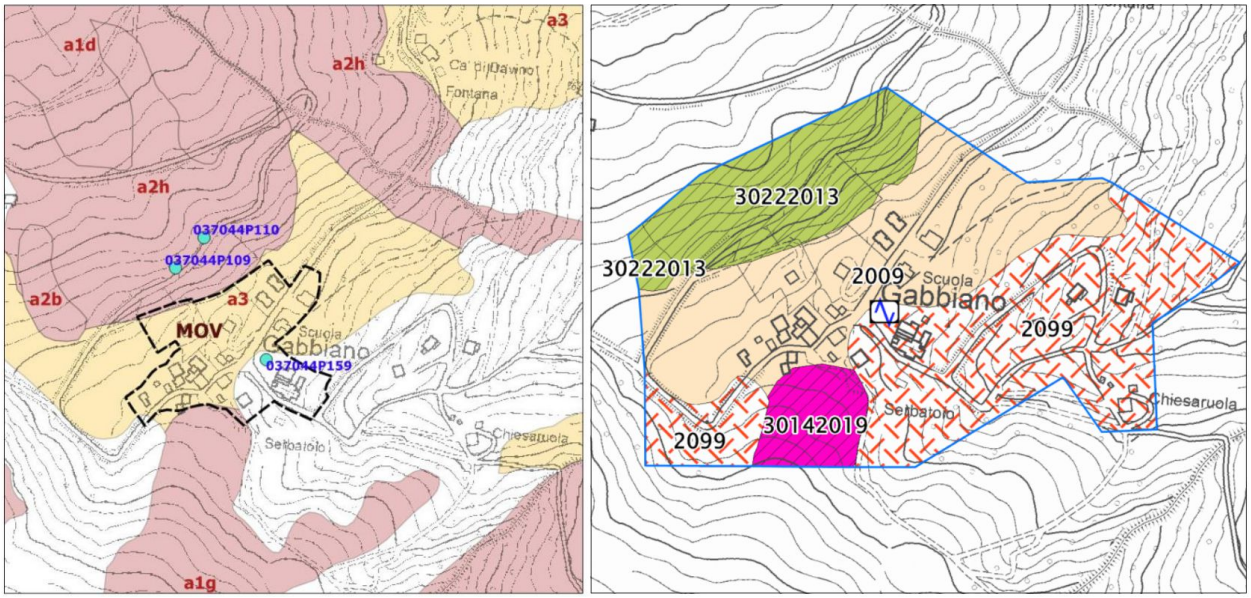


Figura 5.38 – A sx: substrato geologico, coperture quaternarie e discontinuità tettoniche rilevate. Si riportano le prove geognostiche/geofisiche di riferimento. A dx: delimitazione delle zone MOPS

Le indagini disponibili e in particolare le penetrometrie DPSH rilevano spessori superficiali "soffici" (bedrock affiorante molto alterato?) nel versante settentrionale (zona di coronamento di frane e inoltre caratterizzato da coperture di versante) fino a profondità di circa 5÷7 metri. Il settore di abitato più meridionale è invece caratterizzato da bedrock affiorante che risulta

relativamente "detensionato", con Vs30 approssimabile a 400 m/s (figura 5.39). La registrazione HVSR effettuata non rileva amplificazioni H/V significative.

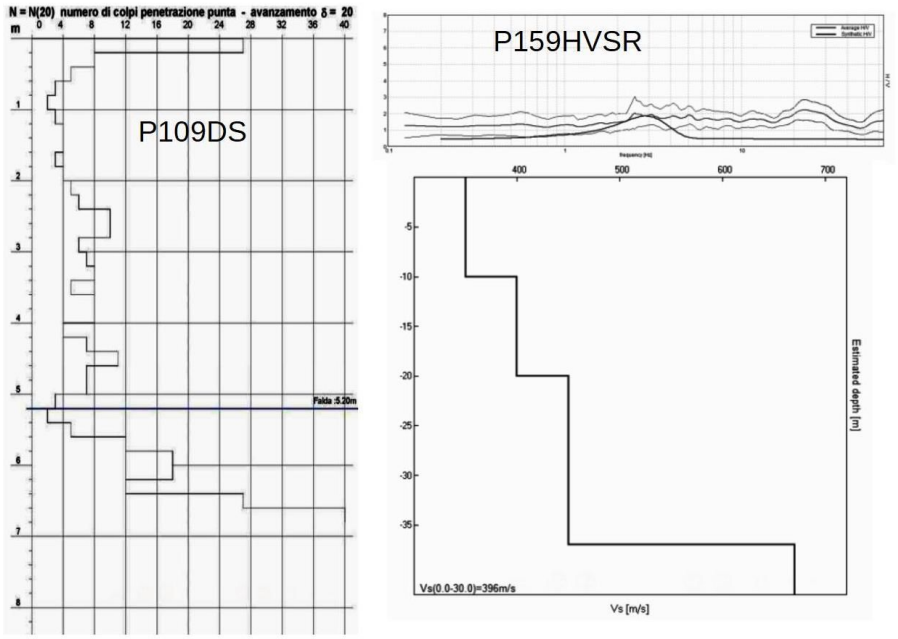


Figura 5.39– Penetrometria dinamica eseguita nel versante settentrionale rispetto al toponimo "Gabbiano"; registrazione HVSR eseguita nell'abitato (substrato affiorante)

5.12 Trasasso – Serra di Trasasso

La frazione Trasasso e il toponimo "Serra di Trasasso" si insediano in pendio, con rilievi caratterizzati da substrato roccioso con alternanze di livelli lapidei/arenacei e pelitici (Formazione di Monte Venere – MOV). La cartografia geologica RER rileva depositi di versante e forme di dissesto (per lo più di scivolamento e di limitata estensione), nei versanti a monte e a valle dell'abitato (figura 5.40).

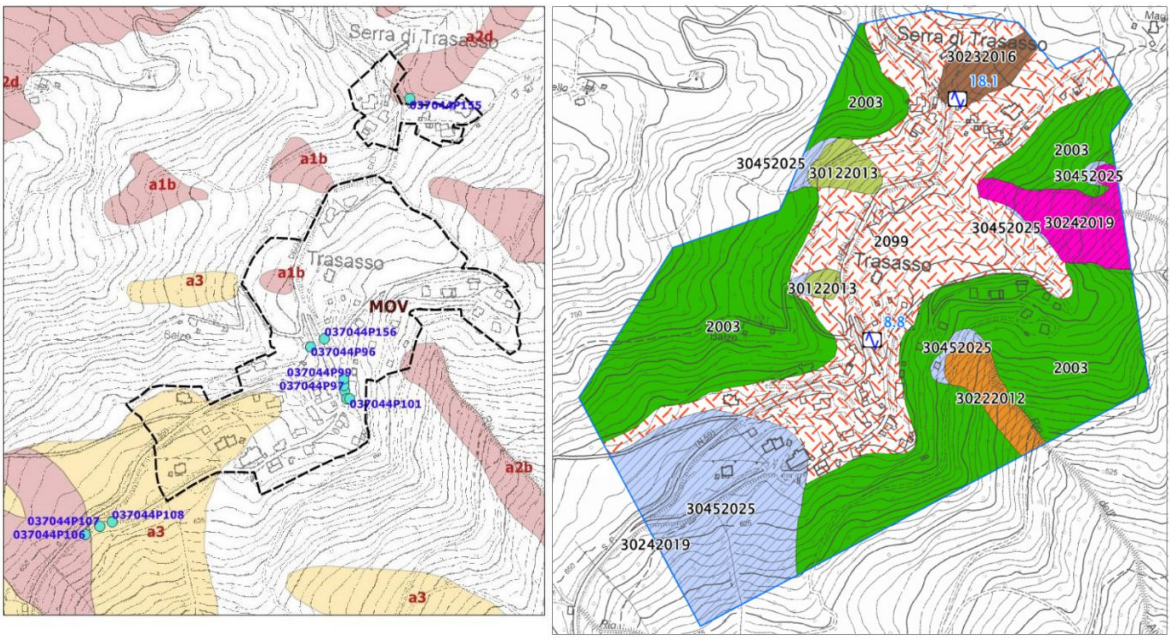


Figura 5.40 – A sx: substrato geologico, coperture quaternarie e discontinuità tettoniche rilevate. Si riportano le prove geognostiche/geofisiche di riferimento. A dx: delimitazione delle zone MOPS

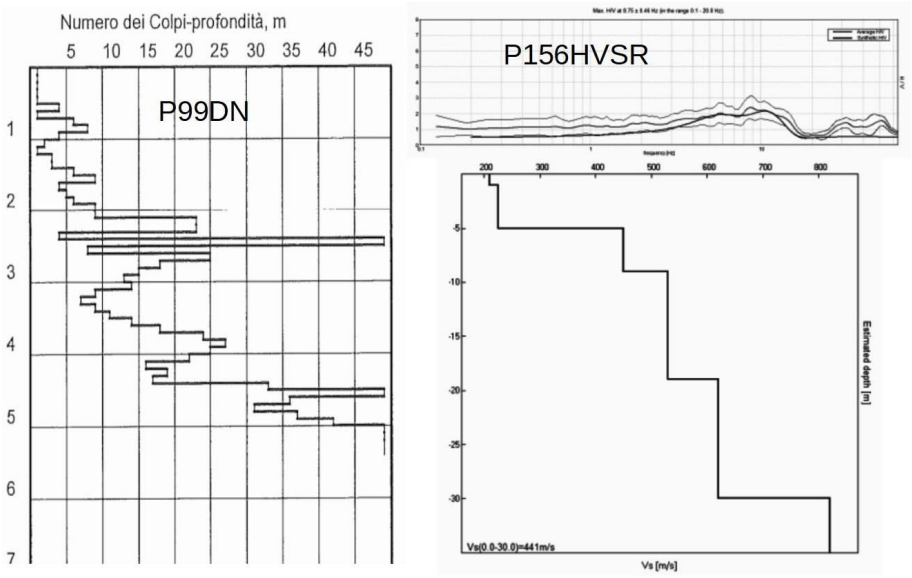


Figura 5.41 – Penetrometria dinamica e registrazione HVSR eseguite presso Trasasso, e relativo modello sismostratigrafico

Le prove disponibili (sondaggio a carotaggio; penetrometrie dinamiche; HVSR), localizzate nel settore di versante meno acclive, cioè dove si insediano le abitazioni, hanno riscontrato spessori superficiali "soffici" (bedrock affiorante molto alterato?) fino a circa 6 metri. Le registrazioni HVSR confermano tale contesto, con moderate amplificazioni spettrali H/V a frequenze alte (figura 5.41). Nei pendii più acclivi (caratterizzati da pendenze di oltre 30°), la morfologia suggerisce l'assenza di coperture significative in termini di risposta sismica locale, con bedrock "non rigido" (Vs30 approssimabile a 400 m/s).

5.13 Area di emergenza "Camping Le Querce"

L'aggiornamento della MS ha consentito di includere negli areali con microzonazione fino al "livello 2" un'ulteriore area di emergenza indicata nella CLE e corrispondente al camping "Le Querce" (figura 5.42). Nell'areale sono state eseguite indagini geognostiche/geofisiche e in particolare è stata realizzata una prova penetrometrica DPSH nel versante caratterizzato da coperture di versante, nonché ulteriori due registrazioni HVSR anche'esse eseguite sulle coperture quaternarie (frana quiescente complessa e depositi di versante).

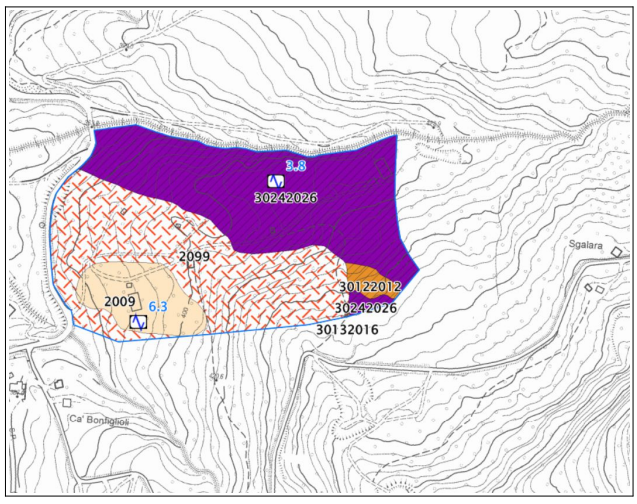


Figura 5.42 – delimitazione delle zone MOPS nell'areale di emergenza "Camping Le Querce"

I risultati delle indagini (figura 5.43) hanno confermato la presenza di coperture di versante e/o substrato affiorante "non rigido" (MOV) e molto alterato per spessori fino a circa 4÷7 metri, con massime amplificazioni H/V riscontrate a frequenze relativamente elevate (circa 6,3 Hz). Il settore NE del versante è invece caratterizzato da depositi di frana di maggior spessore (circa 13÷15 metri) e con amplificazioni H/V misurate a circa 3,4 Hz.

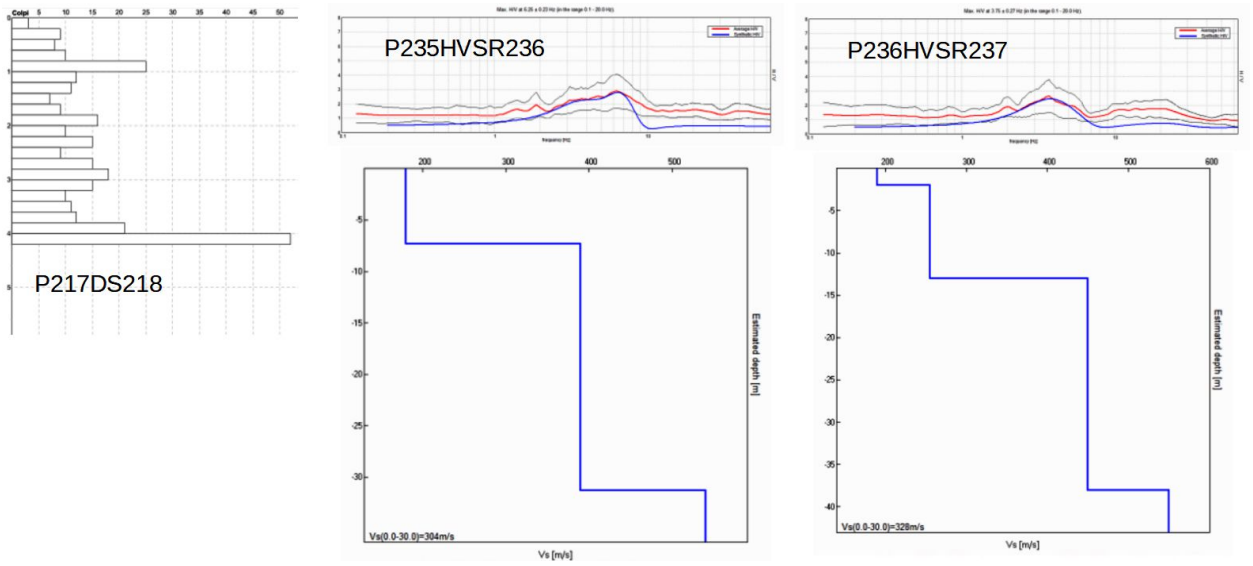


Figura 5.43 – Irisultati delle indagini eseguite nell'area di emergenza "Camping Le Querce"

5.14 Valle

La frazione Valle è insediata sul crinale prospicente la confluenza del rio Marganzano con il torrente Sambro. Il rilievo è anche in questo caso caratterizzato da substrato roccioso attribuito alla Formazione di Monte Venere (MOV), con alternanze di livelli lapidei/arenacei e pelitici. La cartografia geologica RER evidenzia come una parte di abitato e di versante nord risulti compreso nell'ampia frana attiva di colamento il cui piede giunge fino all'alveo del Sambro (figura 5.44).

La registrazione HVSR effettuata, benchè inficiata da errori indotti dal disallineamento dello strumento durante la prova, ha evidenziato moderati alti spettrali H/V a frequenze medio-alte, associabili a riflettori sismici poco profondi indotti da spessori superficiali di substrato roccioso detensionato e/o molto alterato fino a circa 7 metri di profondità (figura 5.45).

Per la cresta sulla quale si insedia l'abitato, le analisi topografiche hanno permesso di stimare amplificazioni morfologiche comprese tra 1,1 e 1,2.

