



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



Regione Emilia-Romagna



CONFERENZA DELLE REGIONI E
DELLE PROVINCE AUTONOME

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

MICROZONAZIONE SISMICA

Livello 2

Relazione illustrativa

Regione Emilia-Romagna

Comune di Monzuno



Regione	Soggetto realizzatore	Data
EMILIA-ROMAGNA	Raggruppamento temporaneo di professionisti Capogruppo: dott. geol. Samuel Sangiorgi Mandanti: dott. geol. Raffaele Brunaldi, dott. geol. Maurizio Zamboni, dott. geol. Antonio Milioto, ing. Marco Soglia	Luglio 2020

INDICE GENERALE

1	INTRODUZIONE.....	3
1.1	Contenuti dello studio.....	3
1.2	Riferimenti normativi.....	4
1.3	Gli elaborati a corredo dello studio.....	5
2	DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO.....	7
2.1	Riferimenti bibliografici.....	7
2.2	Sismicità storica.....	8
2.3	Sorgenti sismogeniche e mappa pericolosità sismica INGV.....	8
2.4	Ulteriori elementi di pericolosità sismica di riferimento per la pianificazione territoriale: gli indirizzi regionali per gli studi di microzonazione sismica.....	9
3	ASSETTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO DELL'AREA.....	12
3.1	Inquadramento geologico regionale.....	12
3.2	Ulteriori dati geologici e morfo-strutturali in aree con evidenze di attività tettonica recente.....	15
3.3	Stratigrafia.....	17
3.3.1	<i>Unità Liguridi</i>	19
3.3.2	<i>Successione Epiligure</i>	19
3.3.3	<i>Dominio Padano-Adriatico</i>	21
3.4	Depositi continentali quaternari.....	21
4	DATI GEOTECNICI E GEOFISICI.....	25
4.1	Dati pregressi.....	25
4.2	Le indagini eseguite per la microzonazione sismica.....	25
5	MODELLO DEL SOTTOSUOLO.....	27
5.1	Brento - La Vallazza.....	27
5.2	Vado - Valla.....	28
5.3	Ca' del Cucco.....	30
5.4	Tre Fasci.....	31
5.5	Monzuno - Madonnina delle campagne.....	32
5.6	Cozzo di Sotto.....	34

5.7 Le Braine.....	35
5.8 Rioveglio – Canova – Polverara – Molino Cattani.....	36
5.9 San Rocco.....	38
5.10 Montorio.....	39
5.11 Gabbiano.....	40
5.12 Trasasso – Serra di Trasasso.....	41
5.13 Valle.....	42
5.14 Nasce.....	43
6 INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE.....	45
7 METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI.....	46
7.1 Cenni introduttivi.....	46
7.2 I fattori di amplificazione considerati per lo studio di MS.....	46
7.3 I fattori di amplificazione considerati per lo studio di MS.....	48
7.4 Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali: calcolo dei fattori di amplificazione.....	49
7.5 Zone di attenzione per instabilità: calcolo dei fattori di amplificazione.....	51
7.6 Effetti della topografia: calcolo dei fattori di amplificazione.....	52
7.7 Elaborazione dei valori di H_{SM}	54
8 ELABORATI CARTOGRAFICI.....	55
8.1 Carta delle Indagini (Tavola 1).....	55
8.2 Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica (Tavola 2).....	55
8.3 Carta delle frequenze naturali dei terreni (Tavola 3).....	56
8.4 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica MOPS (Tavola 4).....	57
8.5 Carta delle velocità delle onde di taglio S (Tavola 5).....	59
8.6 Carta di microzonazione sismica livello 2 (Tavole 6–7–8–9–10–11).....	59
8.7 Carta della distribuzione dei valori di H_{SM}	60
9 BIBLIOGRAFIA.....	61

1 INTRODUZIONE

1.1 Contenuti dello studio

L'Unione dei Comuni dell'Appennino Bolognese è risultata destinataria di contributi stanziati dal Dipartimento della Protezione Civile nazionale per la realizzazione di studi comunali di microzonazione sismica (livello 2) e di analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (CLE), come previsto dalla Legge 77/2009 e ai sensi dell'Ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 344/2016, recepita dalla Regione Emilia-Romagna con Deliberazione della Giunta Regionale n. 2188/2016. Per i Comuni di Grizzana Morandi, Monzuno e San Benedetto Val di Sambro, gli studi sono stati affidati al 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).

Sono state dunque espletate le seguenti attività:

- raccolta dati geognostici e geofisici disponibili ed esecuzione di nuove indagini;
- elaborazione dello studio di microzonazione sismica (MS) di livello 1 e di livello 2 per il territorio urbanizzato/urbanizzabile;
- elaborazione delle analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (CLE);
- archiviazione dei dati e adeguamento delle cartografie secondo gli standard di rappresentazione e archiviazione previsti per la MS e la CLE.