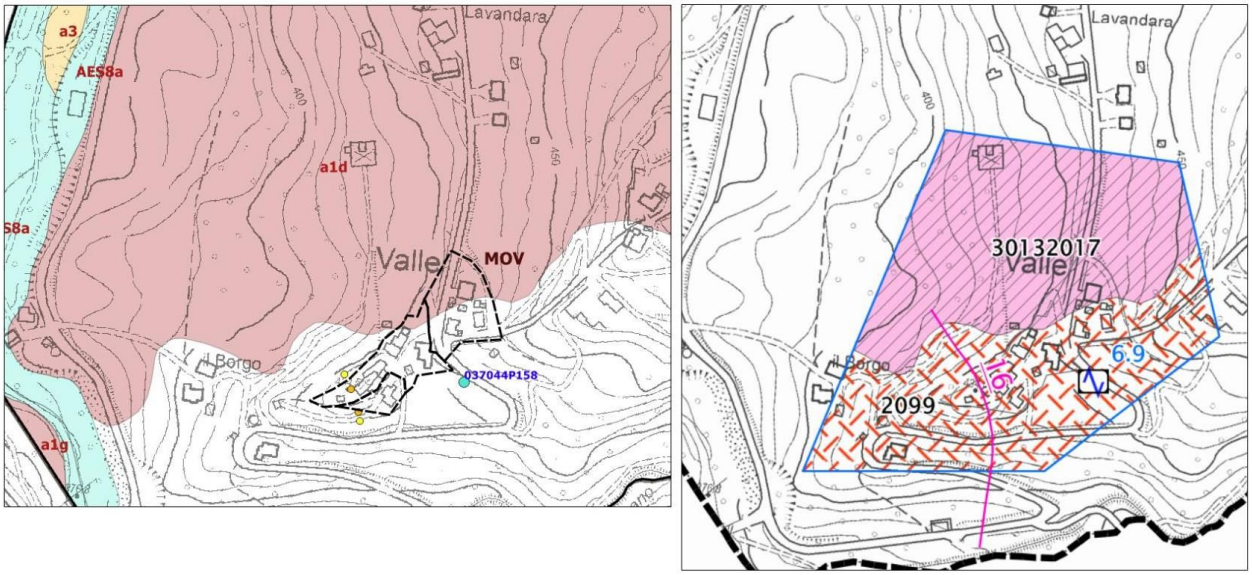


Figura 5.44 – A sx: substrato geologico, coperture quaternarie e discontinuità tettoniche rilevate. Si riportano le prove geognostiche/geofisiche di riferimento. A dx: delimitazione delle zone MOPS

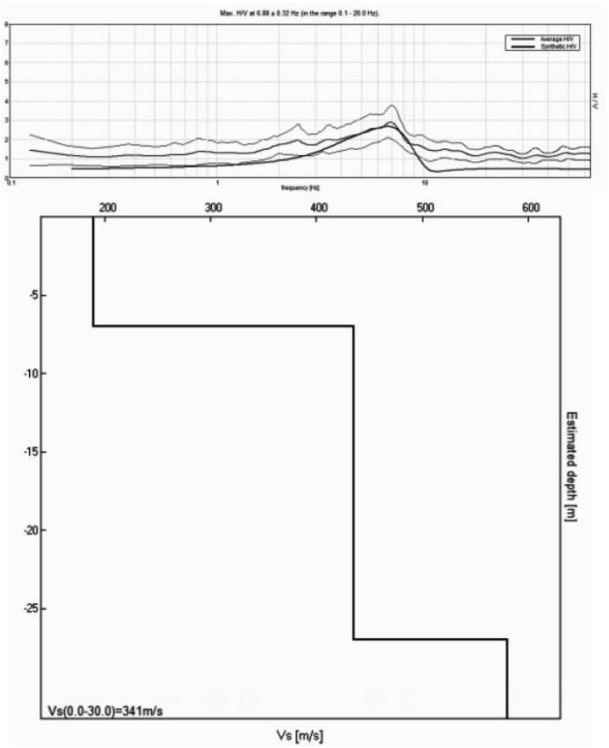


Figura 5.45– Registrazione P158HVSR eseguita presso Valle e relativo modello sismostratigrafico

5.15 Nasce

Il toponimo Nasce è situato in pendio acclive (25÷35°) con rilievi ancora caratterizzati da substrato roccioso con alternanze di livelli lapidei/arenacei e pelitici attribuiti alla Formazione di Monte Venere – MOV (figura 5.46).

La registrazione HVSR effettuata, ha riscontrato alti spettrali H/V a frequenze medio-alte,

associabili a riflettori sismici poco profondi indotti da spessori superficiali di substrato roccioso detensionato e/o molto alterato fino a circa 4÷5 metri di profondità (figura 5.47).

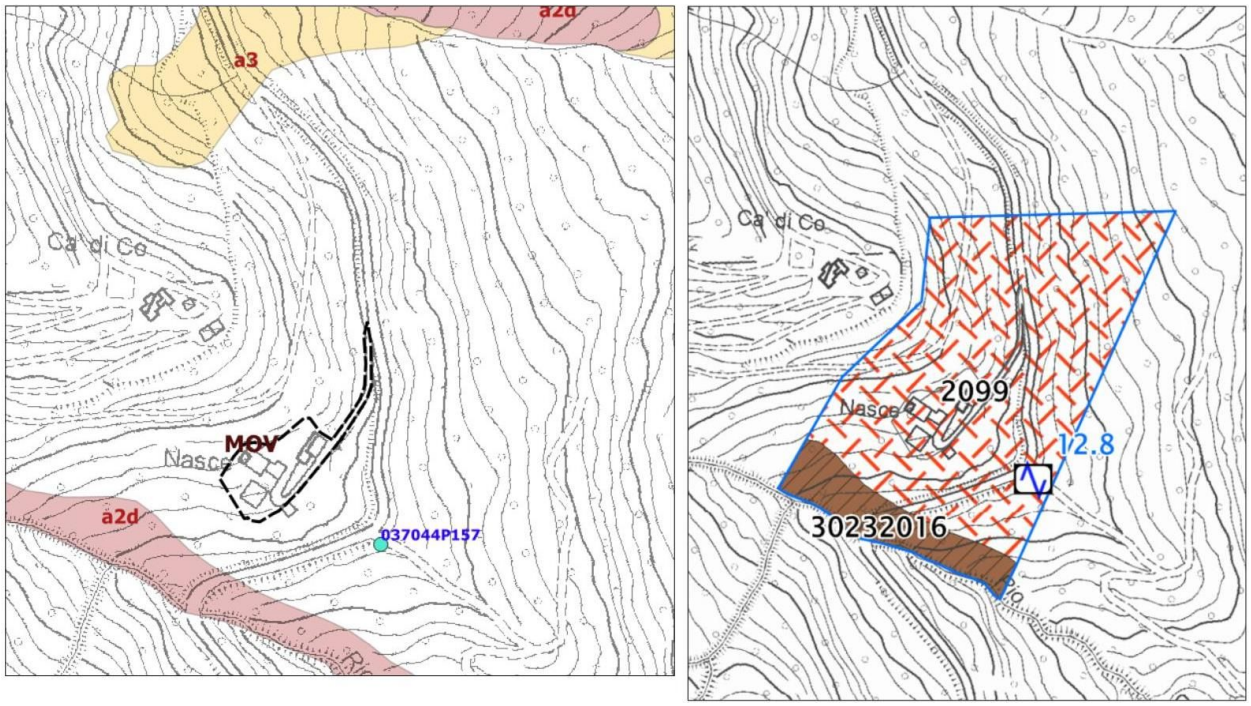


Figura 5.46 – A sx: substrato geologico, coperture quaternarie e discontinuità tettoniche rilevate. Si riportano le prove geognostiche/geofisiche di riferimento. A dx: delimitazione delle zone MOPS

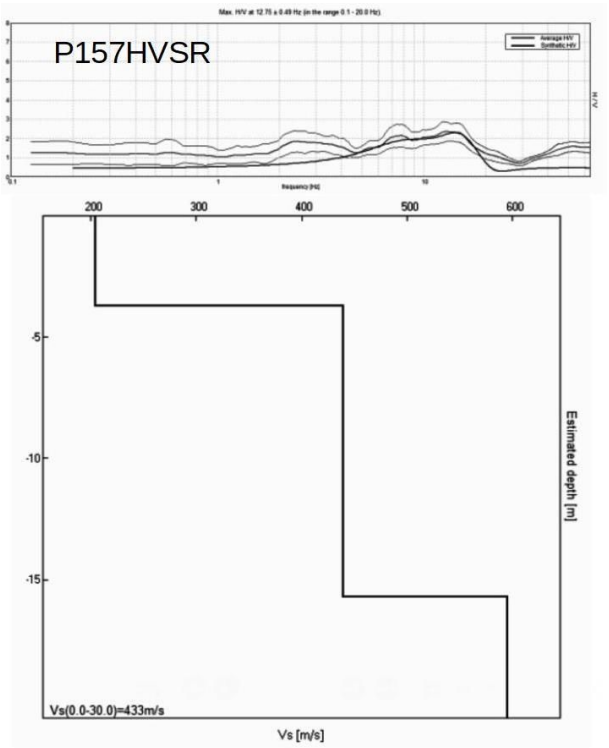


Figura 5.47– Registrazione HVSR eseguita presso Nasca e relativo modello sismostratigrafico

6 INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

Nel presente capitolo vengono esaminate le principali scelte effettuate a scopo interpretativo, riprendendo quanto già esposto per delineare la struttura dello studio di MS di livello 2 e proseguendo con l'esposizione del percorso logico seguito per gli ulteriori approfondimenti di livello 3, videnziandone le ragioni e gli elementi a sostegno, ma cercando anche di valutarne le inevitabili incertezze e le eventuali criticità.

6.1 Frequenze naturali dei terreni

A supporto dello studio di MS di livello 2 (OCDPC 344/2016) sono state complessivamente raccolte e/o realizzate 47 misure di rumore ambientale (microtremore a stazione singola). Per gli approfondimenti di "livello 3" sono state realizzate altre 17 registrazioni associate alle indagini geognostiche e alle altre indagini geosifiche eseguite. In generale tali misure hanno permesso di accertare la presenza o l'assenza di contrasti di impedenza nei terreni indagati, consentendo un'ulteriore la verifica delle determinazioni già fatte nello studio di "livello 2".

Negli ambiti montani, tali misurazioni, correlate con dati stratigrafici o misure di Vs, hanno permesso spesso di associare i picchi principali di H/V alla profondità del contatto tra i depositi terrazzati e di versante con il substrato, in genere sempre alterato nei primi metri.

Questo per la ragione principale che l'ampiezza di tali picchi, talvolta assai pronunciata, è direttamente legata alla differenza di velocità degli strati. La <<carta delle frequenze naturali dei terreni>>. prevista dalla DGR 476/2021, evidenzia quanto sopra descritto e riporta tutti i punti di misura di rumore ambientale realizzati a supporto del presente studio e di archivio.

6.2 Substrato sismico e coperture

Le indagini geofisiche disponibili ed eseguite per la MS di "livello 2" e per gli ulteriori approfondimenti di "livello 3" (OCDPC 532/2018) hanno evidenziato un substrato roccioso eterogeneo in termini di litotipi e frequentemente caratterizzato da spessori superficiali di alterazione. Negli areali studiati di Monzuno, il bedrock marino è inoltre sempre risultato "non rigido" e sono dunque sempre attesi effetti di amplificazione anche in presenza di limitati spessori di coperture, poiché tali successioni, sebbene costituiscano il substrato, sono tutte caratterizzate da velocità di propagazione delle onde di taglio S relativamente basse (in genere Vs compresa tra 350 e 500 m/s).

Il confronto fra i risultati della campagna di misure di microtremore HVSR e i dati derivati dalle indagini geognostiche e geofisiche eseguite entro gli ambiti di studio hanno spesso permesso di correlare le frequenze naturali dei terreni misurate con i dati stratigrafici a conferma di quanto sopra descritto. In particolare, i picchi spettrali H/V a frequenze medio-alte sono stati in genere ben correlati al contrasto di impedenza presente tra coperture più "soffici" e

substrato, più o meno alterato e tuttavia in grado di indurre contrasti di impedenza a volte anche marcati (H/V >3,0).

Per quanto riguarda i movimenti franosi e in particolar modo i loro depositi d'accumulo, occorre anche evidenziare le ineludibili difficoltà di quantificazione della risposta sismica anche con l'utilizzo dell'approccio semplificato (approfondimenti di "livello 2"), in particolar modo nei casi ove non risultino disponibili indagini geognostiche/geofisiche. In questo senso, le valutazioni sugli spessori si sono basati su un'analisi meramente cartografica, cioè basata sull'estensione dei corpi di frana e sulla disposizione delle curve di livello delle quote di terreno. Per quanto riguarda le caratteristiche di rigidezza dei corpi di franosi si è invece cautelativamente optato di considerare le Vs equivalenti più basse degli abachi RER (150 m/s; 200 m/s). La stima dei fattori di amplificazione ha inoltre portato a risultati a volte meno cautelativi rispetto all'amplificazione e scuotimento attribuiti alle MOPS circostanti, pertanto si sono confrontati tali risultati, attribuendo agli areali di frana i fattori di amplificazione più cautelativi. Di conseguenza, ad alcuni corpi di frana vengono attribuiti gli stessi fattori di amplificazione delle MOPS limitrofe.

6.3 Ulteriori considerazioni sugli approfondimenti di "livello 3"

Il territorio di Monzuno è caratterizzato da versanti con un'estesa presenza di movimenti franosi che hanno interessato prevalentemente il substrato marino più alterato e in altri casi anche le coperture di versante in s.s. Gli approfondimenti di "livello 3" hanno dunque consentito di elaborare modellazioni numeriche bidimensionali della RSL per appurare l'entità delle differenze laterali dell'amplificazione e di effettuare simulazioni di stabilità, in condizioni sismiche, in porzioni di versante che comprendono settori di territorio urbano. In particolare, gli studi si sono concentrati in alcune parti di pendio con depositi quiescenti di frana nel Capoluogo e presso la frazione Vado.

Si tratta di movimenti franosi di tipologia complessa e/o di scivolamento, anche di discreta estensione. Le indagini già disponibili e/o realizzate per gli studi di MS hanno dunque permesso di espletare verifiche relativamente alla stabilità degli spessori di accumulo e del sottostante bedrock più alterato (intercettato dalle prove geognostiche), considerando il "pendio in terra".

7 METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI (MS LIVELLO 1-2)

7.1 Cenni introduttivi

Il fine ultimo dello studio di microzonazione sismica di "livello 2" è quello di consentire una suddivisione del territorio indagato in:

- zone "stabili"
- zone "stabili suscettibili di amplificazione" → a loro volta suddivise in aree a diverso grado di amplificazione da quantificare con analisi semplificate (abachi)
- zone "di attenzione" → a loro volta suddivise per tipologia di instabilità, con stima della pericolosità da ricavare in termini quantitativi (ulteriori analisi di livello 3)

Come riportato nelle note introduttive degli standard di MS (v.4.2), i risultati degli studi sono fondamentalmente riconducibili alla carta delle MOPS (microzone omogenee in prospettiva sismica) e alla cartografia di MS (microzonazione sismica).

Occorre rammentare che la carta delle MOPS è riferita unicamente al "livello 1" di approfondimento e perciò le zone individuate hanno approfondimenti esclusivamente di tipo qualitativo. La cartografia di MS può avere sia zone con approfondimenti di "livello 2", sia zone con approfondimenti di "livello 3".

Per il Comune di Monzuno, lo studio sismico di livello 2 (MS OCDPC 344/2016) ha permesso di valutare i fattori di amplificazione sismica semplificata delle MOPS individuate per gli areali di studio. La stima dell'amplificazione si è basata sul modello di sottosuolo locale valutato per le aree studiate (cfr capitolo 5). Occorre tuttavia precisare che questo successivo studio di MS, espletato ai sensi dell'OCDPC 532/2018, ha consentito un ulteriore aggiornamento dei fattori di amplificazione che sono stati quantificati considerando gli abachi predisposti dalla Regione Emilia-Romagna e riportati nella DGR 476/2021 (Allegato A2), sempre riferiti a grandi situazioni morfologico-stratigrafiche e che tengono conto delle caratteristiche litologiche e morfologiche e della profondità del bedrock sismico.

I paragrafi del presente capitolo illustrano i risultati dello studio e le metodologie di elaborazione utilizzate per determinare i diversi fattori di amplificazione sul territorio e per identificare le zone di attenzione per instabilità.

7.2 I fattori di amplificazione considerati per lo studio di MS e il livello di approfondimento delle MOPS

Per suddividere il territorio in base all'amplificazione attesa, in aree a maggiore e minore pericolosità, sono stati calcolati i fattori di amplificazione di ogni zona studiata. I fattori di amplificazione indicati nella DGR regionale n. 630/2019 sono calcolati per un tempo di ritorno dell'evento sismico pari a Tr =475 (con smorzamento ζ =5%) e si riferiscono a:

- FA PGA → rapporto tra la massima ampiezza dell'accelerazione ricavata alla superficie del deposito e ricavata sull'affioramento "rigido" (PGA/PGA_0). Il fattore di amplificazione dipende dalla frequenza di eccitazione armonica, dal fattore di smorzamento D e dal rapporto tra l'impedenza sismica, prodotto tra densità-velocità, della roccia base e quella del deposito;
- FA SA – Rapporto dell'intensità spettrale in accelerazione ricavata alla superficie del deposito e ricavata sull'affioramento "rigido". I fattori di amplificazione calcolati si riferiscono ai quattro seguenti intervalli di integrazione del periodo proprio T:

  SA1 → 0,1s-0,5s [FA_{01-05s}]

  SA2 → 0,4s-0,8s [FA_{04-08s}]

  SA3 → 0,7s-1,1s [FA_{04-11s}]

  SA4 → 0,5s-1,5s [FA_{05-15s}] solo per le aree di pianura/costa

FA SI – Intensità spettrale di Housner → indicatore della pericolosità sismica, definito come l'area sottesa dello spettro di risposta di pseudovelocità per determinati periodi dello scuotimento. Nel nostro caso, si devono determinare i fattori di amplificazione per i tre seguenti intervalli di integrazione del periodo proprio T:

SI1 → 0,1s-0,5s [FH_{01-05s}]

SI2 → 0,5s-1,0s [FH_{05-10s}]

SI3 → 0,5s-1,5s [FH_{05-15s}] solo per le aree di pianura/costa

7.3 Calcolo dei fattori di amplificazione con approccio semplificato

7.3.1 Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

Il calcolo dei fattori di amplificazione ha interessato le aree urbanizzate/urbanizzabili, i principali nuclei abitati sparsi e un'opportuna fascia di territorio adiacente.

Per suddividere il territorio in base all'amplificazione attesa, in aree a maggiore e minore pericolosità, nello studio di microzonazione sismica di livello 2, i fattori di amplificazione vengono calcolati con approccio semplificati mediante l'utilizzo di abachi. In tal senso, si sono utilizzati gli abachi di riferimento per gli studi di MS in Emilia-Romagna (DGR 476/2021), sulla base delle differenti caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo ritenute importanti dal punto di vista della riposta sismica locale (cfr. capitolo 5).

Le seguenti tabelle riportano la sintesi riepilogativa dei fattori di amplificazione (FA) riferibili alle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS). Per maggior chiarezza, vengono indicati i FA delle zone MOPS che interessano gli areali di studio. Si riportano i parametri (spessori; VsH; VS30) necessari per il calcolo dei FA.

Si precisa che tutte le MOPS sono attribuite al macrocontesto "Appennino*" (Allegato A2 DGR 476/2021) e si è considerato un substrato sismico "non rigido", come spiegato nei precedenti capitoli.

Tabella 7.1 Brento – La Vallazza

ZONA (MOPS)	LOCALITA'	VS/SPESSORI	FA PGA	SA1	SA2	SA3	SI1	SI2	NOTE
2001	La Vallazza – Brento (crinale)	VS30=450	1,6	1,6	1,5	1,3	1,6	1,4	In zone di cresta sono stati ulteriormente calcolati FA topografici (da 1,1 a 1,4)
2008	Brento (chiesa)	VSH5=200	2,0	1,8	1,4	1,3	1,7	1,4	

Tabella 7.2 Vado – Valla

ZONA (MOPS)	LOCALITA'	VS/SPESSORI	FA PGA	SA1	SA2	SA3	SI1	SI2	NOTE
2099	Versante dx Monzanello	VS30=500	1,4	1,4	1,4	1,3	1,4	1,4	
2002	Versante est Vado	VS30=500	1,4	1,4	1,4	1,3	1,4	1,4	
2004	Fondovalle Setta	VSH5=250	1,6	1,5	1,4	1,3	1,5	1,4	
2006	Vado – Creta di Sotto	VSH5=200	2,0	1,8	1,4	1,3	1,7	1,4	

Tabella 7.3 Cà del Cucco

ZONA (MOPS)	LOCALITA'	VS/SPESSORI	FA PGA	SA1	SA2	SA3	SI1	SI2	NOTE
2002	Cà del Cucco	VS30=500	1,4	1,4	1,4	1,3	1,4	1,4	In zone di cresta sono stati ulteriormente calcolati FA topografici (da 1,1 a 1,3)

Tabella 7.4 Tre Fasci

ZONA (MOPS)	LOCALITA'	VS/SPESSORI	FA PGA	SA1	SA2	SA3	SI1	SI2	NOTE
2002	Territorio vasto Tre Fasci	VS30=500	1,4	1,4	1,4	1,3	1,4	1,4	In zone di cresta sono stati ulteriormente calcolati FA topografici (da 1,1 a 1,4)

Tabella 7.5 Monzuno – Madonnina delle campagne

ZONA (MOPS)	LOCALITA'	VS/SPESSORI	FA PGA	SA1	SA2	SA3	SI1	SI2	NOTE
2003	Madonnina delle campagne	VS30=400	1,8	1,7	1,6	1,4	1,7	1,5	
2099	Versante nord Monzuno	VSH10=300	1,8	1,7	1,4	1,3	1,6	1,4	In zone di versante e cucuzzolo sono stati ulteriormente calcolati FA topografici (da 1,1 a 1,3)
	Territorio vasto Monzuno	VSH10=250	2,0	1,9	1,5	1,4	1,9	1,4	
	Aree sparse Monzuno	VSH10=200	2,2	2,5	2,3	1,7	2,6	1,9	

Tabella 7.6 Cozzo di Sotto e area di emergenza “Camping Rive di Setta”

ZONA (MOPS)	LOCALITA'	VS/SPESSORI	FA PGA	SA1	SA2	SA3	SI1	SI2	NOTE
2010	Conoide	VSH10=250	2,0	1,9	1,5	1,4	1,9	1,4	
2099	Cozzo di Sotto	VS30=350	1,9	1,9	1,7	1,4	1,9	1,5	

Tabella 7.7 Le Braine

ZONA (MOPS)	LOCALITA'	VS/SPESSORI	FA PGA	SA1	SA2	SA3	SI1	SI2	NOTE
2004	Fondovalle Setta/Sambro	VSH5=250	1,6	1,5	1,4	1,3	1,5	1,4	

Tabella 7.8 Rioveggio – Canova – Polverara – Molino Cattani

ZONA (MOPS)	LOCALITA'	VS/SPESSORI	FA PGA	SA1	SA2	SA3	SI1	SI2	NOTE
2002	Versante est Rioveggio/Molino Cattani	VS30=500	1,4	1,4	1,4	1,3	1,4	1,4	
2004	Fondovalle Setta/ Sambro	VSH5=250	1,6	1,5	1,4	1,3	1,5	1,4	
2005	Rioveggio – Molino Cattani	VSH5=250	1,6	1,5	1,4	1,3	1,5	1,4	
2007	Canova	VSH15=250	2,1	2,2	1,9	1,5	2,3	1,6	
2008	Versante sud Canova	VSH5=200	2,0	1,8	1,4	1,3	1,7	1,4	
2099	Polverara	VSH15=250	2,1	2,2	1,9	1,5	2,3	1,6	In zona di cucuzzolo sono stati ulteriormente calcolati FA topografici (da 1,1 a 1,2)

Tabella 7.9 San Rocco

ZONA (MOPS)	LOCALITA'	VS/SPESSORI	FA PGA	SA1	SA2	SA3	SI1	SI2	NOTE
2099	Territorio vasto San Rocco	VSH5=250	1,6	1,5	1,4	1,3	1,5	1,4	

Tabella 7.10 Montorio

ZONA (MOPS)	LOCALITA'	VS/SPESSORI	FA PGA	SA1	SA2	SA3	SI1	SI2	NOTE
2099	Territorio vasto Montorio	VSH10=250	2,0	1,9	1,5	1,4	1,9	1,4	

Tabella 7.11 Gabbiano

ZONA (MOPS)	LOCALITA'	VS/SPESSORI	FA PGA	SA1	SA2	SA3	SI1	SI2	NOTE
2009	Gabbiano	VSH5=200	2,0	1,8	1,4	1,3	1,7	1,4	
2099	Versante sud Gabbiano	VS30=400	1,8	1,7	1,6	1,4	1,7	1,5	

Tabella 7.12 Trasasso – Serra di Trasasso

ZONA (MOPS)	LOCALITA'	VS/SPESSORI	FA PGA	SA1	SA2	SA3	SI1	SI2	NOTE
2003	Versante ovest/est	VS30=400	1,8	1,7	1,6	1,4	1,7	1,5	
2099	Trasasso – Serra di Trasasso	VSH5=200	2,0	1,8	1,4	1,3	1,7	1,4	

Tabella 7.13 Area di emergenza “Camping Le Querce”

ZONA (MOPS)	LOCALITA'	VS/SPESSORI	FA PGA	SA1	SA2	SA3	SI1	SI2	NOTE
2009	Camping Le Querce	VSH5=200	2,0	1,8	1,4	1,3	1,7	1,4	
2099	Camping Le Querce	VSH5=200	2,0	1,8	1,4	1,3	1,7	1,4	

Tabella 7.14 Valle

ZONA (MOPS)	LOCALITA'	VS/SPESSORI	FA PGA	SA1	SA2	SA3	SI1	SI2	NOTE
2099	Valle	VSH5=200	2,0	1,8	1,4	1,3	1,7	1,4	In zone di versante sono stati ulteriormente calcolati FA topografici (da 1,1 a 1,2

Tabella 7.15 Nasce

ZONA (MOPS)	LOCALITA'	VS/SPESSORI	FA PGA	SA1	SA2	SA3	SI1	SI2	NOTE
2099	Nasce	VSH5=200	2,0	1,8	1,4	1,3	1,7	1,4	

7.3.2 Zone di attenzione per instabilità

Il calcolo dei fattori di amplificazione ha interessato anche le aree perimetrate come "zone di attenzione per instabilità di versante", come richiesto negli Standard MS v. 4.1 (CTMS, 2015) della protezione Civile. Tuttavia, sono aree ove vengono richiesti ulteriori approfondimenti (livello 3).

Le aree instabili perimetrate sono desunte dalla cartografia geologica RER (superfici di frana già classificate), dall'Inventario del dissesto RER e dalla cartografia di PSAI – Bacino del Reno. Per quanto riguarda la cartografia di PSAI, lo studio di MS ha dunque considerato sia le aree di dissesto (in gran parte coincidenti con l'inventario del dissesto del SGSS regionale), sia le zone di possibile evoluzione già perimetrate e oggetto di specifica normativa urbanistica.

Per il calcolo dei fattori di amplificazione semplificati (che andranno tuttavia confermati con studi di approfondimento di livello 3), si è dunque considerato il contesto litostratigrafico e sismico locale e stimato lo spessore di sedimento rimaneggiato compatibile con la presunta profondità del piano di taglio/scivolamento della frana. Più in generale e soprattutto nel caso di frane di modesta estensione oppure nelle zone di possibile evoluzione del dissesto, si è spesso considerato come intervallo maggiormente amplificabile la profondità delle eventuali coperture e/o il bedrock alterato del circostante versante stabile, visto che il piano di taglio dovrebbe verosimilmente interessare solamente tale spessore. Le frane sono state classificate considerando sia la tipologia di movimento (crollo; colata; scorrimento; ecc.), sia le principali condizioni morfologiche distinguendo, ove possibile, le zone di distacco da quelle di prevalente accumulo. Non si è invece considerato lo stato di attività, di non facile definizione soprattutto in chiave d'analisi sismica: gli eventuali ulteriori approfondimenti riguardanti le condizioni di attivazione/riattivazione del dissesto dovranno infatti basarsi sugli esiti di pericolosità sismica di base e di amplificazione locale derivata dallo studio di microzonazione sismica.

Come già descritto nel pararagrafo 6.2, occorre rammentare che la stima dei fattori di amplificazione attribuiti ai corpi di frana ha condotto a risultati a volte meno cautelativi rispetto all'amplificazione e scuotimento attribuiti alle MOPS circostanti. Si sono dunque confrontati tali risultati, attribuendo agli areali di frana i fattori di amplificazione più cautelativi. Di conseguenza, ad alcuni corpi di frana vengono attribuiti gli stessi fattori di amplificazione delle MOPS limitrofe.

7.4 Effetti della topografia: calcolo dei fattori di amplificazione con approccio semplificato

Per gli areali urbanizzati/urbanizzabili, lo studio ha considerato anche gli effetti morfologici dei pendii più acclivi (<15°) e in particolare le configurazioni geometriche bidimensionali e tridimensionali (es. cucuzzoli, creste, dorsali allungate) di altezza superiore a 30 metri.

Il calcolo dei fattori di amplificazione topotrafica è stato espletato secondo quanto indicato nelle DGR n. 2188/2016 e DGR n. 630/2019 e come schematizzato nella figura 7.1.

In base alla geometria descritta in figura 7.1, il valore del fattore di amplificazione topografica ST è dato dalla seguente relazione:

ST =1+0,8·(α−β−0,4) sul segmento BC

dove:

b =valore minimo tra 20α e (H+10)/4

α è il gradiente del fronte più ripido e β del fronte meno ripido.

ST =1 in A (a =H/3)

St =1 in D (c =H/4)

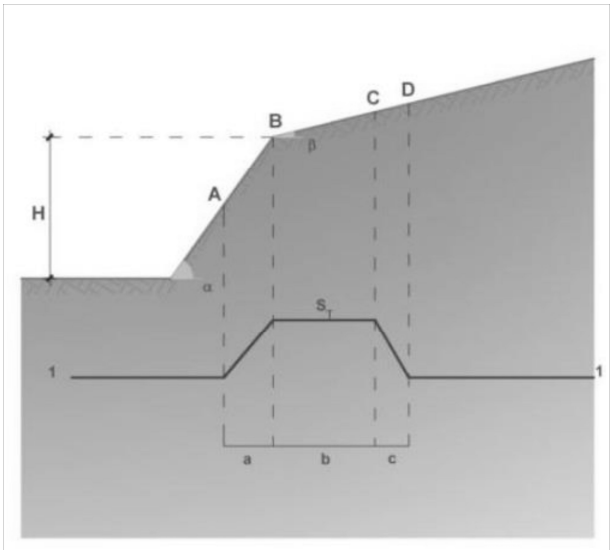


Figura 7.1 – Schema geometrico per il calcolo degli effetti della topografia (cfr. DGR 476/2021)

L'analisi ha dunque richiesto l'elaborazione di sezioni topografiche, rappresentate nella figura 7.2, con sintetizzati gli esiti di calcolo di ST e delle relative aree di influenza. Le tracce sono state elaborate mediante software GIS e base topografica CTR regionale (scala 1:5.000). Nell'Allegato 3 vengono riportate con maggior dettaglio plano-altimetrico le sezioni elaborate e vengono riportati i parametri di calcolo del punto caratterizzato da massima amplificazione toopografica.

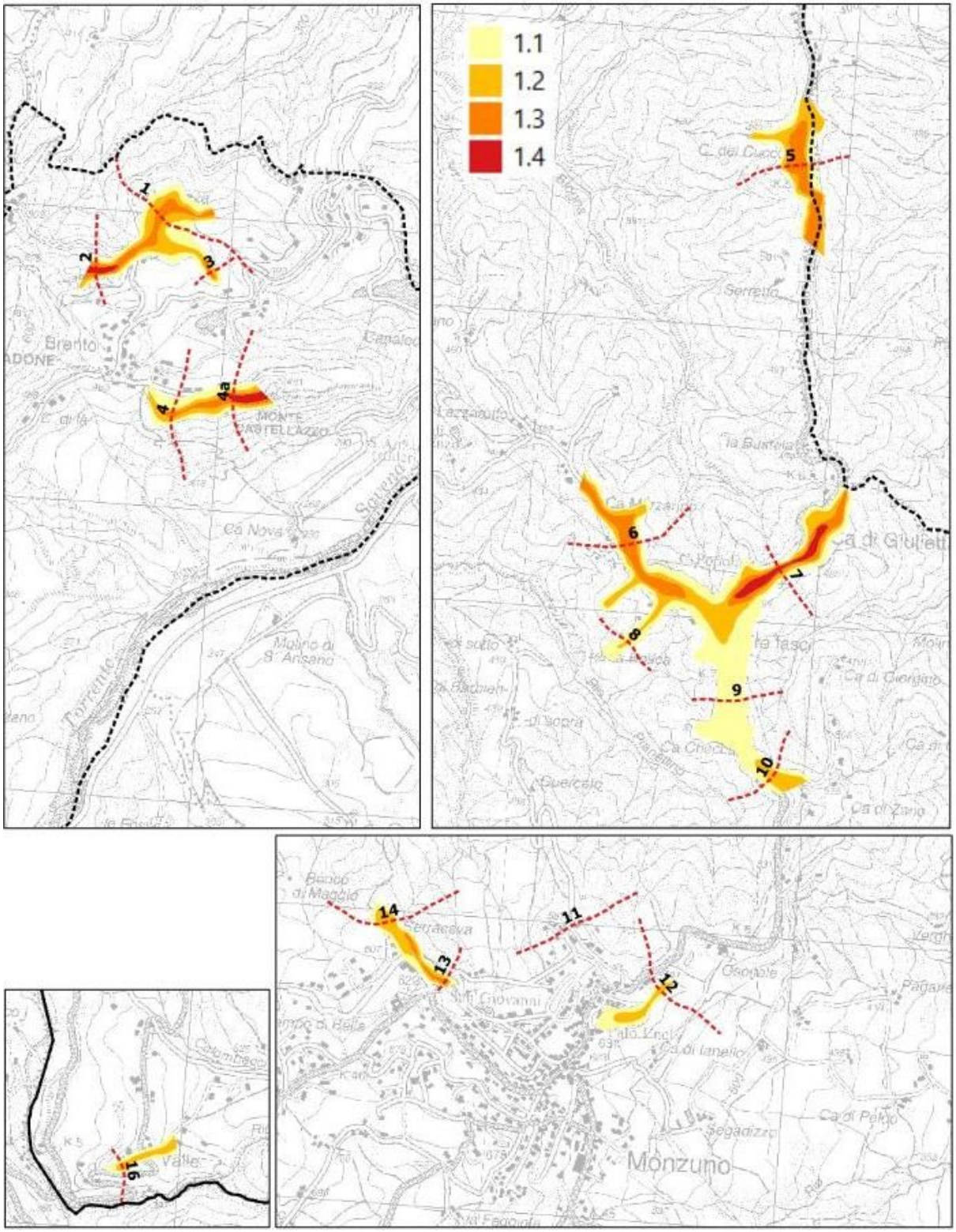


Figura 7.2 – Localizzazione delle sezioni topografiche di riferimento e delimitazione delle zone di amplificazione ST calcolate

7.5 Calcolo dei valori di "Hazard" (H_{SM})

Lo studio di MS ha consentito di calcolare i valori di H_{SM} (Naso et al., 2019), parametro che esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2), dato dal prodotto del parametro *Acceleration Spectrum Intensity* (ASI_{UHS}), 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:

$$H_{SM} = (ASI_{UHS}/\Delta T) * FA$$

I valori di $ASI_{UHS}/\Delta T$ sono stati calcolati per ogni punto della griglia INGV (già disponibili nella pagina web dedicata agli indirizzi per gli studi di microzonazione sismica a cura del SGSS).

Le elaborazioni evidenziano valori tendenzialmente più alti negli areali caratterizzati da coperture sovrastanti il substrato roccioso, cioè con un contributo importante all'esito di HSM indotto da fattori di amplificazione più elevati.

8 METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI (MS LIVELLO 3)

8.1 Cenni introduttivi sugli approfondimenti svolti

Gli approfondimenti di "livello 3" svolti ai sensi dell'OCDPC 532/2018 hanno interessato alcuni settori di versante caratterizzati da potenziale instabilità di versante in caso di sisma. Si tratta, infatti di areali classificati come "frane quiescenti complesse" e che coinvolgono terreni situali nel territorio urbanizzato del Capoluogo e della frazione Vado. Come già descritto, in queste zone si sono concentrate le ulteriori indagini geognostiche/geofisiche e di laboratorio eseguite per questo studio e che hanno permesso un ulteriore raffinamento dello stato conoscitivo sismostratigrafico e geotecnico dei terreni di interesse. La figura 8.1 offre un'individuazione delle aree interessate dagli approfondimenti. Come vedremo, ai fini della necessaria caratterizzazione delle aree di interesse sono state elaborate sei nuove sezioni sismostratigrafiche e geotecniche, anch'esse riportate nella figura 8.1.

Gli approfondimenti svolti hanno permesso di elaborare modelli numerici bidimensionali della RSL e di espletare verifiche di stabilità in condizioni sismiche dei versanti di interesse, con stima degli spostamenti cosismici (anch'essi quantificati sulla base dei risultati della risposta sismica locale.