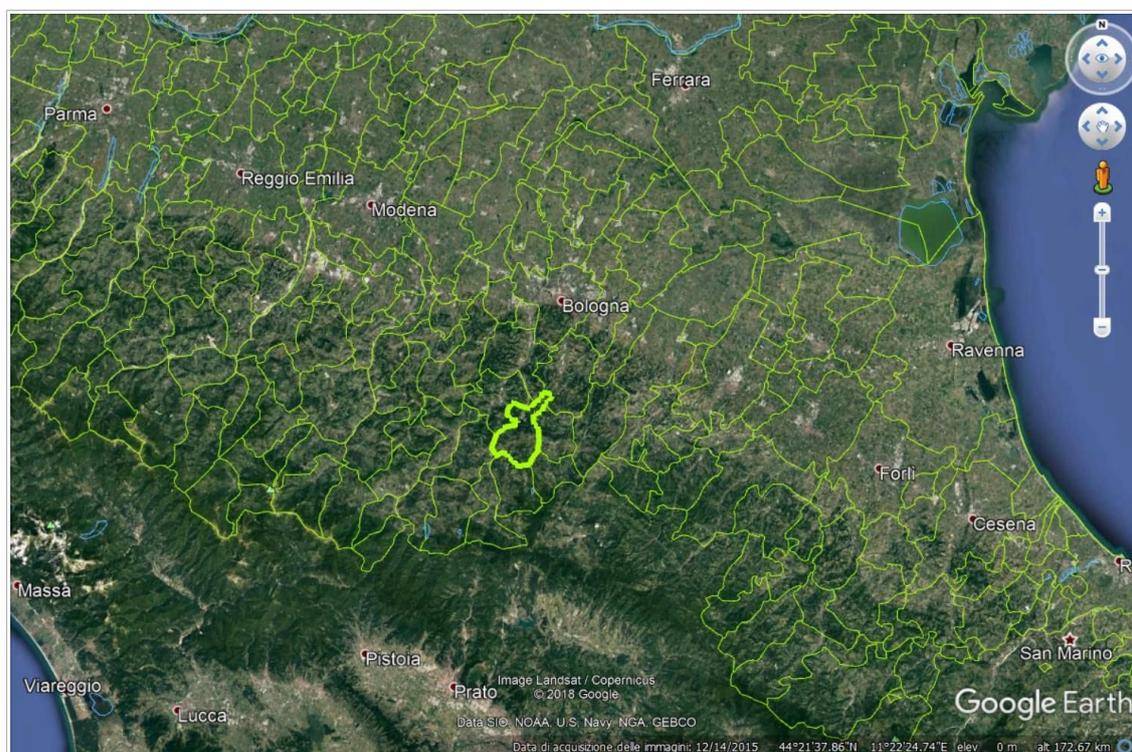
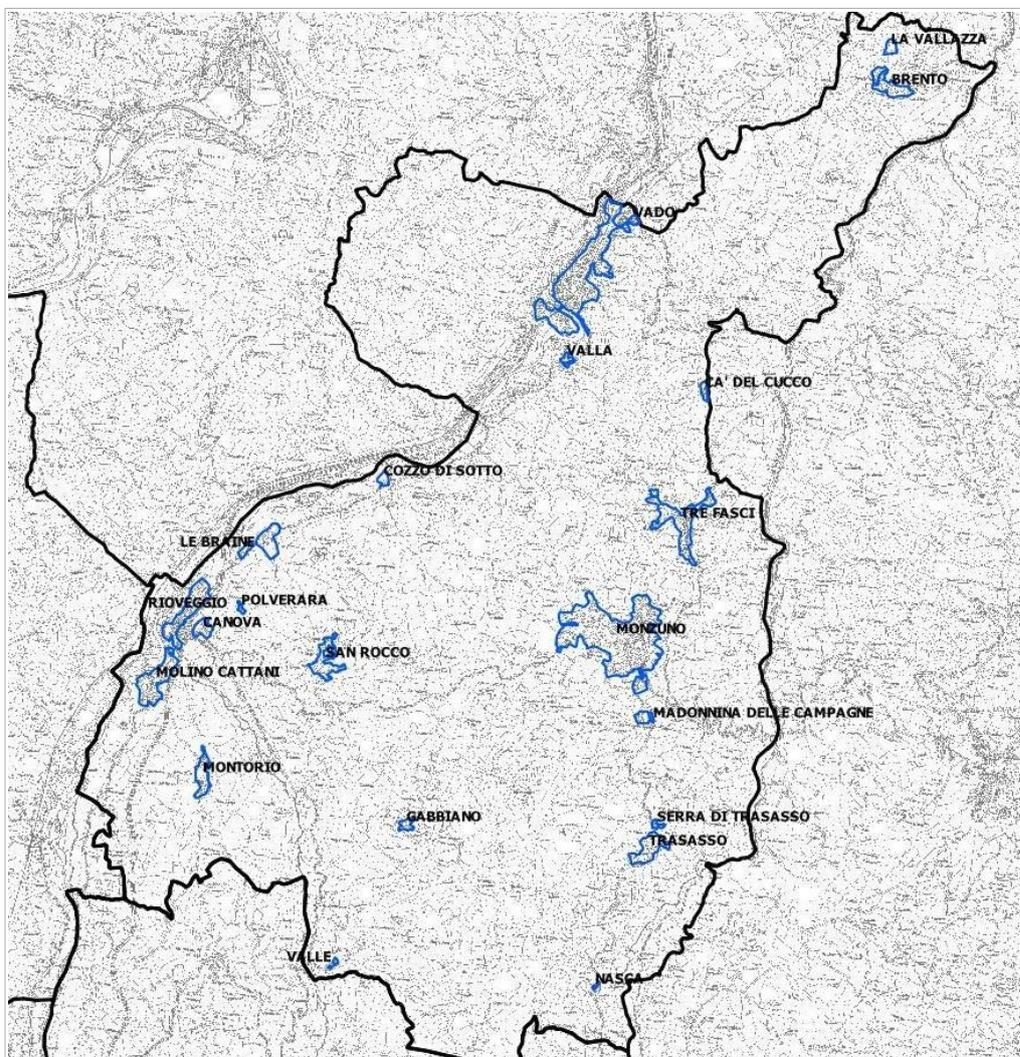


Figura 1.1 – Localizzazione del territorio amministrativo del Comune di Monzuno (foto aerea: “Google Earth”)

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 65,02 Km² e con una popolazione di circa 6386 abitanti (dato ISTAT 31/12/2019).

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 -
Localizzazione delle
aree urbanizzate
oggetto di
microzonazione (su
base topografica
della Regione
Emilia-Romagna -
CTR 1:10.000)*

1.2 Riferimenti normativi

Il presente lavoro è redatto sulla base delle indicazioni contenute nell'Allegato C della Delibera [2188/2016 della Giunta della Regione dell'Emilia-Romagna](#), dal titolo "Approvazione dei criteri, delle linee guida e delle indicazioni tecniche e procedurali per la presentazione dei progetti e l'attribuzione dei contributi per la realizzazione di interventi di riduzione del rischio sismico in edifici pubblici strategici e rilevanti, in edifici privati e per studi di microzonazione sismica".

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 4.0", redatto dalla Commissione tecnica per la microzonazione sismica

(Commissione tecnica per la microzonazione sismica, novembre 2018), da qui in avanti "Standard MS 4.0";

- ✓ "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 "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, L.R. n. 24/2017)";
- ✓ LR 30/10/2008 n.19 "Norme per la riduzione del Rischio Sismico";
- ✓ LR 21/12/2017 n.24 "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 geologiche di riferimento per il territorio studiato (riprodotte in formato *.pdf), contenute nell'Allegato 1;
- i rapporti delle indagini di nuova esecuzione (riprodotti in formato *.pdf), contenuti nell'Allegato 2;
- le sezioni topografiche pubblicate per la stima degli effetti topografici per il territorio studiato (riprodotte in formato *.pdf), contenute nell'Allegato 3.