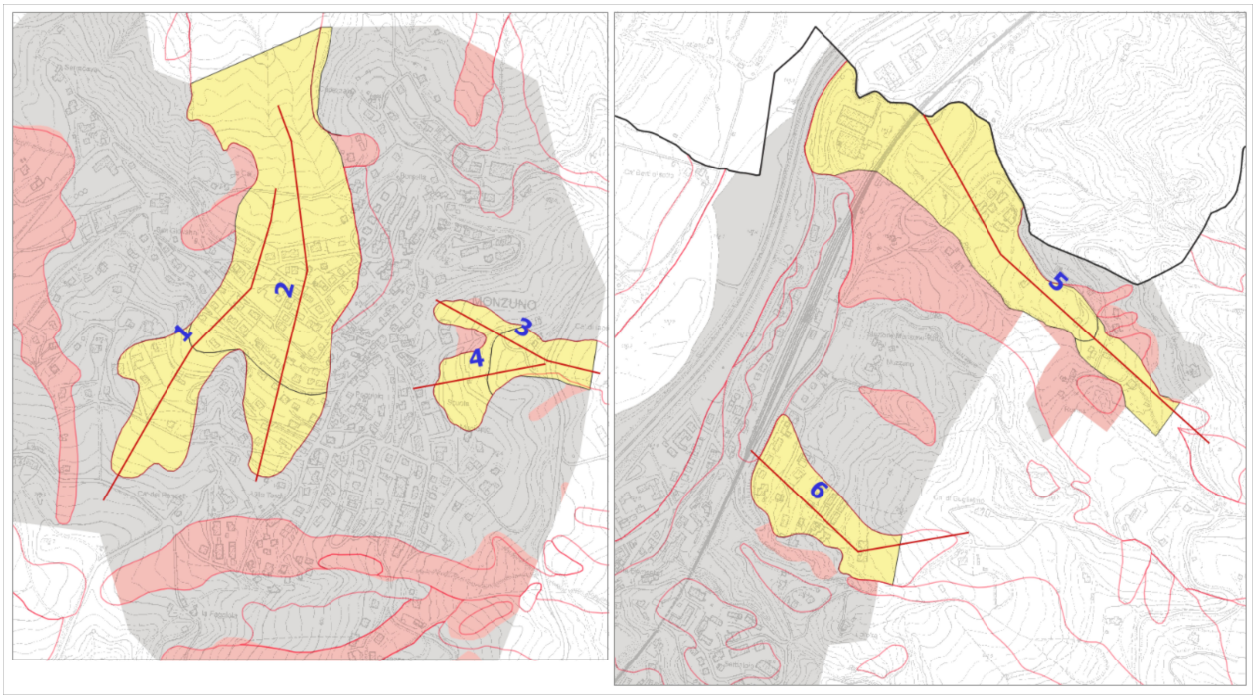


Figura 8.1 – Zone di attenzione per instabilità di versante interessate dagli approfondimenti sismici di "livello 3" (in evidenziato giallo). A sx: Monzuno. A dx: Vado. Si riportano anche le tracce delle sezioni sismostratigrafiche e geotecniche elaborate a supporto degli approfondimenti

8.2 Calcolo dei fattori di amplificazione con modelli numerici bidimensionali della RSL

8.2.1 Cenni metodologici

Sulla base della caratterizzazione sismistratigrafica già descritta nel capitolo 5, è proceduto all'elaborazione di sei analisi numeriche della risposta sismica locale di tipo bidimensionale per quantificare le amplificazioni lungo le corrispondenti sezioni sismostratigrafiche, considerando anche la variabilità delle condizioni di contorno (morfologia di superficie; stratigrafia e morfologia sepolta). Le elaborazioni numeriche sono state eseguite con l'utilizzo del codice di calcolo LSR2D, software che consente di effettuare un'analisi di risposta sismica locale di tipo bidimensionale, lineare equivalente, con il metodo agli elementi finiti.

Si rammenta che il modello lineare equivalente studia il comportamento tra tensione e deformazione del terreno basandosi sul modello di Kelvin-Voigt e la strategia implementata nel processamento di calcolo consiste sostanzialmente nel fare riferimento alle soluzioni visco-elastiche lineari per la propagazione delle onde sismiche adeguando in modo iterativo i parametri costitutivi in funzione del livello deformativo indotto dal moto sismico nel terreno. La risposta non lineare del terreno tramite il modello visco-elastico lineare equivalente viene riassunta attraverso le curve di riduzione del modulo di taglio e di incremento del rapporto di smorzamento. Ciò rappresenta un adeguato compromesso tra semplificazione delle analisi ed accuratezza dei risultati.

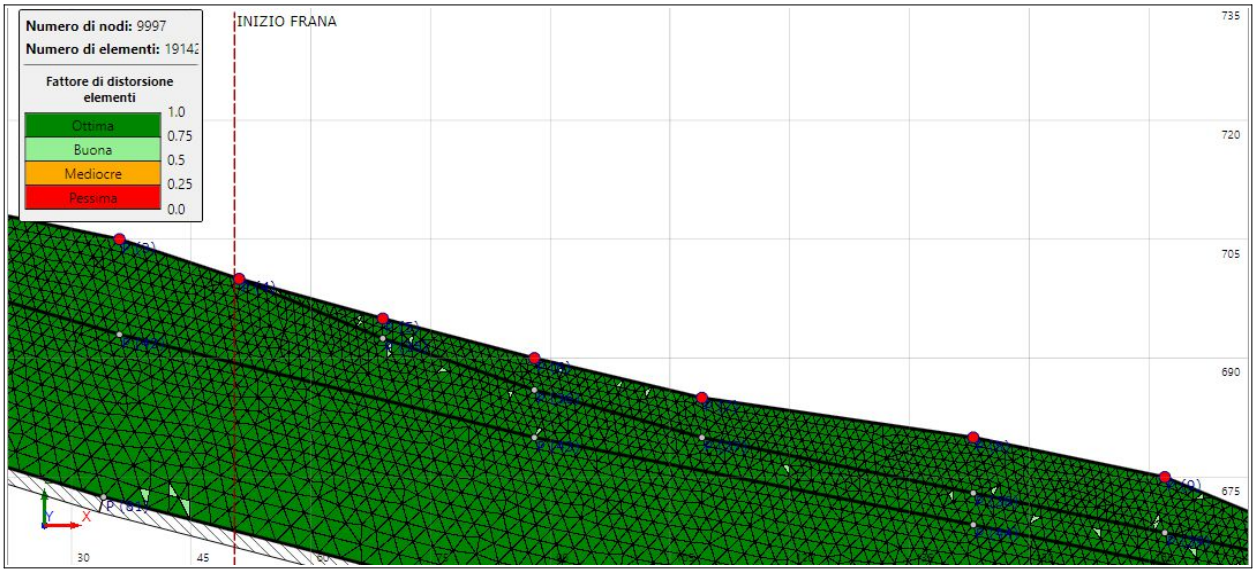


Figura 8.2 – Mesh generate attraverso il codice di calcolo LSR2D (riproduzione parziale del modello elaborato per il Capoluogo ("sezione 1")

L'approccio utilizzato dal software LSR2D, per la soluzione visco-elastica lineare all'interno della modalità di calcololo iterativa, utilizza il metodo degli elementi finiti (FEM). In particolare, gli strati definiti nel modelli sismostratigrafici sono stati discretizzati dal software (in modalità semiautomatica) in "mesh" di elementi finiti piani di forma triangolare, consentendo un'efficace modellazione delle variazioni geometriche così come delle irregolarità della superficie topografica e dei contatti stratigrafici (figura 8.2).

Il software LSR2D consente di gestire le condizioni al contorno imposte sui modelli e in particolare si sono imposte condizioni di free field ai lati delle sezioni mediante vincoli cinematici che impediscono gli spostamenti verticali dei nodi di bordo e smorzatori viscosi alla base del modello, in modo da tenere conto della presenza del substrato sottostante.

Il software LSR2D è in grado di eseguire una sequenza di analisi lineari complete, con l'aggiornamento successivo dei parametri di rigidezza e smorzamento in funzione delle caratteristiche della colonna litologica. Il risultato della procedura iterativa di calcolo della RSL è altro che la storia temporale di accelerazione, velocità e spostamento di ogni grado di libertà del modello FEM. Il processo di analisi che si è seguito può essere così schematizzato:

- scelta degli input sismici (accelerogrammi) di riferimento;
- definizione del modello sismostratigrafico locale;
- elaborazione degli accelerogrammi di output, degli spettri di risposta elastici e dei fattori di amplificazione indicati dalla DGR 476/2021.

8.2.2 Dati di input

Dalla piattaforma WebGIS all'indirizzo http://egeos-test.eucentre.it/rer/home.html è possibile scaricare gli input sismici (accelerogrammi) su sito rigido selezionati per ciascun nodo del reticolo di riferimento considerato dalle NTC vigenti, interno al territorio della Regione Emilia-Romagna. La figura 8.3 individua i nodi del reticolo di riferimento per gli approfondimenti svolti a Monzuno.

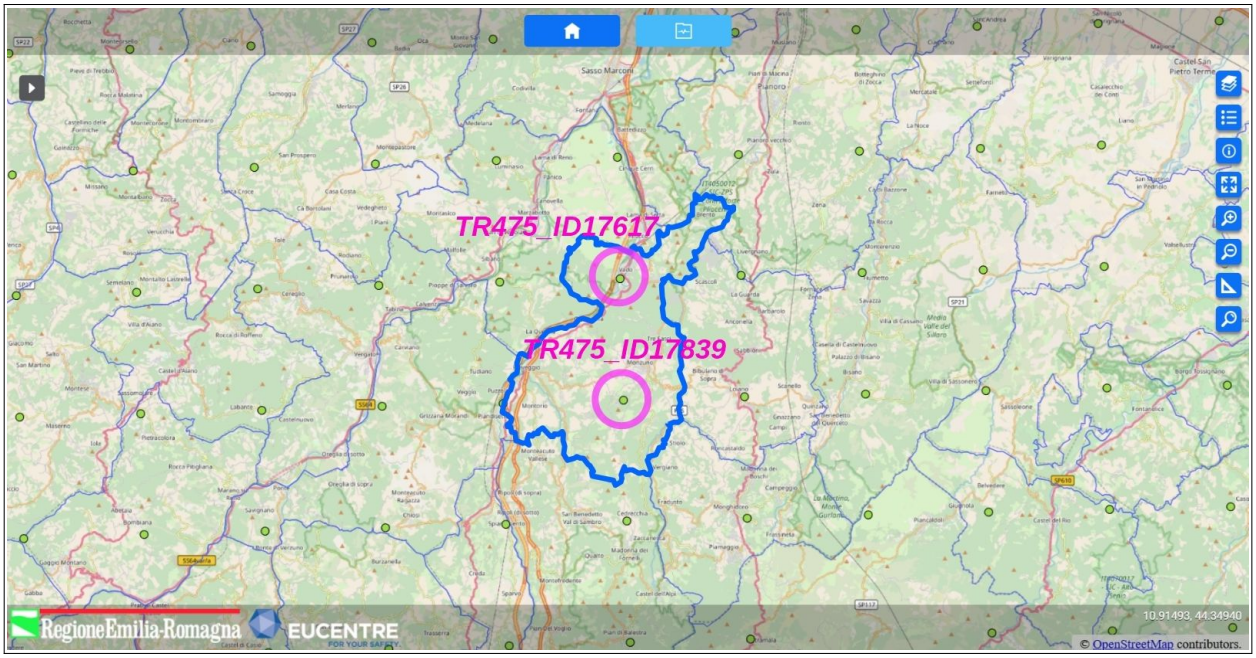


Figura 8.3 – Localizzazione dei nodi del reticolo di riferimento per gli input sismici di Monzuno. Nel cerchiato fucsia sono evidenziati i nodi utili per lo studio di MS

Ai sensi della DGR 476/2021, l'input sismico è definito da un gruppo di 7 accelerogrammi reali, registrati su roccia, spettro-compatibili in media agli spettri di normativa definiti nelle NTC vigenti, per periodi di ritorno di 475 anni.

La seguente tabella 8.1 contiene le informazioni sui due set di accelerogrammi selezionati e riferiti e riferiti al nodo più vicino agli areali oggetto di approfondimenti e più in particolare riporta: magnitudo (Mw) dell'evento che ha generato l'accelerogramma; distanza epicentrale (km) alla quale è avvenuta la registrazione; fattore di scala rispetto all'accelerogramma originario, nome della banca-dati alla quale appartiene l'input originario; nome dell'accelerogramma all'interno della banca-dati. I due set di accelerogrammi sono stati dunque utilizzati per le seguenti analisi numeriche bidimensionali:

- set "TR475_ID17839" → modelli "sezione 1", "sezione 2", "sezione 3" e "sezione 4" (Capoluogo)
- set "TR475_ID17617" → modelli "sezione 5 e "sezione 6" (Vado)

TR475_ID17617

Progr.	Magnitude(Mw)	Epic.Distance(km)	Scaling_Factor	Source	File_Name
CDC(1)	6.2	29.9	2.19%	ESM	EU.HRZ..HNE.D.19790524.172317.C.ACC.ASC
CDC(2)	5.74	12.57	1.44%	NGA	RSN146_COYOTELK_G01320.AT2
CDC(3)	5.99	54.21	2.71%	NGA	RSN703_WHITTIER.A_A-VAS000.AT2
CDC(4)	6.93	83.53	1.60%	NGA	RSN804_LOMAP_SSF205.AT2
CDC(5)	6.69	38.07	1.21%	NGA	RSN1091_NORTHR_VAS090.AT2
CDC(6)	6.6	31	0.68%	KiKnet	SMNH100010061330.EW2
CDC(7)	5.9	14.4	2.86%	ESM	IT.SLO..HGE.D.20161026.191806.C.ACC.ASC

TR475_ID17839

Progr.	Magnitude(Mw)	Epic.Distance(km)	Scaling_Factor	Source	File_Name
CDC(1)	6.2	29.9	2.25%	ESM	EU.HRZ..HNE.D.19790524.172317.C.ACC.ASC
CDC(2)	5.74	12.57	1.48%	NGA	RSN146_COYOTELK_G01320.AT2
CDC(3)	5.99	54.21	2.78%	NGA	RSN703_WHITTIER.A_A-VAS000.AT2
CDC(4)	6.93	83.53	1.64%	NGA	RSN804_LOMAP_SSF205.AT2
CDC(5)	6.69	38.07	1.24%	NGA	RSN1091_NORTHR_VAS090.AT2
CDC(6)	6.6	31	0.69%	KiKnet	SMNH100010061330.EW2
CDC(7)	5.9	14.4	2.93%	ESM	IT.SLO..HGE.D.20161026.191806.C.ACC.ASC

Tabella 8.1 – Dati relativi agli accelerogrammi selezionati per le analisi numeriche di RSL (DGR 476/2021)

Gli input accelerometrici sono stati scalati considerando le ag_{ref} che caratterizzano gli areali di interesse.

Definiti gli input di scuotimento, il codice di calcolo LSR2D richiede l'inserimento dei modelli sismostratigrafici rappresentativi dell'area di studio. In questo senso, è necessario definire:

- ✔ numero e spessore degli strati di sottosuolo, profondità del bedrock sismico
- ✔ proprietà elastiche per ogni strato (Vs o modulo di taglio massimo G_0)
- ✔ leggi di variazione normalizzata di G e rapporti di smorzamento minimo D_0 per ogni strato

Il successivo passo è dunque quello di definire il bedrock sismico, la stratigrafia e i relativi principali parametri sismici. Come già scritto, il supporto conoscitivo, per quanto riguarda il

sottosuolo è fornito dagli esiti delle indagini geognostiche e geofisiche eseguite nell'area di studio e dalle ulteriori indagini di repertorio. Si rimanda al precedente capitolo 5 e ai contenuti dell'allegato 4 (<<Schede modelli numerici della RSL 2D>>).

Per ogni sismostrato, il codice di elaborazione, richiede l'inserimento delle fondamentali proprietà dinamiche del suolo, rappresentate dal fattore di smorzamento D e dal modulo di rigidezza a taglio G. Mentre i valori di rigidezza iniziale G sono stati determinati sulla base delle indagini geofisiche (stima delle Vs), le caratteristiche di deformazione a taglio e smorzamento dei sedimenti sottoposti a sollecitazioni impulsive possono essere determinate da prove di laboratorio oppure possono essere adottati modelli disponibili in letteratura, già implementati nel software di calcolo "LSR". Si sono dunque considerati gli esiti bibliografici delle curve di decadimento EPRI (93) per i sedimenti più profondi ("0÷20 ft"; "20÷50 ft"; "50÷120 ft") e infine per bedrock "non rigido" ("Average rock"). La seguente figura 8.4 riporta le curve D e G di riferimento per questo studio.

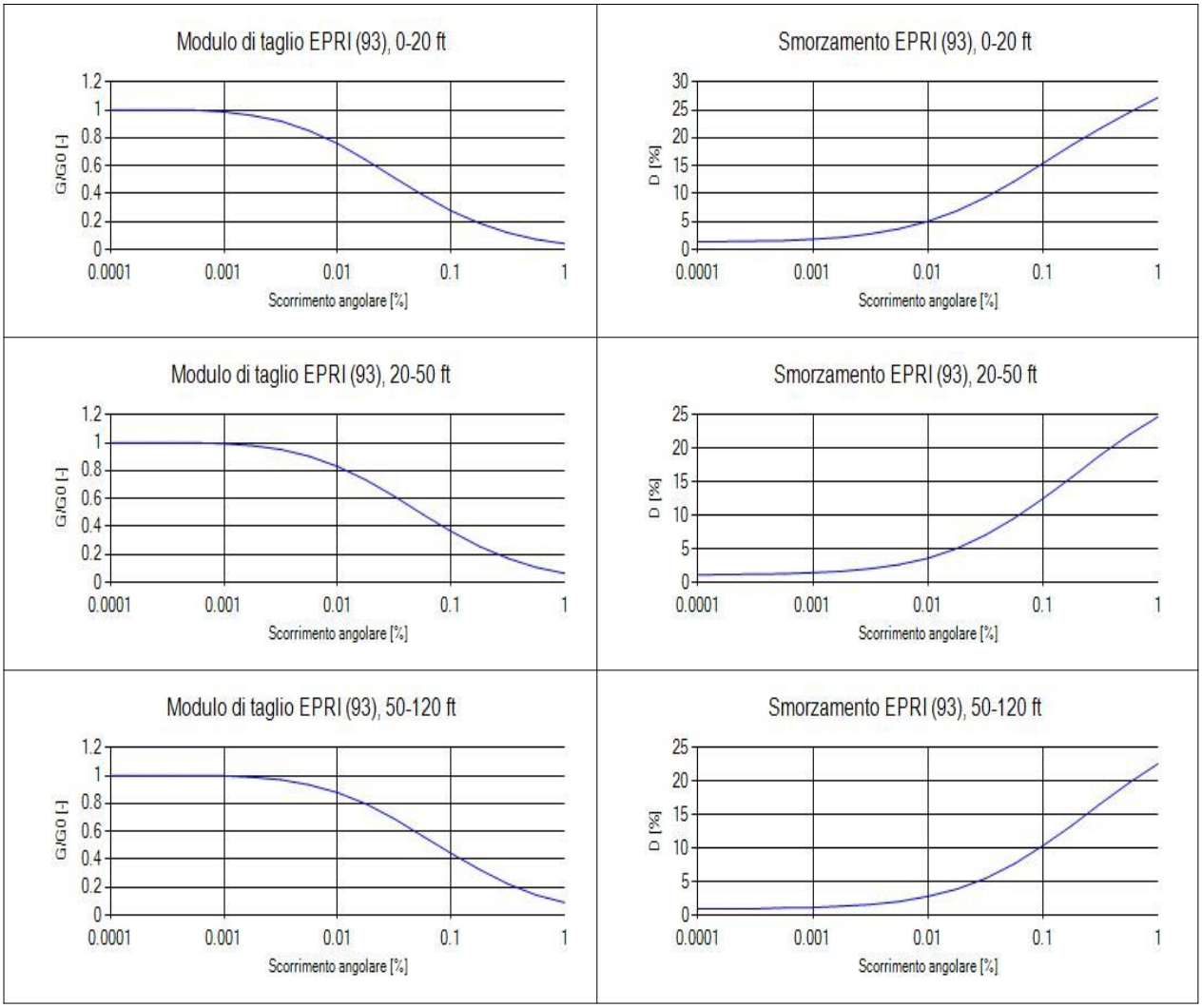


Figura 8.4 – Curve di decadimento dei sedimenti utilizzati per l'analisi numerica di RSL (DGR 476/2021). A sx: moduli di rigidezza a taglio. A dx: smorzamento D

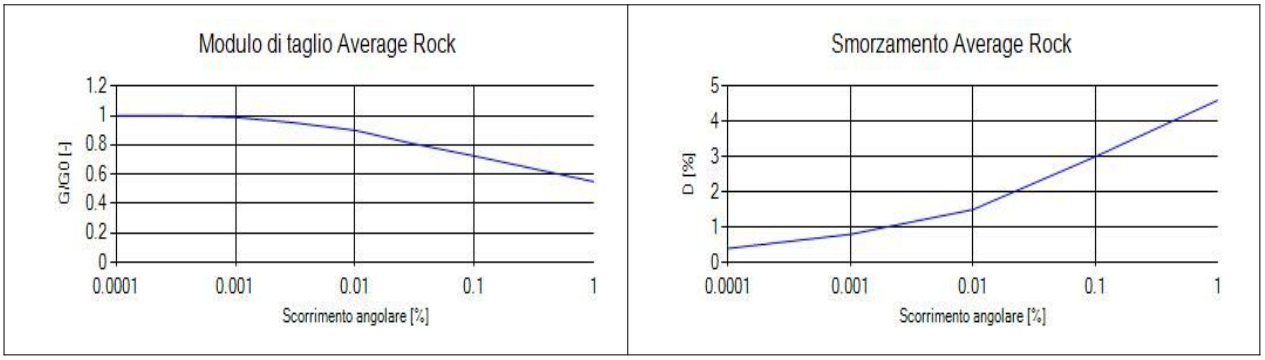


Figura 8.4 (segue) – Curve di decadimento dei sedimenti utilizzati per l'analisi numerica di RSL (DGR 476/2021). A sx: moduli di rigidezza a taglio. A dx: smorzamento D

8.2.3 Esiti delle simulazioni numeriche

La risposta sismica locale è stata analizzata lungo tutto il profilo orografico in termini di storie temporali di velocità e accelerazioni. Nella figura 8.5 si è riportato, a titolo di esempio, l'output bidimensionale relativo ai massimi valori di accelerazione ricavati per la "sezione 2" (Capoluogo).

Tuttavia, è più interessante monitorare la risposta in superficie in corrispondenza di uno o più punti di controllo in modo da comprendere quelli che sono gli effetti indotti dal sito sull'amplificazione della sorgente sismica. In questo senso, lungo i profili delle sei sezioni sono stati selezionati punti di controllo sui quali sono state esportate le storie temporali in accelerazione e velocità, gli spettri di risposta e calcolati i fattori di amplificazione (FA).

Si rammenta che i fattori di amplificazione (FA) rappresentano il rapporto fra lo scuotimento sismico valutato per la condizione geolitologica specifica e il corrispondente scuotimento relativo al tetto del bedrock sismicamente rigido. I FA da determinare ai sensi della DGR 476/2021, si riferiscono a una pericolosità che considera un tempo di ritorno del sisma pari a TR=475 anni e con smorzamento ζ=5%. La figura 8.6 riporta, a titolo di esempio, gli esiti di FA ricavati nei punti di controllo relativi alla "sezione 2" presso il Capoluogo. La successiva figura 8.7 rappresenta, invece, i punti di controllo della RSL (con relativi valori di SA4) della sezioni sismostratigrafiche.

Questo studio ha dunque permesso di riquantificare per le "zone di attenzione per instabilità di versante" selezionate i fattori di amplificazione elle modellazioni numeriche della RSL. In questo senso, la figura 8.8 riporta uno stralcio della carta di microzonazione sismica di "livello 3" relativa al $FA_{0,5-1,5Ss}$ (SA4 ai sensi della DGR 476/2021). Occorre precisare che la possibilità di disporre di numerosi punti di controllo ha consentito di attribuire all'areale complessivamente studiato risultati di RSL differenziati e basati sulla media dei valori derivati.

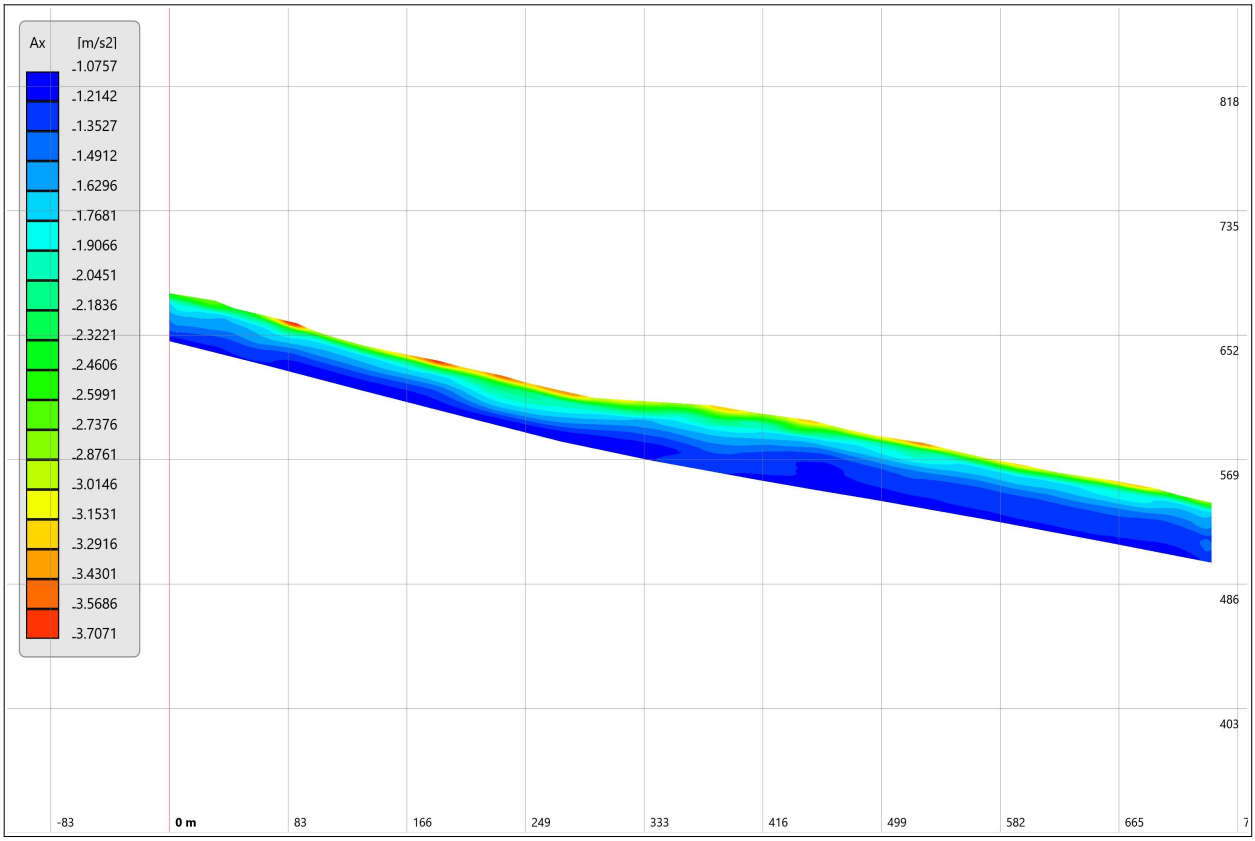


Figura 8.5 – Modellazione numerica della RSL: distribuzione bidimensionale dell'intensità di accelerazione (m/s^2) ricavata nella "sezione 2" presso il Capoluogo

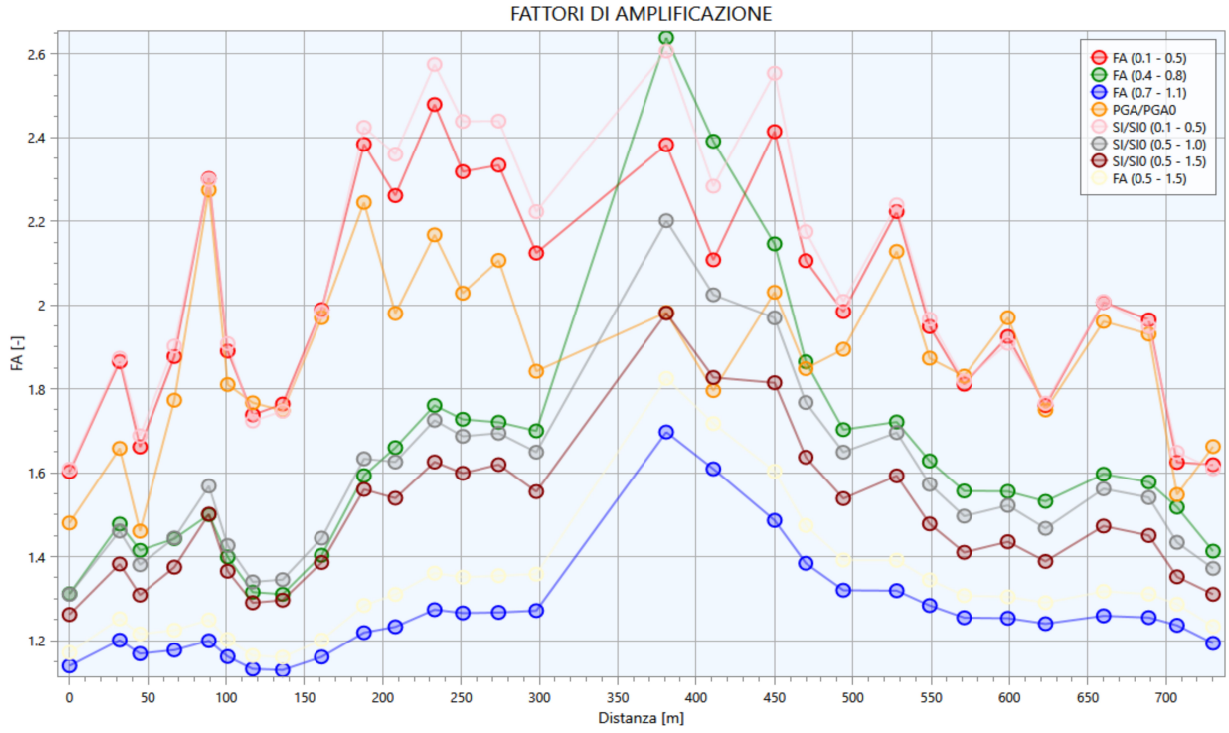


Figura 8.6 – Modellazione numerica della RSL: grafico di sintesi dei fattori di amplificazione (DGR 476/2021) calcolati nei punti di controllo della "sezione 2" presso il Capoluogo

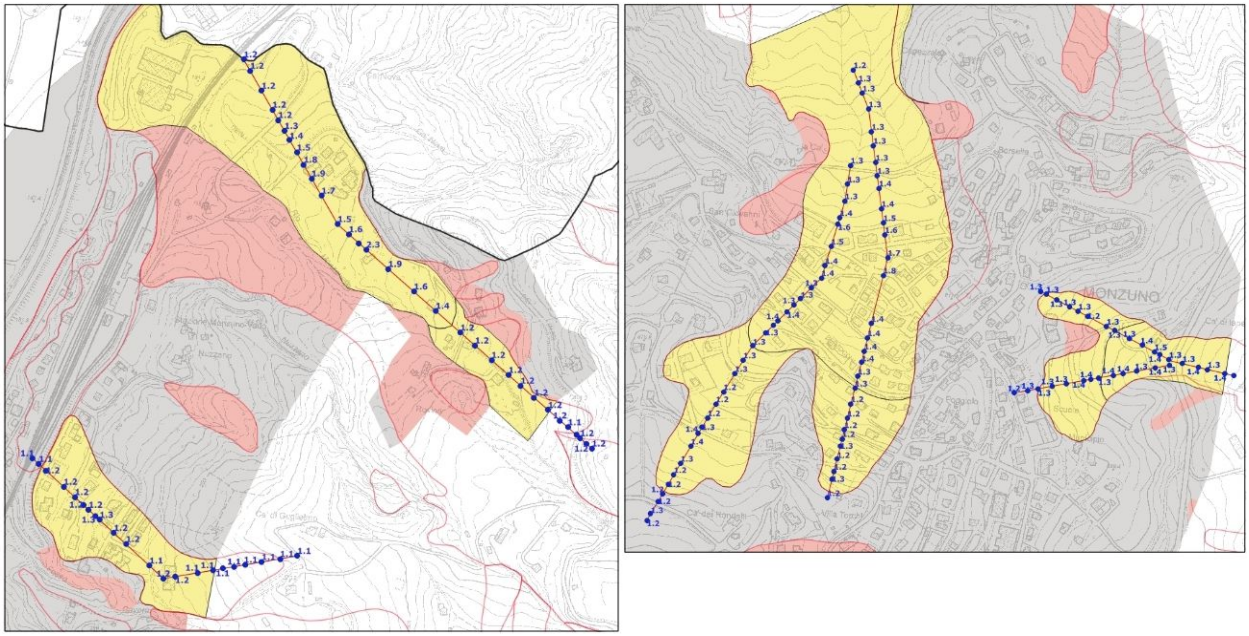


Figura 8.7 – Modellazione numerica della RSL: punti di controllo con riportati i FA relativi all'intervallo 0,5s-1,5s (SA4). A sx: areali di studio presso la frazione Vado. A dx: areali di studio presso Monzuno. In evidenziato giallo sono indicate le zone di attenzione con approfondimenti di "livello 3"

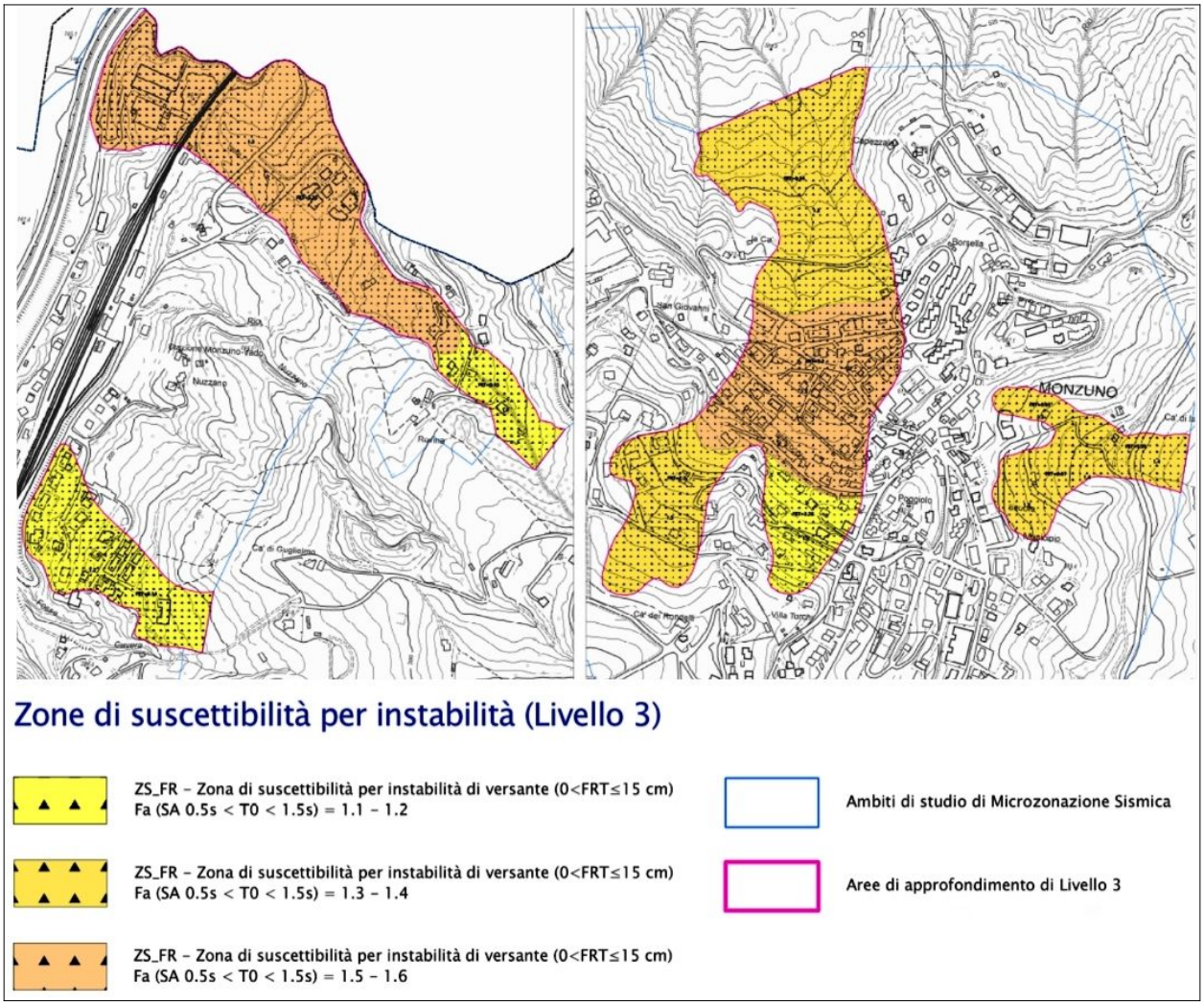


Figura 8.8 – Modellazione numerica della RSL: stralcio della carta di licrozonazione sismica livello 3 – FA $_{0,5-1,5s}$ (SA4)

Sulla base dei risultati delle simulazioni di RSL numeriche, si sono dunque prodotte anche le cartografie di MS relative ai fattori di amplificazione SA4 (0,5s–1,5s) e SI3 (0,5s–1,5s) per gli areali oggetto di approfondimenti di "livello 3".