Elaborato cartografico	Sigla Tavola	Scala
Carta delle indagini	Tavola 1	1:10.000
Carta geologico-tecnica	Tavola 2a/b	1:5.000
Carta delle frequenze naturali dei terreni	Tavola 3	1:10.000
Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)	Tavola 4a/b	1:5.000
Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)	Tavola 5	1:10.000
Carta di microzonazione sismica di livello 2 - FA _{PGA}	Tavola 6a/b	1:5.000

Carta di microzonazione sismica di livello 2 – FA _{SI1}	Tavola 7a/b	1:5.000
Carta di microzonazione sismica di livello 2 – FA _{SI2}	Tavola 8a/b	1:5.000
Carta di microzonazione sismica di livello 2 – FA _{SI3}	Tavola 9a/b	1:5.000
Carta di microzonazione sismica di livello 2 – FA _{SI1}	Tavola 10a/b	1:5.000
Carta di microzonazione sismica di livello 2 – FA _{SI2}	Tavola 11a/b	1:5.000
Carta della distribuzione dei valori di H _{SM}	Tavola 12	1:15.000

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 2188/2016 della Regione Emilia-Romagna. Tali specifiche rimandano sostanzialmente alle linee guida emanate dal Dipartimento della Protezione Civile con gli Standard MS v.4.0 (CTMS, 2018), che dettagliano ogni aspetto legato a tali studi. Sono inoltre coerenti con la successiva DGR 630/2019. 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 (DBT scala 1.5.000), aggiornati al 2013. 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 dagli 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 2015* (Rovida et al., 2016; <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 1000–2014
- il *DBMI15 - 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 1000–2014 (Locati et al., 2016 <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI15/>) e la sua precedente versione DBMI04 (Stucchi et al., 2007);
- il *CFT15Med - 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 3.2.1* (DISS Working Group, 2018), 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., 2016), 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.

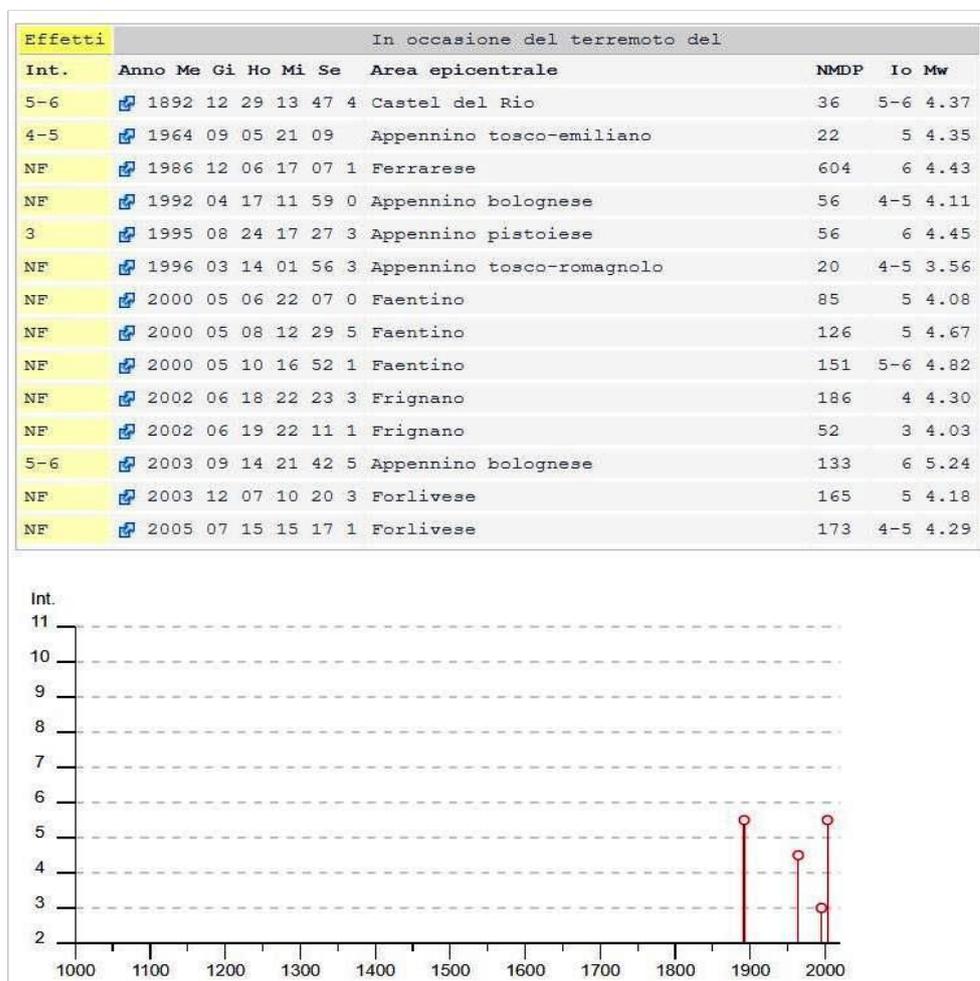


Figura 2.1- Terremoti significativi per Monzuno e macrointensità stimata (fonte: INGV - Database Macrosismico Italiano 2015)

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. 3.2. evidenzia come una prevalente parte del territorio comunale di Monzuno risulti incluso nell'ampia zona sismogenica composta definita con la sigla "ITCS027: Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga" (figura 2.2), che comprende una lunga fascia di territorio esteso fino all'Appennino Marchigiano. Questa zona è caratterizzata da sismicità legata a meccanismi tettonici di compressione nella catena appenninica con terremoti caratterizzati da profondità ipocentrali generalmente comprese tra 12 km e 22 km. La magnitudo massima stimata di questa zona è pari a $M_w = 6,2$ desunta dall'analisi dei terremoti storici più significativi associati a questa ampia zona, tuttavia con epicentri piuttosto lontani dall'area studiata (Fabriano, 1741, Cagli, 1781, Camerino, 1799, Sarnano, 1873). Nel territorio di Monzuno non sono note sorgenti sismogeniche individuali, tuttavia è distante circa 7÷8 km dalla sorgente "ITIS058 "Loiano", recentemente definita in seguito all'evento sismico del settembre 2003 ($M_w = 5,3$).

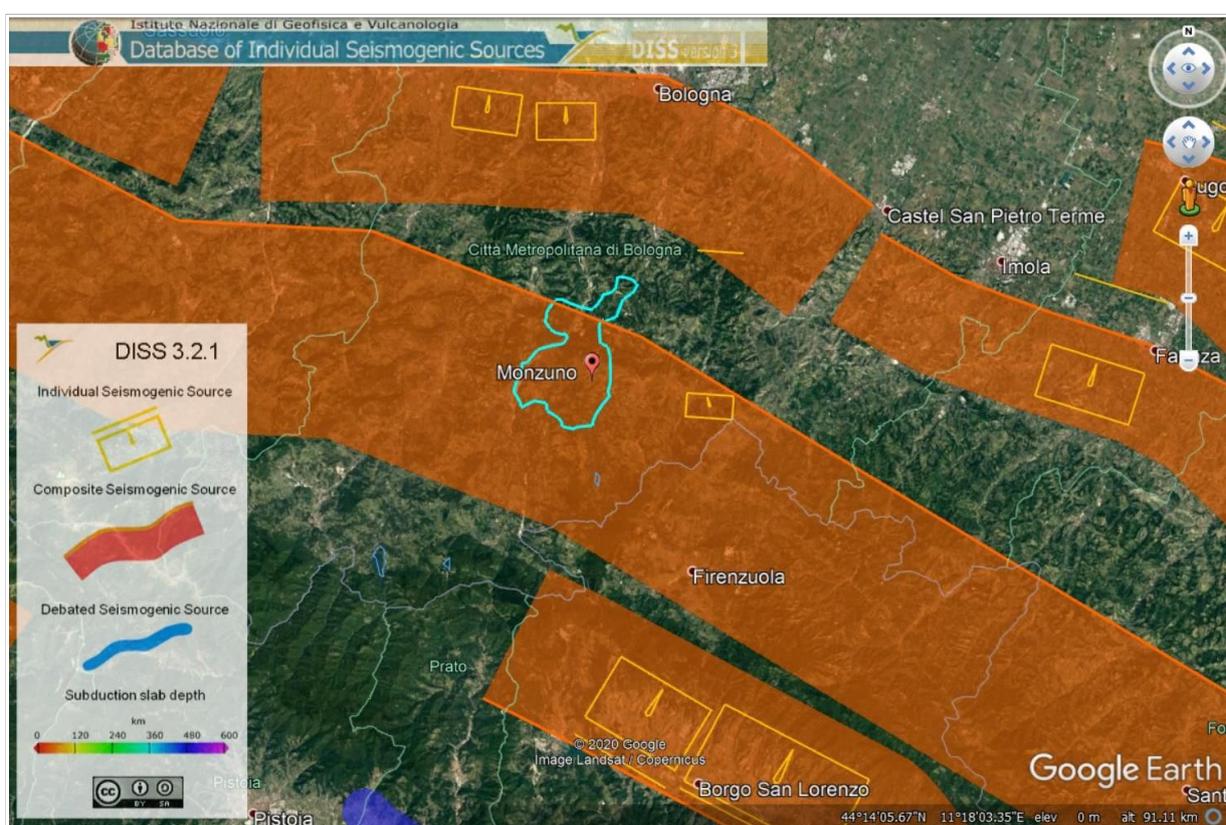


Figura 2.2 – Localizzazione delle sorgenti sismogenetiche contenute nel database DISS (v.3.2.1). Foto aerea: Google Earth

2.4 Ulteriori elementi di pericolosità sismica di riferimento per la pianificazione territoriale: 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 elaborati 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 più recenti DGR 2193/2015 e DGR 630/2019, la Regione Emilia-Romagna ha introdotto ulteriori aggiornamenti agli indirizzi riportati nella DAL 114/2007. Questa parziale revisione prende quale 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”);
- ✓ nella definizione di ulteriori parametri di amplificazione riferiti all'intensità spettrale di Housner (per l'intervallo di periodo T 0,5–1,5 s) e riferiti all'intensità spettrale in accelerazione (per i seguenti intervalli di periodo: 0,1–0,5 s, 0,4–0,8 s, 0,7–1,1 s, 0,5–1,5 s)
- ✓ 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)

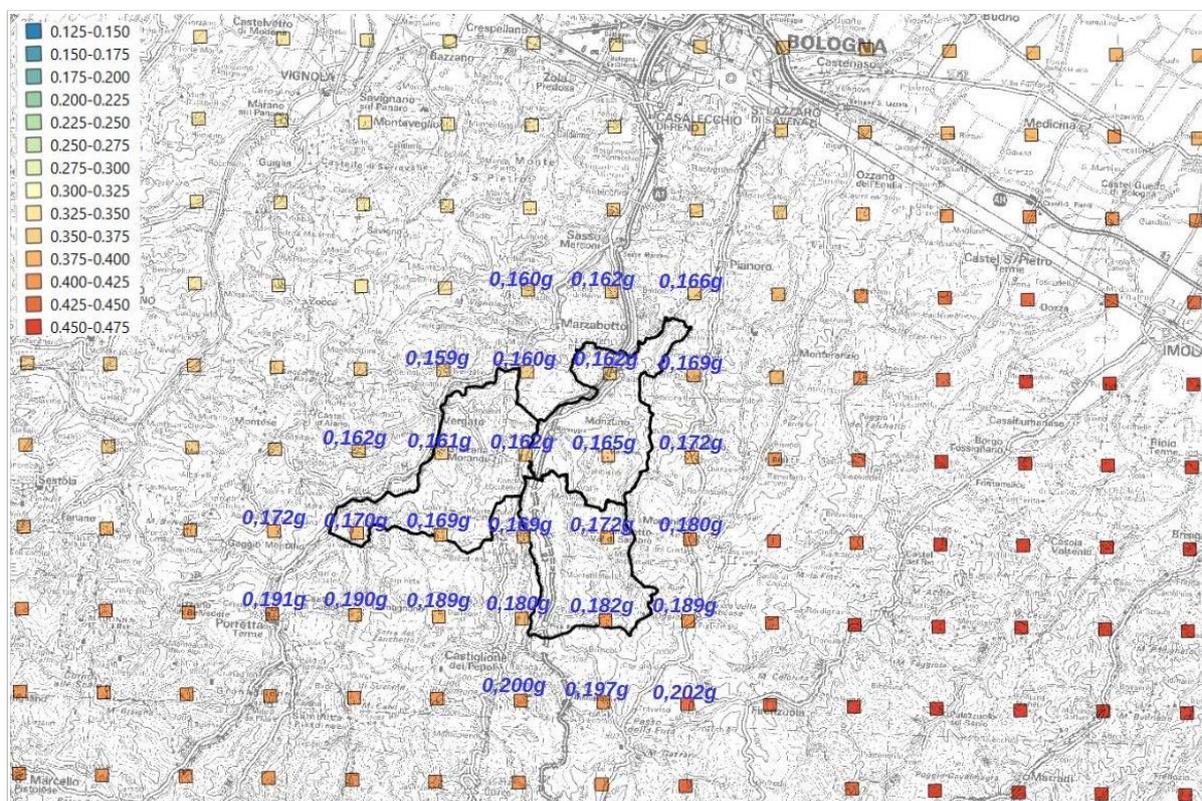


Figura 2.3 – Reticolo INGV di pericolosità sismica. La figura riporta i punti della griglia relativi al territorio comunale di Grizzana Morandi, Monzuno e San Benedetto Val di Sambro

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 a_g al sito di riferimento ($a_{g_{ref}}$), 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.