Le seguenti tabelle 8.2–8.3–8.4–8.5 riportano la sintesi dei fattori di amplificazione sismica calcolati dalla RSL numerica e attribuiti agli areali oggetto di approfondimenti.

MOPS	DESCRIZIONE SINTETICA	FA PGA	SA1	SA2	SA3	SA4	SI1	SI2	SI3	NOTE
2021	Zona di prevalente distacco per frana complessa (sezione 1)	2,0	2,1	1,5	1,2	1,3	2,2	1,5	1,5	
2021	Zona di prevalente distacco per frana complessa (sezione 2)	1,9	1,9	1,4	1,2	1,2	2,0	1,4	1,4	
2023	Zona di prevalente accumulo per frana complessa (sezione 1+ sezione 2)	2,0	2,3	2,0	1,4	1,5	2,4	1,8	1,6	
2023	Zona di prevalente accumulo per frana complessa (sezione 2)	1,9	2,0	1,6	1,3	1,3	2,0	1,6	1,5	

Tabella 8.2 – Sintesi dei fattori di amplificazione derivati dalla modellazione numerica della RSL. Si indicano le MOPS e la sezione sismostratigrafica e litotecnica di riferimento (areale presso Monzuno)

MOPS	DESCRIZIONE SINTETICA	FA PGA	SA1	SA2	SA3	SA4	SI1	SI2	SI3	NOTE
2021	Zona di prevalente distacco per frana complessa (sezione 3)	1,9	1,9	1,5	1,2	1,3	2,0	1,5	1,4	
2021	Zona di prevalente distacco per frana complessa (sezione 4)	2,0	2,1	1,7	1,3	1,3	2,2	1,6	1,6	
2023	Zona di prevalente accumulo per frana complessa (sezione 3)	2,0	2,1	1,7	1,3	1,4	2,2	1,6	1,5	
2023	Zona di prevalente accumulo per frana complessa (sezione 4)	2,1	2,2	1,7	1,3	1,4	2,3	1,7	1,6	

Tabella 8.3 – Sintesi dei fattori di amplificazione derivati dalla modellazione numerica della RSL. Si indicano le MOPS e la sezione sismostratigrafica e litotecnica di riferimento (areale presso Monzuno)

MOPS	DESCRIZIONE SINTETICA	FA PGA	SA1	SA2	SA3	SA4	SI1	SI2	SI3	NOTE
2020	Zona di prevalente distacco per frana complessa (sezione 5)	2,0	2,0	1,4	1,2	1,2	2,0	1,4	1,4	
2022	Zona di prevalente accumulo per frana complessa (sezione 5)	2,0	2,2	2,0	1,5	1,5	2,3	1,9	1,7	

Tabella 8.4 – Sintesi dei fattori di amplificazione derivati dalla modellazione numerica della RSL. Si indicano le MOPS e la sezione sismostratigrafica e litotecnica di riferimento (areale presso Vado)

MOPS	DESCRIZIONE SINTETICA	FA PGA	SA1	SA2	SA3	SA4	SI1	SI2	SI3	NOTE
2022	Zona di prevalente accumulo per frana complessa (sezione 6)	1,9	2,1	1,4	1,2	1,2	2,1	1,5	1,4	

Tabella 8.5 – Sintesi dei fattori di amplificazione derivati dalla modellazione numerica della RSL. Si indicano le MOPS e la sezione sismostratigrafica e litotecnica di riferimento (areale presso Vado)

Occorre precisare che la variabilità dei fattori di amplificazione è prevalentemente correlabile alla variabilità (anche di pochi metri) degli spessori delle coperture/o della rigidezza del sottostante substrato marino più alterato. In minor misura (e poco significativi), si evidenziano limitati incrementi dei FA correlabili alla morfologia superficiale del pendio e che comunque interessano i sedimenti più superficiali (vedi figura 8.5).

8.3 Verifiche di stabilità dei pendii in condizioni sismiche

8.3.1 Cenni metodologici

Questo studio ha permesso di effettuare verifiche di stabilità in condizioni dinamiche per le parti di versante già interessate dagli approfondimenti della RSL con modellazioni numeriche bidimensionali. Come precedentemente descritto, si tratta di versanti che comprendono corpi di frana quiescenti e che coinvolgono il substrato roccioso molto alterato, investigato da indagini geognostiche (penetrometrie dinamiche e statiche; sondaggi a carotaggio continuo con prelievo di campioni; ecc.).

In questo senso, le analisi sono state eseguite considerando il "pendio in terra", con superfici di scivolamento generate in modalità "random" all'interno dello spessore di frana e/o degli spessori di sedimenti con caratteristiche meccaniche più scadenti (bedrock molto alterato, investigato da indagini geognostiche). Si sono dunque escluse superfici interne al sottostante bedrock (roccia). La geometria della maglia dei centri considerata nelle simulazioni ha inoltre permesso di generare superfici di scivolamento in grado di valutare, sull'intero sviluppo del versante considerato, il comportamento di un possibile scivolamento verso valle di una massa il più possibile estesa (figura 8.9).

Le verifiche sono state eseguite con il supporto dei software "SLOPE - Stabilità dei pendii" e "QSIM - Analisi di stabilità in condizioni sismiche" sviluppati dalla società Geostru.

Occorre precisare che le verifiche di stabilità sono state svolte considerando il "metodo di Jambu" (1967). Per l'analisi in condizioni dinamiche si è inveve considerato l'approccio di Newmark, utilizzando il modulo software QSIM in grado di ricavare l'andamento degli spostamenti e delle velocità durante la fase sismica. Ciò ha permesso di calcolare lo spostamento massimo permanente considerando gli accelerogrammi rappresentativi derivati dalla RSL numerica sito specifica.

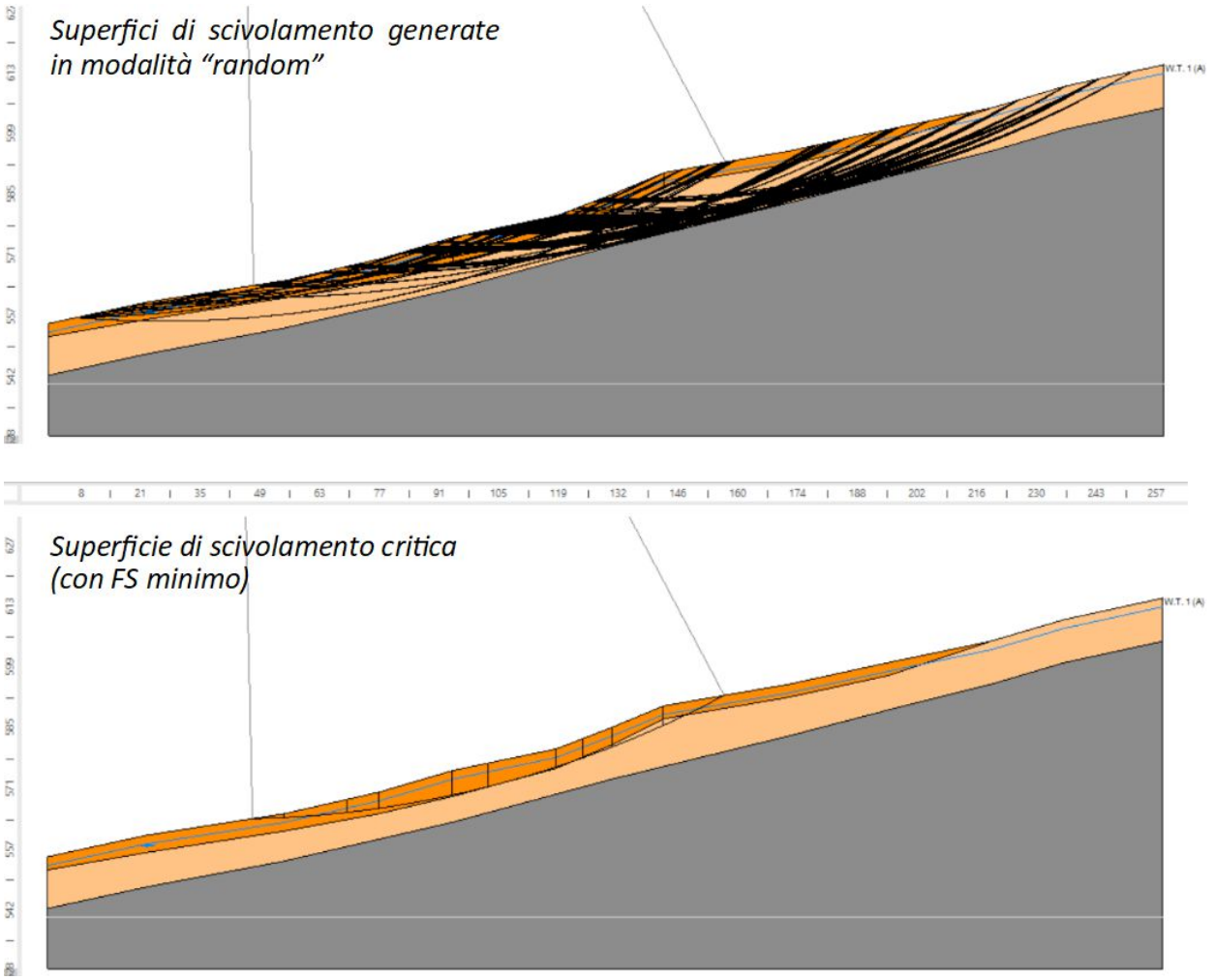


Figura 8.9 – Verifiche di stabilità di versante in condizioni sismiche: esempio di simulazione effettuata per la frana quiescente complessa a Monzuno (vedi "sezione 4")

8.3.2 Esiti delle verifiche

Per il territorio di Monzuno si sono svolte le seguenti verifiche di stabilità in condizioni sismiche:

- su pendio rappresentato nella "sezione 1" e "sezione 2" in corrispondenza di un corpo di frana quiescente complessa, situato nel Capoluogo. Vista l'estensione e la morfologia del movimento franoso, sono state eseguite più verifiche per determinare la stabilità e l'entità degli spostamenti nei differenti settori di prevalente distacco e prevalente accumulo;
- su pendio rappresentato nella "sezione 3" in corrispondenza del corpo di frana quiescente complessa, situato nel Capoluogo. Anche in questo caso, vista la morfologia del movimento franoso, sono state eseguite più verifiche per determinare la stabilità e l'entità degli spostamenti nei differenti settori di prevalente distacco e prevalente accumulo;
- su pendio rappresentato nella "sezione 4" in corrispondenza del corpo di frana quiescente complessa, situato nel Capoluogo;

- su pendio rappresentato nella "sezione 5" in corrispondenza del corpo di frana quiescente complessa, situato nella frazione Vado. Anche in questo caso, vista l'estensione e la morfologia del movimento franoso, sono state eseguite più verifiche per determinare la stabilità e l'entità degli spostamenti nei differenti settori di prevalente distacco e prevalente accumulo;
- su pendio rappresentato nella "sezione 6" in corrispondenza del corpo di frana quiescente complessa, situato nella frazione Vado.

I risultati delle verifiche sono da ritenersi piuttosto cautelativi. Le simulazioni hanno infatti considerato parametri meccanici ridotti (vedi Allegato 4"); hanno inoltre considerato un livello piezometrico nell'intero versante collocato a -2 metri dalla quota campagna (soggiacenza sempre minore rispetto a quanto riscontrato nelle indagini in sito).

La seguente tabella 8.6 riassume i risultati delle verifiche. Per ogni dettaglio sulle singole verifiche si rimanda invece all'Allegato 5 "Verifiche di stabilità di versante in condizioni sismiche". In base agli input cautelativi implementati nelle verifiche, i risultati evidenziano come la stabilità dei pendii analizzati sia prevalentemente condizionata dal contesto idrogeologico locale. Le condizioni più critiche vengono riscontrate soprattutto negli areali di frana del Capolugo, ("sezione 1"; "sezione 2"; "sezione 3"), dove a fronte di una complessiva stabilità in condizioni statiche, le condizioni meccaniche e idrogeologiche più cautelative imposte nelle simulazioni sismiche condizionano e riducono significativamente la complessiva stabilità del pendio (vedi decrementi delle accelerazioni critiche e con massimi spostamenti sismici attesi fino a poco meno di 7 cm ("sezione 4").

Occorre rammentare che i risultati di massimo spostamento della frana di scivolamento vengono rappresentati nella cartografia di microzonazione sismica per gli areali con approfondimento di "livello 3" secondo gli standard CTMS di classificazione FRT.

Verifiche e localizzazione di riferimento	Fs minimo	Accelerazione critica Kc [g]	Massimo spostamento FRT [cm]
Monzuno – "Zona di prevalente distacco" (sezione 1)	1,68	0,168	1,2
Monzuno – "Zona di prevalente distacco" (sezione 2)	1,16	0,118	2,3
Monzuno – "Zona prevalente accumulo" (sezione 1)	1,50	0,135	3,2
Monzuno – "Zona prevalente accumulo" (sezione 2)	1,56	0,201	0,4
Monzuno – "Zona prevalente distacco" (sezione 3)	1,21	0,182	0,6
Monzuno – "Zona prevalente accumulo" (sezione 3)	1,06	0,089	6,0
Monzuno – "Zona prevalente accumulo" (sezione 4)	1,08	0,094	6,7
Vado – "Zona prevalente distacco" (sezione 5)	1,71	0,205	0,6
Vado – "Zona prevalente accumulo" (sezione 5)	1,31	0,132	3,3
Vado – "Zona prevalente accumulo" (sezione 6)	1,72	0,278	0,1

Tabella 8.6 – Sintesi dei risultati delle verifiche di stabilità in condizioni sismiche

8.4 Calcolo dei valori di "Hazard"

Per gli areali interessati dalla microzonazione sismica con approfondimenti di "livello 3", lo studio ha consentito di calcolare i valori di H (Naso[4] et al., 2019), parametro che esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in [g]).

Per gli areali con approfondimenti di "livello 3", si sono infatti svolte modellazioni numeriche della RSL. I valori di H sono stati perciò calcolati mediante il rapporto tra i valori integrali degli spettri in accelerazione (Sa) dei punti di controllo rappresentativi di output ricavati dalla modellazione numerica della RSL per gli intervalli di periodo 0,1s≤T≤0,5s (H_{SM}), 0,4s≤T≤0,8s (H_{0408}), 0,7s≤T≤1,1s (H_{0711}) e 0,5s≤T≤1,5s (H_{0515}) e i rispettivi ΔT di riferimento e cioè 0,4s (H_{SM}), 0,4s (H_{0408}), 0,4s (H_{0711}), 1,0s (H_{0515}).

Gli esiti di H sono calcolati e rappresentati, come unità di misura, in [g].

La seguente tabella 8.7 riporta per ogni singolo modello di RSL i valori di H_{SM} e H_{VARI} così calcolati per gli areali con approfondimenti di "livello 3". Per una migliore comprensione, nella tabella viene anche riportato il nome del file relativo allo spettro medio in accelerazione di output.

Sulla base della classificazione di H_{SM} proposta dalla CTMS (vedi tabella 8.8), si ricavano valori di "hazard" da ritenersi complessivamente "alti" per i bassi intervalli di periodo e prevalentemente "moderati" per i più alti intervalli di periodo, in relazione ai risultati della RSL espletata con simulazioni numeriche.

MODELLO RSL	LOCALITA' DI RIFERIMENTO	MOPS DI RIFERIMENTO	SPETTRO SA RIFERIMENTO	SUM AREA SA_{0105} (g*s)	SUM AREA SA_{0408} (g*s)	SUM AREA SA_{0711} (g*s)	SUM AREA SA_{0515} (g*s)	H_{0105} (g)	H_{0408} (g)	H_{0711} (g)	H_{0515} (g)
Sezione 1 (P. Controllo_6)	Monzuno	2021	MonzunoPSA001_m	0.302	0.126	0.064	0.165	0.76	0.32	0.16	0.16
Sezione 1 (P. Controllo_26)	Monzuno	2023	MonzunoPSA002_m	0.340	0.178	0.076	0.201	0.85	0.44	0.19	0.20
Sezione 2 (P. Controllo_9)	Monzuno	2021	MonzunoPSA003_m	0.294	0.122	0.063	0.162	0.74	0.31	0.16	0.16
Sezione 2 (P. Controllo_27)	Monzuno	2023	MonzunoPSA004_m	0.290	0.138	0.068	0.176	0.73	0.35	0.17	0.18
Sezione 3 (P. Controllo_5)	Monzuno	2021	MonzunoPSA005_m	0.297	0.130	0.065	0.169	0.74	0.33	0.16	0.17
Sezione 3 (P. Controllo_15)	Monzuno	2023	MonzunoPSA006_m	0.333	0.150	0.070	0.184	0.83	0.38	0.18	0.18
Sezione 4 (P. Controllo_7)	Monzuno	2021	MonzunoPSA007_m	0.324	0.151	0.069	0.183	0.81	0.38	0.17	0.18
Sezione 4 (P. Controllo_12)	Monzuno	2023	MonzunoPSA008_m	0.331	0.146	0.069	0.181	0.83	0.37	0.17	0.18
Sezione 5 (P. Controllo_11)	Vado	2020	MonzunoPSA009_m	0.289	0.120	0.062	0.159	0.72	0.30	0.15	0.16
Sezione 5 (P. Controllo_20)	Vado	2022	MonzunoPSA010_m	0.334	0.163	0.074	0.197	0.83	0.41	0.19	0.20
Sezione 6 (P. Controllo_19)	Vado	2022	MonzunoPSA011_m	0.313	0.126	0.062	0.162	0.78	0.32	0.16	0.16

Tabella 8.7 – Sintesi del calcolo dei valori di H_{SM} e H_{VARI} (Naso et al., 2019) ricavati dagli spettri Sa medi di output ottenuti dalla modellazione numerica della RSL

[4] "Maps for land management: from geology to seismic hazard" – Maso G.; Martelli L.; Baglione M; Bramerini F; Castenetto S.; D'Intinosante V.; Ercolessi G. (2019).