3 ASSETTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO DELL'AREA

3.1 Inquadramento geologico regionale¹

L'assetto geologico strutturale generale del territorio di Grizzana Morandi, Monzuno e San Benedetto Val di Sambro, 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, 1960; Reuter & Groscurth, 1978), 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 paleoceanico ligure o ligure-piemontese, precedentemente interposto tra di esse (Abbate et alii, 1970).

La catena deriva pertanto dalla deformazione di differenti domini paleogeografici mesozoici: 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 depositi 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 depositi 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 giustappponendo 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

¹ Sintesi estratta dalle “Note Illustrative” della Carta Geologica d'Italia scala 1:50.000 (fogli 237 e 252)

all'attuale. Le varie fasi di questa evoluzione sono solitamente raggruppate in cicli principali:

- 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 toscano-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 appilamento 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.

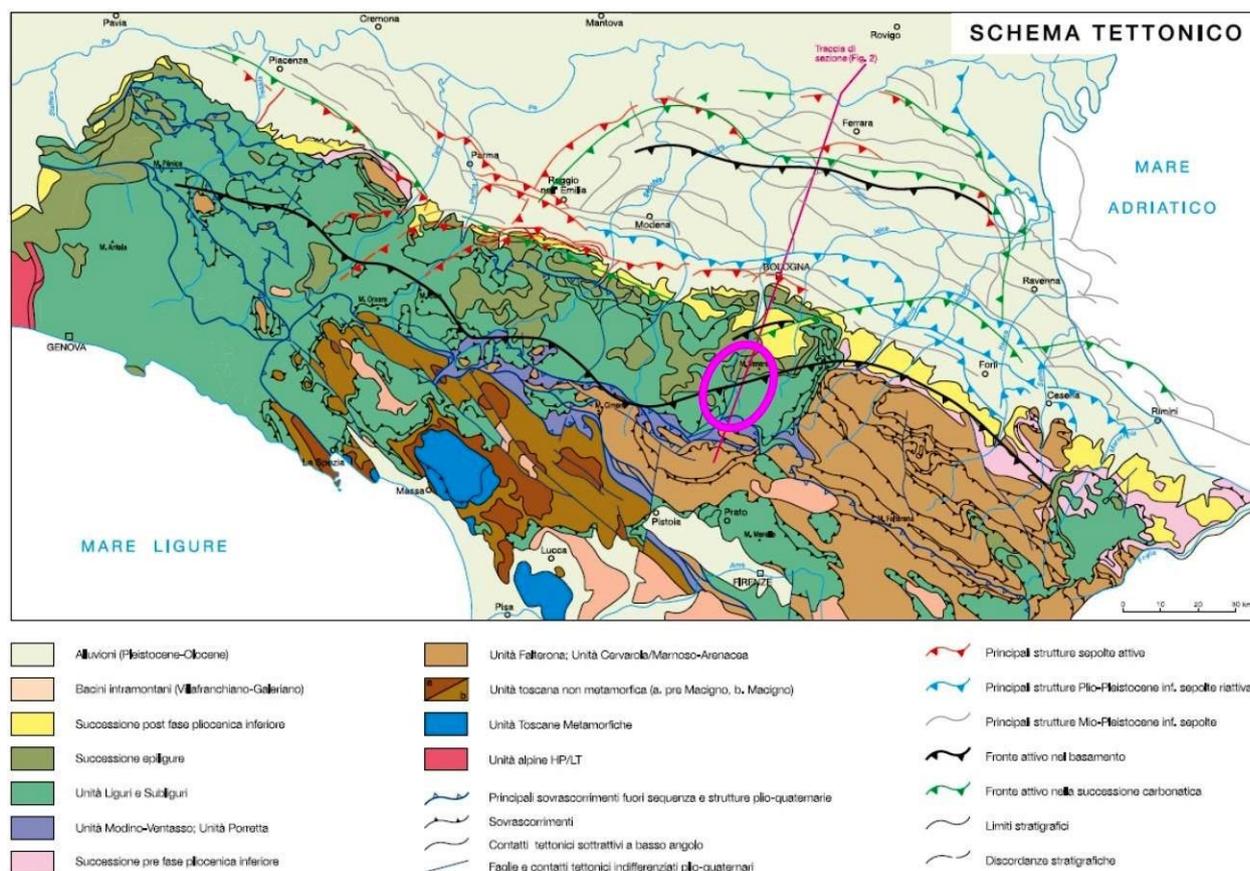
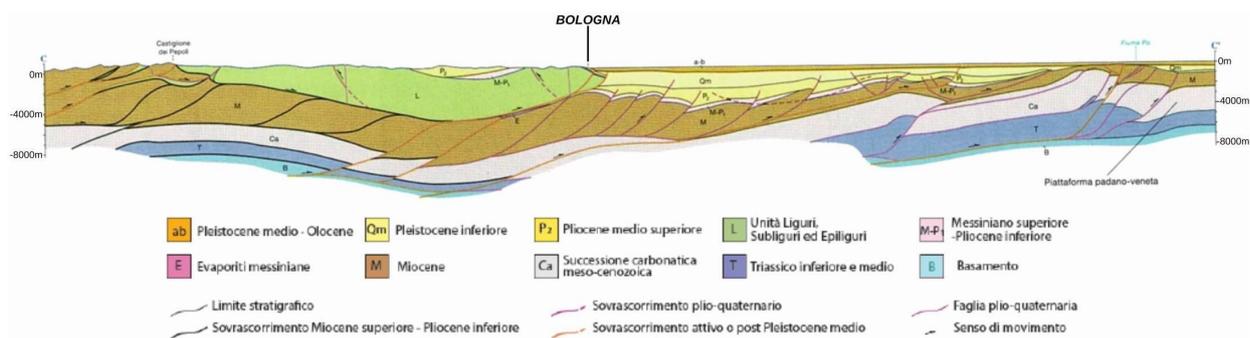


Figura 3.1 – Schema geologico e tettonico del territorio emiliano-romagnolo, tratto dalle “Note Illustrative alla Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna” (ed. 2004). Il territorio studiato è localizzato nel cerchiato fucsia

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.

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).

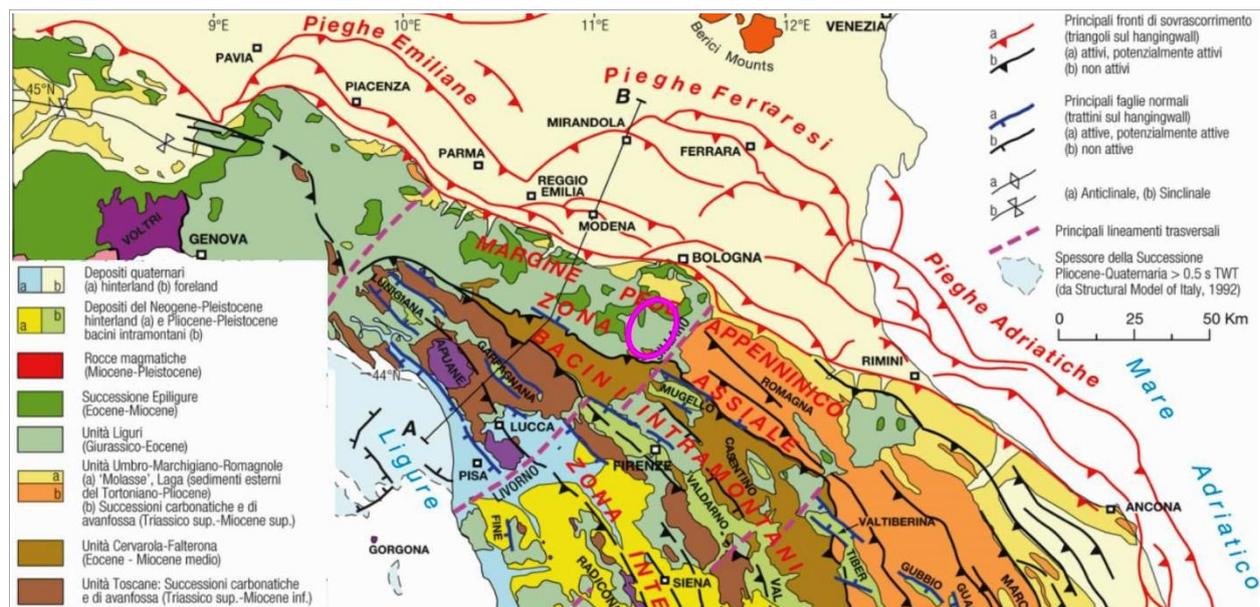


Figura 3.2 – Schema tettonico emiliano-romagnolo tratto dalle “Note Illustrative alla Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna a aree limitrofe” (ed. 2016). Il Territorio studiato è localizzato nel cerchietto fucsia

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 ai 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 strutture 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.

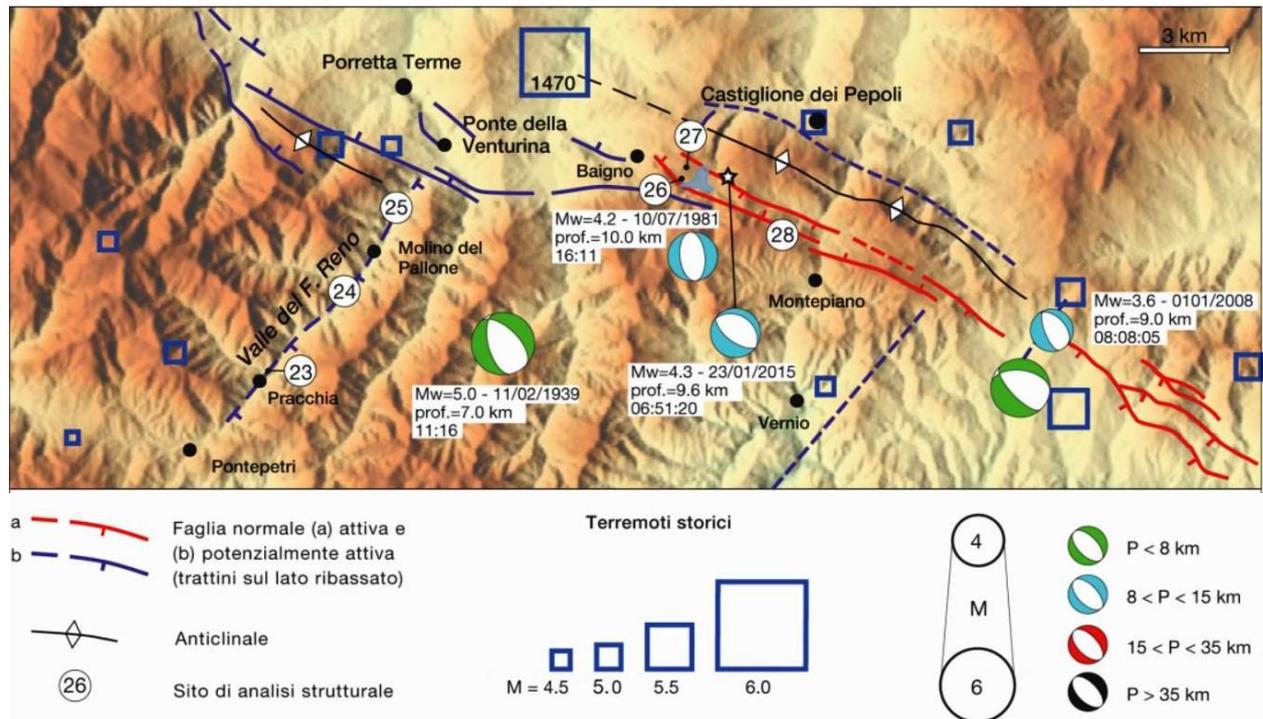


Figura 3.3 – Mappa schematica dell'area di crinale appenninico tra Valle del Reno e Castiglione dei Pepoli (da: Note Illustrative Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna e aree limitrofe – ed. 2016)