Tabella 8.8 – Classificazione di H_{SM} per gli intervalli di periodo di riferimento (stralcio tabella 2 riportata nelle "Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da amplificazioni", CTMS v.2.0)

Intervalli di periodo	Classificazione H_{SM}[g]			
	Basso ($ZS4_{SM}$)	Medio ($ZS3_{SM}$)	Alto ($ZS2_{SM}$)	Molto alto ($ZS1_{SM}$)
$T1_{(0.1\text{-}0.5)}$	≤ 0.21	0.22-0.54	0.55-0.85	≥ 0.86
$T2_{(0.4\text{-}0.8)}$	≤ 0.14	0.15-0.34	0.35-0.55	≥ 0.56
$T3_{(0.7\text{-}1.1)}$	≤ 0.09	0.10-0.22	0.23-0.35	≥ 0.36

9 ELABORATI CARTOGRAFICI

9.1 Carta delle Indagini (Tavola 1)

Gli studi di microzonazione sismica hanno consentito di riordinare e selezionare le conoscenze di sottosuolo pregresse, fondate sugli esiti delle indagini geognostiche e geofisiche di repertorio e sugli esiti delle prove integrative.

In questo senso, la "Carta delle Indagini", realizzata alla scala 1:5.000, permette la visione di insieme delle localizzazioni delle prospezioni geologiche e geofisiche realizzate nel territorio comunale di Monzuno, raccolte e archiviate in formato digitale per il presente studio. Per una descrizione più dettagliata sulla tipologia delle indagini disponibili e in particolare di quelle eseguite per gli studi di MS (OCDPC 344/2016 e OCDPC 532/2018) si rimanda al Capitolo 4.

La cartografia identifica il tipo di prova con la simbologia riportata negli <<Standard di rappresentazione e archiviazione informatica>> CTMS (v.4.2), distinguendo la tipologia delle prove e indicando in etichetta il sito oggetto delle indagini.

9.2 Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica (Tavola 2)

La <<Carta geologico-tecnica>>, elaborata alla scala 1:5.000, ha lo scopo di fornire ulteriori elementi per la definizione del modello di sottosuolo meno profondo, necessario per lo studio di microzonazione sismica.

In particolare, la cartografia geologico-tecnica ha suddiviso il territorio studiato sulla base del controllo dei dati tessiturali desunti dalle stratigrafie dei sondaggi a carotaggio continuo (analisi tessiturali; classificazione del campioni prelevati) e dalle prove penetrometriche, disponendo anche di dati numerici.

L'elaborazione di questa cartografia è basata sul criterio delle classi tessiturali definite secondo gli "standard di microzonazione sismica" (v.4.2). Negli areali con substrato affiorante, la classificazione geotecnica ha considerato le principali caratteristiche del bedrock già riportate nel data base della cartografia geologica regionale. Il territorio di studio è stato suddiviso nelle classi USCS/AGI riportate in figura 9.1.

La cartografia geologico-tecnica inoltre riporta:

- ✔ forme di superficie e sepolte (picchi isolati; creste; orli di scarpata morfologica; orli di terrazzo fluviale; falda detritica; conoidi; faglie)
- ✔ aree di instabilità di versante
- ✔ elementi geologici e idrogeologici (giaciture strati e sondaggi/pozzi)
- ✔ le tracce delle sezioni geologiche di riferimento per questo lavoro.

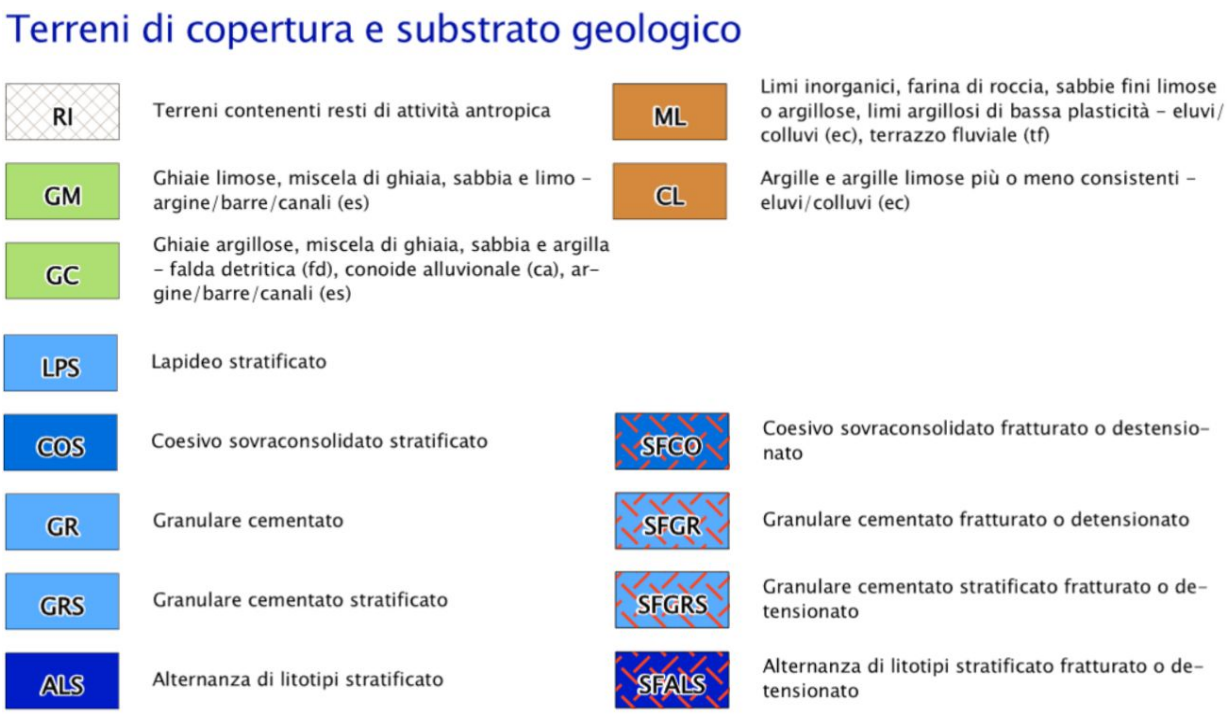


Figura 9.1 – Stralcio della legenda della Tavola 2a – Carta geologico-tecnica: si riportano le classi geotecniche USCS/AGI che caratterizzano il sottosuolo del territorio studiato di Monzuno

9.3 Carta delle frequenze naturali dei terreni (Tavola 3)

La <<Carta delle frequenze naturali dei terreni>>, elaborata alla scala 1:10.000, riporta la suddivisione del territorio comunale in aree per classi di frequenza, secondo quanto indicato nella DGR 476/2021: f0 ≤1 hz, 1 <f0 ≤2 hz, 2 <f0 ≤8 hz, f0 >8 hz.

Lo studio di microzonazione ha dunque permesso di proporre una classificazione delle frequenze di possibile amplificazione/risonanza distinguendo le seguenti classi (con colori differenti).

La tavola permette di discriminare le misure anche in base all'entità del rapporto spettrale H/V riferito a contrasti di impedenza alla base delle coperture, in particolare discriminando le prove che hanno ricavato rapporti: H/V <2 (ampiezze basse); 2 ≤H/V <3 (ampiezze moderate); H/V ≤3 (ampiezze elevate).

I dati acquisiti attraverso l'estesa campagna di misure di microtremore realizzata a supporto del presente studio, correlati coi dati geognostici disponibili, hanno permesso di individuare zone in cui gli spessori delle coperture continentali e/o del substrato roccioso marino alterato sono significativi per la risposta sismica locale, di definire la profondità del tetto di quello che può essere definito in alcuni casi il substrato rigido e di individuare quindi le caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo importanti dal punto di vista dell'influenza sul moto sismico in superficie, per la definizione dei fattori di amplificazione.

9.4 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica MOPS (Tavola 4)

La cartografia MOPS, elaborata alla scala 1:5.000, rappresenta la suddivisione del territorio comunale in "zone omogenee in prospettiva sismica". Tale carta rappresenta l'elaborato fondamentale della microzonazione sismica di livello 1.

La delimitazione delle MOPS ha tenuto in considerazione sia gli aspetti litostratigrafici (rigidezza del substrato roccioso affiorante; presenza di coperture "soffici" ecc.), sia gli aspetti geomorfologici dell'areale stesso, anch'esse in grado di condizionare sia la risposta sismica, sia la complessiva stabilità di versante. Rispetto alle diverse litologie distinte nella carta geologico-tecnica, estendendo la valutazione a profondità maggiore, si sono tuttavia effettuate delle semplificazioni, accorpando alcune stratigrafie analoghe e cercando di utilizzare un criterio di similarità dal punto di vista della possibile risposta sismica e delle criticità locali.
Nel territorio studiato non si riscontrano "zone stabili", tuttavia si sono distinte undici "zone stabili suscettibili di amplificazioni" (MOPS denominate da "2001" a "2010"), compresa la parte di territorio caratterizzato da substrato affiorante molto alterato ("2099"). Sono state inoltre definite diciassette "zone di attenzione per instabilità", che individuano le principali criticità correlabili ad eventi sismici individuate per il territorio studiato. In questo senso le MOPS potenzialmente instabili sono correlabili ai seguenti effetti cosismici:

- possibile instabilità di versante (MOPS denominate da "2011" a "2026"). I movimenti franosi perimetrati sono stati classificati per meccanismi di movimento, indicando anche la presenza di accumulo o distacco e i principali depositi (coperture o substrato roccioso) coinvolti nel dissesto;
- possibili cedimenti differenziali/crollo/cavità/ sinkhole ("3080"). In questa tipologia di instabilità vengono comprese anche le aree di cava e i tombamenti antropici.

La carta riporta, inoltre, le "forme di superficie e sepolte" (già presenti nella carta geologico-tecnica), i punti di misura di rumore ambientale (con l'indicazione della frequenza fondamentale) e le tracce delle sezioni topografiche realizzate per determinare i fattori di amplificazione "ft" (MS "livello 2").

Nello schema seguente (figura 9.2) sono riportate le descrizioni sintetiche delle MOPS classificate come "Zone stabili suscettibili di amplificazioni". Come si può notare, per ciascuna microzona è riportato lo spessore delle coperture che è stato considerato nel calcolo dei fattori di amplificazione, comprensivo di un'eventuale porzione di bedrock alterato.

Nel successivo schema (figura 9.3) vengono inoltre riportate per le "zone stabili suscettibili di amplificazione" i rispettivi rapporti stratigrafici rappresentativi.



Figura 9.2 – Stralcio della legenda della Tavola 4 – Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica ("zone stabili suscettibili di amplificazioni")

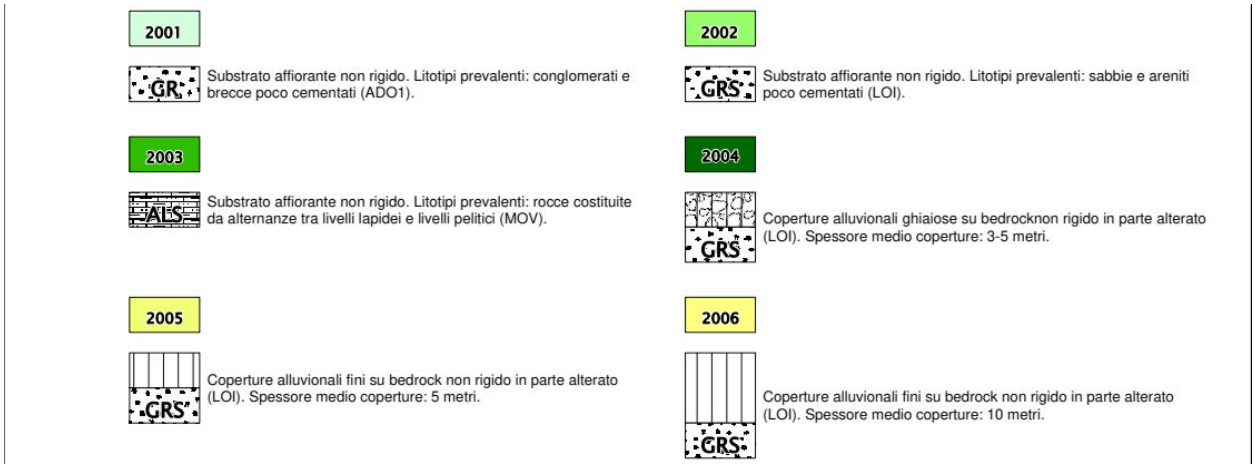


Figura 9.3 – Schemi dei rapporti stratigrafici rappresentativi delle "zone stabili suscettibili di amplificazioni"

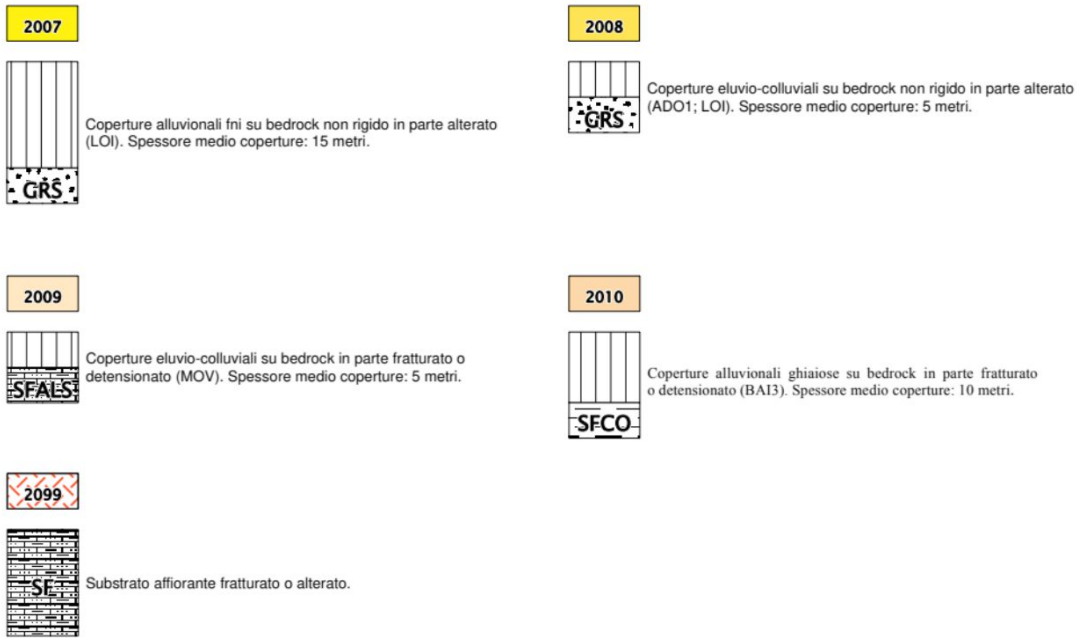


Figura 9.3 (segue) – Schemi dei rapporti stratigrafici rappresentativi delle "zone stabili suscettibili di amplificazioni"

Nei due seguenti schemi (figura 9.4 e figura 9.5) vengono infine riportate le descrizioni sintetiche delle MOPS classificate come "Zone di attenzione per instabilità" e i rispettivi rapporti stratigrafici rappresentativi.



Figura 9.4– Stralcio della legenda della Tavola 4 – Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica ("zone di attenzione per instabilità")

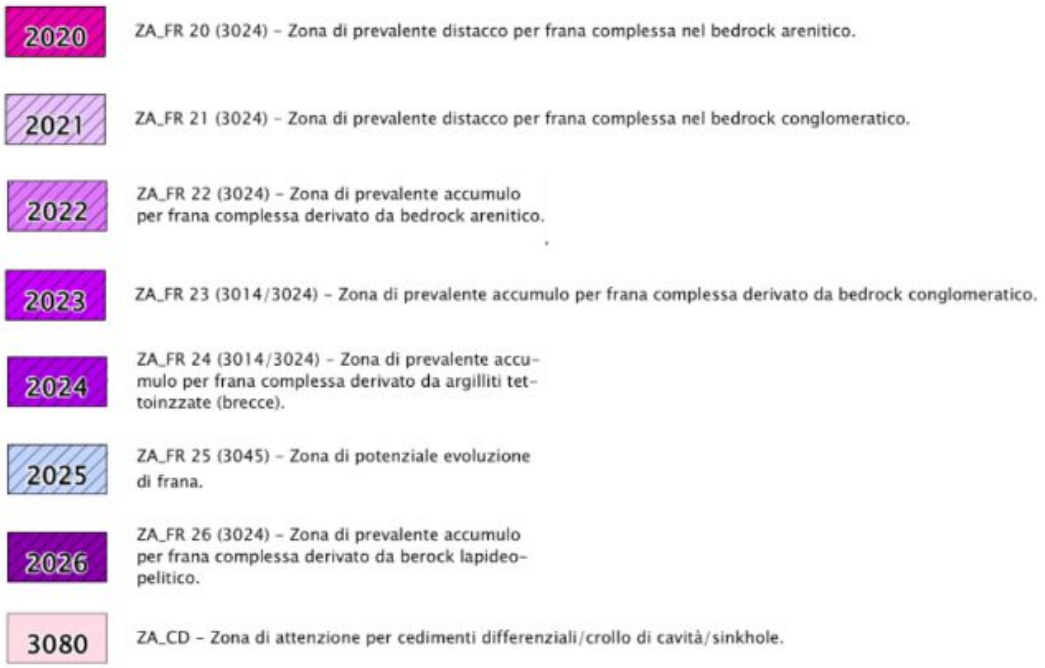
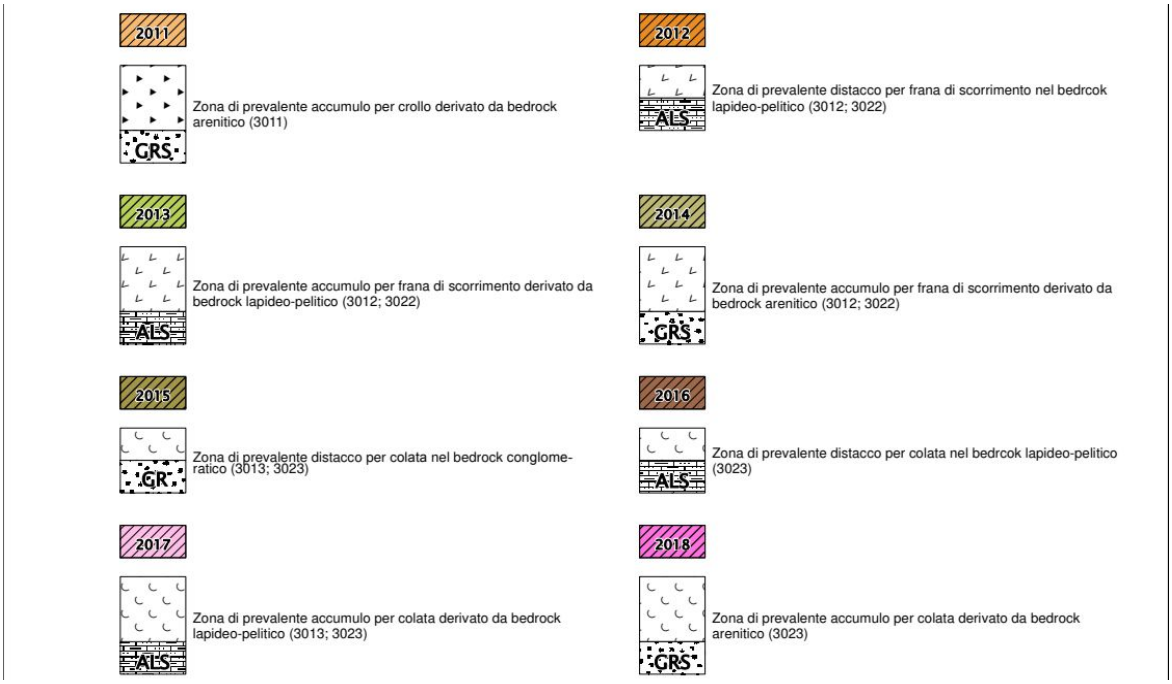


Figura 9.4 (segue) – Stralcio della legenda della Tavola 4 – Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica ("zone di attenzione per instabilità")

Si precisa che i movimenti di versante sono stati classificati in base alla diverse tipologie di movimento (crollo; colata; scorrimento; ecc.) e in base alle principali condizioni morfologiche (le zone di prevalente distacco; zone di prevalente accumulo). Non si è invece considerato lo stato di attività, tuttavia ogni zona di attenzione per instabilità di versante riporta in legenda tra parentesi il codice delle diverse tipologie di attività accorpate). Sono state inoltre delimitate le zone di possibile evoluzione di frana recepite dalla cartografia PAI/PSAI. Nella seguente figura 9.5 si riportano gli schemi dei rapporti stratigrafici rappresentativi delle zone di attenzione per instabilità.