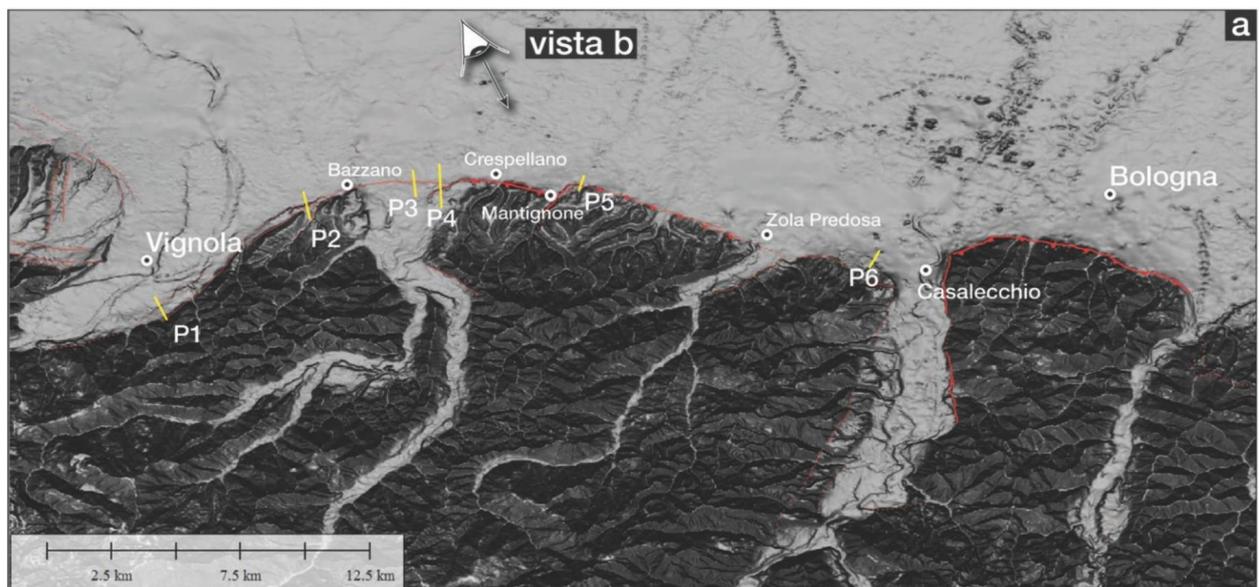


Figura 3.4 – Elaborazione DEM del fronte affiorante del margine appenninico tra Vignola e Bologna (da: Note Illustrative Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna e aree limitrofe – ed. 2016)

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 morfologico 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

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).

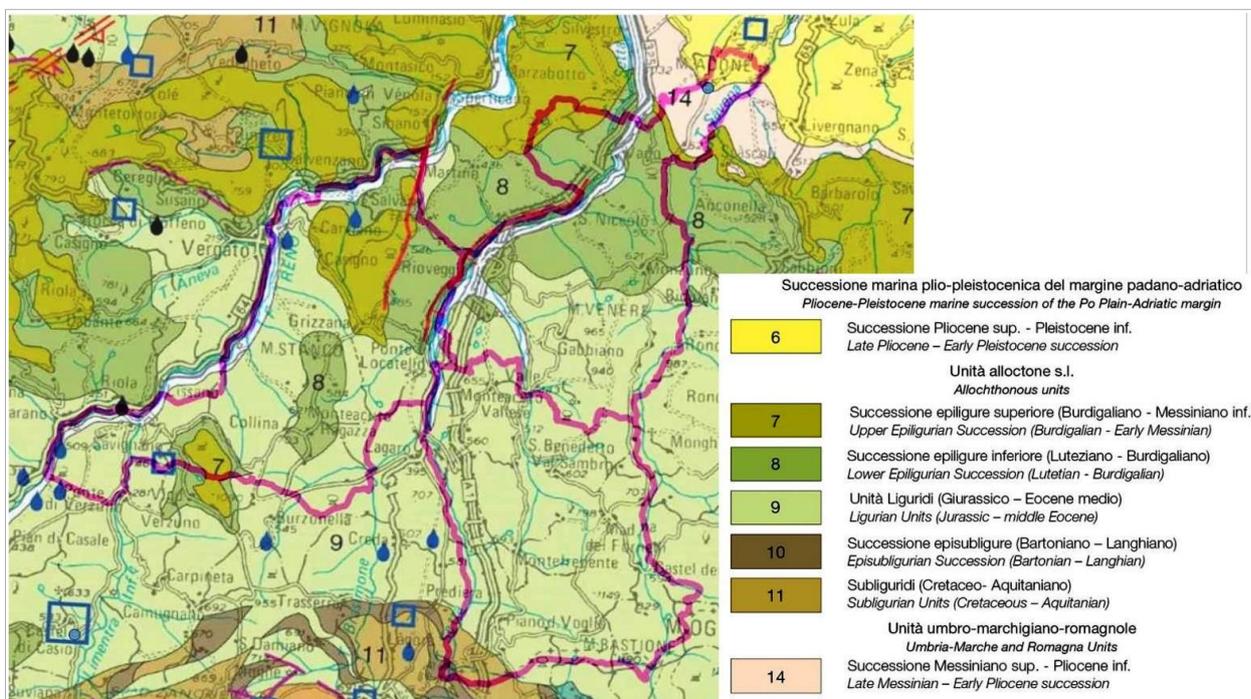


Figura 3.5 - Stralcio della Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna e aree limitrofe (ed. 2016) e della sua legenda (unità geologiche affioranti nel territorio comunale di Grizzana Morandi, Monzuno e San Benedetto Val di Sambro)

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.

I depositi del dominio Padano–Adriatico, limitati al settore NE del territorio comunale, 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.