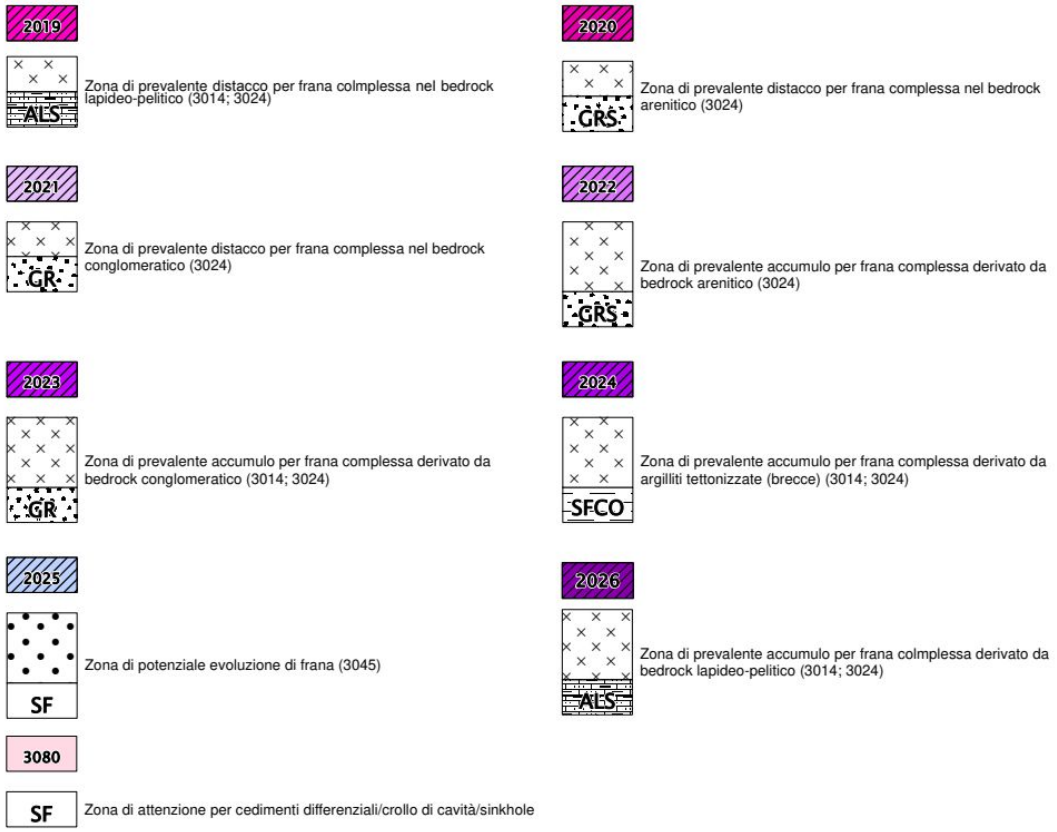


Figura 9.5 – Schemi dei rapporti stratigrafici rappresentativi delle "zone stabili di attenzione per instabilità"

9.5 Carta delle velocità delle onde di taglio S (Tavola 5)

La <<Carta delle velocità delle onde di taglio S>>, elaborata alla scala 1:10.000, localizza tutti i punti di misura di Vs, con indicazione, per ogni punto di controllo, del valore della media armonica nei primi 30 metri della velocità delle onde sismiche di taglio (Vs_{30}) oppure della VsH.

Nelle situazioni di sottosuolo caratterizzate da coperture di minore spessore e in grado di condizionare il campo di moto verso la superficie, si sono riportati anche i valori di VsH. Tale parametro risulta di fondamentale importanza per la caratterizzazione della risposta sismica locale, sia valutata con approccio semplificato (DGR 476/2021; criteri nazionali ICMS 2008), sia da valutare con modellazioni numeriche.

Si segnala che il calcolo della VsH ha interessato ampi settori del territorio studiato, per la presenza di coperture quaternarie sovrastanti il substrato marino più rigido oppure per la presenza di substrato roccioso molto alterato e/o detensionato e con Vs tali da non considerarsi bedrock sismico fino a 30 metri di profondità.

Informazioni relative alle tipologie d'indagine e agli esiti delle Vs misurate nelle aree di approfondimento, sono riportate nei precedenti capitoli (in particolare nel capitolo 5) a cui si rimanda per eventuali approfondimenti.

9.6 Carta di microzonazione sismica livello 2-3 (Tavole da 6 a 13)

Le cartografie <<carta di microzonazione sismica livello 3>> sono elaborate alla scala 1:5.000 e riportano le "zone stabili suscettibili di amplificazioni" e le "zone di attenzione" riscontrate nel territorio studiato di Monzuno, riconducibili prevalentemente a instabilità di versante e in alcuni limitati areali a potenziali cedimenti differenziali/crollo di cavità/sinkhole. Rappresentano gli elaborati finali di sintesi del presente studio di microzonazione sismica.

Si tenga presente che le zone stabili suscettibili di amplificazione derivano dalla cartografia MOPS (Tavola 4) e tuttavia:

- alle "zone stabili suscettibili di amplificazioni" vengono attribuiti i parametri di amplificazione considerati (FA Pga; FA e FH) attraverso le suddivisione del territorio studiato in classi di amplificazione, come previsto dagli Indirizzi della CTMS e come indicato negli Standard di rappresentazione per la microzonazione sismica (v. 4.2). Si rammenta che agli areali studiati i fattori di amplificazione sono attribuiti sulla base degli abachi regionali (cfr. DGR 476/2021, allegato A2).
- Per le "zone di attenzione per instabilità" ("livello 2") vengono attribuiti i parametri di amplificazione considerati (FA Pga; FA e FH) ancora attribuiti sulla base degli abachi regionali (cfr. capitolo 7) e considerando il contesto litostratigrafico e sismico locale. La stima dello spessore di sedimento rimaneggiato e maggiormente amplificabile è compatibile con la presunta profondità del piano di taglio/scivolamento della frana.
- Per le "zone suscettibili di instabilità" ("livello 3") e per gli areali complessivamente interessati dagli approfondimenti di "livello 3" i parametri di amplificazione considerati (FA Pga; FA e FH) derivano dai risultati delle modellazioni numeriche bidimensionali della RSL come descritto nel capitolo 8.

La grafica standard (colore pieno) consente di attribuire alle zone di suscettibilità i rispettivi parametri di amplificazione (ricavati dalle modellazioni numeriche di RSL).

Si rammenta che per "zone suscettibili di instabilità" le tavole di microzonazione riportano anche i risultati di massimo spostamento della frana di scivolamento, rappresentati nella cartografia secondo gli standard CTMS di classificazione FRT.

In sintesi, sono state elaborate le seguenti otto cartografie di microzonazione sismica:

- ✔ Carta di microzonazione sismica livello 2 e 3 Tavola 6 – FA_{PGA} → riporta il fattore di amplificazione FA PGA (rapporto tra le massime ampiezze dell'accelerazione orizzontale in superficie e al bedrock sismico (PGA/PGA0);
- ✔ Carta di microzonazione sismica livello 2 e 3 Tavola 7 – $FA_{0.1-0.5s}$ → riporta il fattore di amplificazione FA SA (rapporto di Intensità di spettrale in accelerazione in superficie e al bedrock sismico per periodo compreso tra 0,1 e 0,5 secondi);
- ✔ Carta di microzonazione sismica di livello 2 e 3 Tavola 8 – $FA_{0.4-0.8s}$ → riporta il fattore di amplificazione FA SA (rapporto di Intensità di spettrale in accelerazione in superficie e al bedrock sismico per periodo compreso tra 0,4 e 0,8 secondi);

- ✔ Carta di microzonazione sismica livello 2 e 3 Tavola 9 – $FA_{0.7-1,1s}$ → riporta il fattore di amplificazione FA SA (rapporto di Intensità di spettrale in accelerazione in superficie e al bedrock sismico per periodo compreso tra 0,7 e 1,1 secondi);
- ✔ Carta di microzonazione sismica livello 3 Tavola 10 – $FA_{0.5-1.5s}$ → riporta il fattore di amplificazione FA SA (rapporto di Intensità di spettrale in accelerazione in superficie e al bedrock sismico per periodo compreso tra 0,5 e 1,5 secondi);
- ✔ Carta di microzonazione sismica livello 2 e 3 Tavola 11 – $FH_{0.1-0.5s}$ → riporta il fattore di amplificazione FA SI (rapporto di Intensità di Housner in superficie e al bedrock sismico per periodo compreso tra 0,1 e 0,5secondi);
- ✔ Carta di microzonazione sismica livello 2 e 3 Tavola 12 – $FH_{0.5-1.0s}$ → riporta il fattore di amplificazione FA SI (rapporto di Intensità di Housner in superficie e al bedrock sismico per periodo compreso tra 0,5 e 1,0 secondi);
- ✔ Carta di microzonazione sismica livello 3 Tavola 13 – $FH_{0.5-1.5s}$ → riporta il fattore di amplificazione FA SI (rapporto di Intensità di Housner in superficie e al bedrock sismico per periodo compreso tra 0,5 e 1,5 secondi).

9.7 Carta della distribuzione dei valori di H (Tavole da 14 a 17)

Le mappe di pericolosità sismica denominate rispettivamente:

<<Distribuzione dei valori di H – H_{SM}>> (scala 1: 5.000)

<<Distribuzione dei valori di H – H_{0408}>> (scala 1: 2.000)

<<Distribuzione dei valori di H – H_{0711}>> (scala 1: 2.000)

<<Distribuzione dei valori di H – H_{0515}>> (scala 1: 2.000)

Rappresentano cartograficamente gli esiti di “Hazard” derivati dalla microzonazione sismica di “livello 2” (solo H_{SM}) e dalla microzonazione sismica di “livello 3”.

Si rammenta che il valore di H rappresenta un parametro di pericolosità che esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in [g]). Per ulteriori dettagli sull’analisi di H si rimanda al paragrafo 7.5 (per gli areali con approfondimenti fino al “livello 2” e al paragrafo 8.4 (per gli areali con approfondimenti fino al “livello 3”).

10 BIBLIOGRAFIA

AA.VV. (2005) – Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations measurements, processing and interpretation. Deliverable D23.12 of the SESAME project, 62 pp, April 2005. Available at http://www.SESAME-FP5.obs.ujf-grenoble.fr.

AA.VV. (2011) – Contributi per l'aggiornamento degli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica". Supplemento alla rivista Ingegneria Sismica Anno XXVIII – n.2.

Albarello D. e Castellaro S. (2011) – Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola. In AA.VV. (2011) – Contributi per l'aggiornamento degli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica". Supplemento alla rivista Ingegneria Sismica Anno XXVIII – n.2.

Basili R., G. Valensise P. Vannoli, P. Burrato, U. Fracassi, S. Mariano, M.M. Tiberti, E. Boschi (2008) – The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology. Tectonophysics.

Boccaletti M., Bonini M., Corti G., Gasperini P., Martelli L., Piccardi L., Severi P. e Vannucci G. (2004) – Carta sismotettonica della regione Emilia-Romagna; Note illustrative. A cura di : Boccaletti M. e Martelli L., Servizio geologico sismico e dei suoli.

Castellaro S., Mulargia F. e Bianconi L. (2005) – Passive Seismic Stratigraphy: A new efficient, fast and economic technique. Geologia e tecnica ambientale, 3.

Castellaro S. e Mulargia F. (2011) – Seismic soil classification from a different perspective. Annual meeting of the Seismological Society of America, Memphis (Tennessee, USA), Apr. 13-15.

Castellaro S. (2012) – H/V: un contributo oltre Vs30. In "Tecniche speditive per la stima dell'amplificazione sismica e della dinamica degli edifici" a cura di Mucciarelli M.

Cerrina Feroni A., Martelli L., Martinelli P. & Ottria G. (2002) – Carta geologico-strutturale dell'Appennino emiliano-romagnolo in scala 1:250.000. Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, sismico e dei Suoli – CNR, Istituto di Georisorse e Geoscienze, Pisa. S.EL.CA., Firenze.

Città Metropolitana di Bologna – Tavola 4 – *Carta di area vasta delle aree suscettibili di effetti locali.*

Commissione tecnica per la microzonazione sismica (dicembre 2020) – Microzonazione sismica – Standard di rappresentazione e archiviazione informatica versione 4.2. https://www.centromicrozonazionesismica.it/it/download/category/23-standard-ms-e-cle.

DISS Working Group (2021). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.3.0: *A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas.* Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). https://doi.org/10.13127/diss3.3.0

Gruppo di lavoro MS (2008) – *Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica*. Conferenza delle Regioni e delle Province autonome – Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 vol. e Dvd. Disponibili nel sito web del Dipartimento della Protezione Civile, area "Rischio Sismico" all'indirizzo: http://www.protezionecivile.it/cms/view.php?dir_pk=395&cms_pk=15833 .

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

ISIDe Working Group (2010) – Italian Seismological Instrumental and parametric database. [Online], Available: http://iside.rm.ingv.it.

ISPRA (2009) – *Carta Geologica d'Italia, Fogli 236 e 237.* Coord. Scientifico: Regione Emilia-Romagna. ISPRA, Servizio Geologico d'Italia – Regione Emilia-Romagna, Servizio geologico, sismico e dei suoli. SystemCart, Roma.

Lanzo G. & Silvestri F. (1999) – Risposta Sismica Locale. Edizioni Hevelius

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. (2022). *Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 4.0*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). https://doi.org/10.13127/DBMI/DBMI15.4

Martelli L. (coord.), Bonini M., Calabrese L., Corti G., Ercolessi G., Molinari F. C., Piccardi L., Pondrelli S., Sani F. (2017): *Carta sismotettonica della Regione Emilia-Romagna e aree limitrofe. Con note illustrative*. Regione Emilia-Romagna, Servizio geologico, sismico e dei suoli. Con note illustrative e CD. DREAM Italia.

Martelli (2015) – *I terremoti dell'Appennino Bolognese*. La geologia. Nueter, XLI, n. 82, 387-395.

Meletti M., Valensise G (a cura di) (2004) – *Zonazione sismogenetica ZS9 – App.2 al Rapporto conclusivo*. Gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza PCM 3274/2003), Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. http://zonesismiche.mi.ingv.it/documenti/App2.pdf.

Ministero delle Infrastrutture (2008) – D.M. 14/01/2008 (G.U. n.29 del 04/02/2008 – Norme Tecniche per le Costruzioni, Roma.

Ministero delle Infrastrutture (2018) – D.M. 17/01/2018 (G.U. n.42 del 20/02/2018 – Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni.

Naso G., Martelli L., Baglione M., Bramerini F., Castenetto S., D'Intinosante V., Ercolessi G. (2019): *Maps for land management: from geology to seismic hazard*, Boll. Geof. Teor. Appl.,

Vol. 60, DOI 10.4430/bgta0263.

Pieri M. e Groppi G. (1981) - Subsurface geological structure of the Po Plain (Italy). Progetto Finalizzato Geodinamica, publ.n° 414, C.N.R., 23.

Regione Emilia Romagna – Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli – Carta Geologica in scala 1:10.000 della regione Emilia-Romagna – cartografia interattiva consultabile on line: https://applicazioni.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss

Regione Emilia Romagna - Legge Regionale n.19/2008 - "Norme per la riduzione del rischio sismico, con le modifiche apportate dalla L.R. 6 luglio 2009, n.6 "Governo e riqualificazione solidale del territorio". BURER n. 184 del 30/10/2008.

Regione Emilia Romagna - Legge Regionale n.24/2017 - "Disciplina regionale sulla tutela e l'uso del territorio"

Regione Emilia Romagna - *Delibera Regionale n.112/2007 - "Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della LR 20/2000 Disciplina generale sulla tutela del territorio, in merito a <<Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica>>".*

Regione Emilia Romagna – Delibera della Giunta Regionale n.2193/2015 - "Art. 16 della L.R. n.20 del 24/3/2000. Approvazione aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico denominato <<Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica>>, di cui alla deliberazione dell'Assemblea Legislativa 2 maggio 2007, n. 112".

Regione Emilia Romagna – Delibera della Giunta Regionale n. 630/2019 - "Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale ed urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n.24/2017". BURER. n. 143 del 6 maggio 2019 parte seconda.

Regione Emilia Romagna – Delibera della Giunta Regionale n. 476/2021 (e DGR integrativa n.564/2021)- Aggiornamento dell'"Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale ed urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n.24/2017". Di cui alla Deliberazione della Giunta Regionale 29 aprile 2019 n.630. BURERT n. 137 del 12/5/2021 (parte seconda) e BURERT n. 111 del 20/04/2021.

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P., Antonucci A. (2022). *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 4.0*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.4