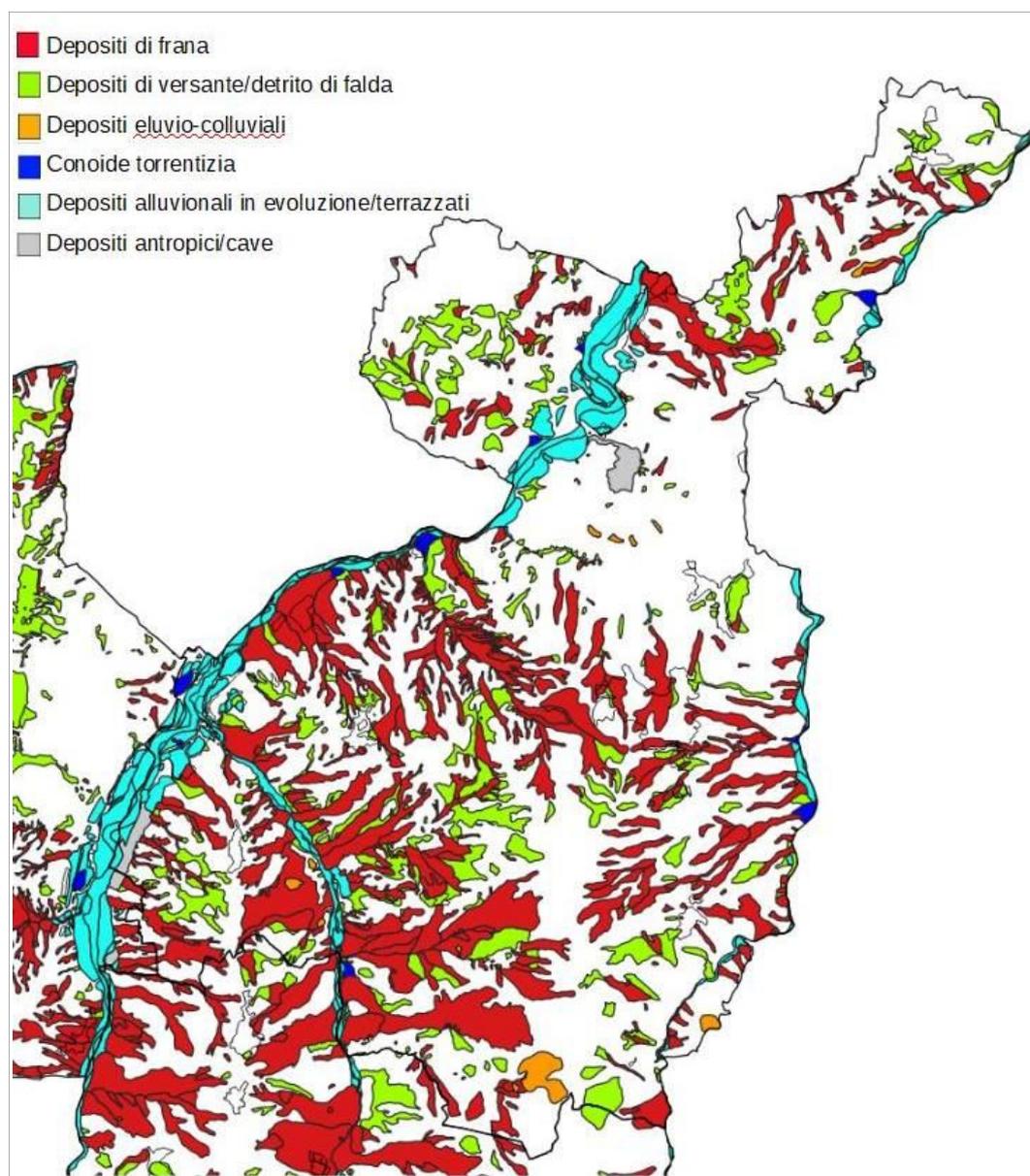


Figura 3.6 –
Depositi
continentali
quaternari nel
territorio
comunale di
Monzuno
(fonte dati
vettoriali: SGSS
Regione
Emilia–
Romagna)

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

3.3.1 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 arcossica 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 fessicci; 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

3.3.2 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 arcossiche, 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 oca. 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?

3.3.3 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.?

3.4 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 trasversali 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 trasversali 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 subsistema 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 subsistema 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 Subsistema 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

La fase iniziale di lavoro 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)

4.2 Le indagini eseguite per la microzonazione sismica

Le prove integrative eseguite per questo studio sono state localizzate 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 (V_s) 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 (V_s) 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 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 questo studio.

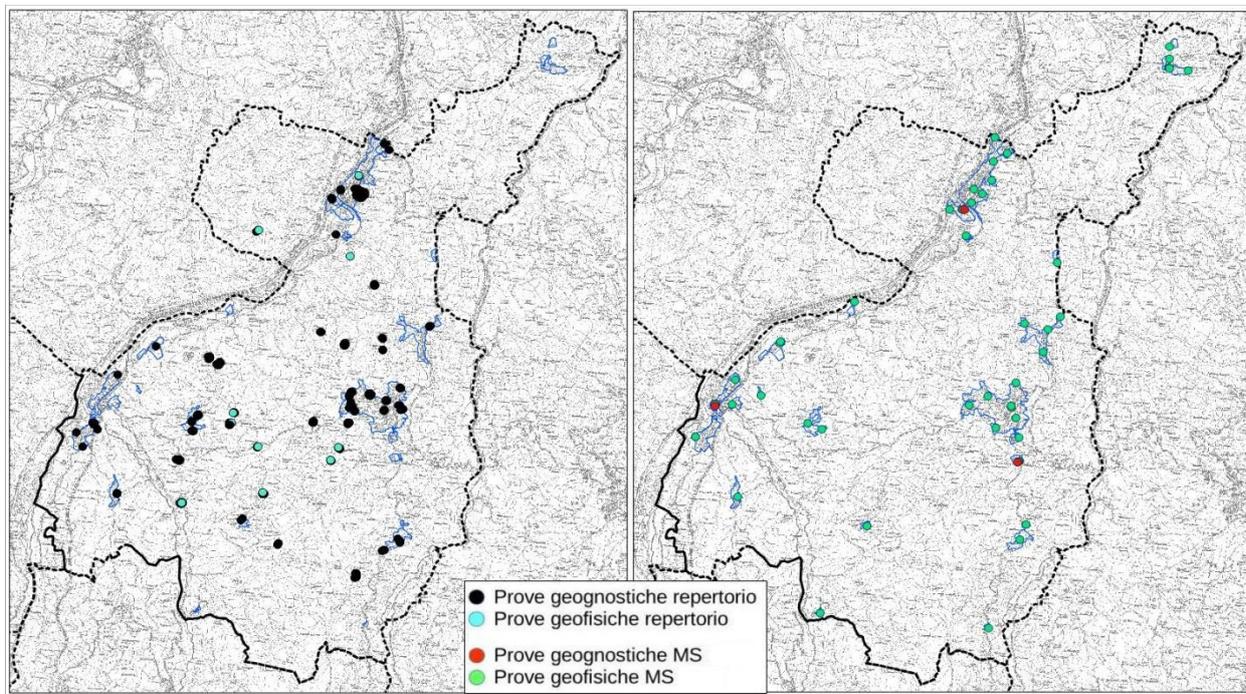


Figura 4.1 - Localizzazione delle indagini di repertorio (a sx) e delle indagini integrative (a dx) eseguite per questo studio

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 alluvionali di fondovalle; ecc.).

Nei seguenti paragrafi vengono descritti gli elementi ritenuti essenziali ai fini della caratterizzazione sismica delle aree studiate.

5.1 Brento - La Vallazza

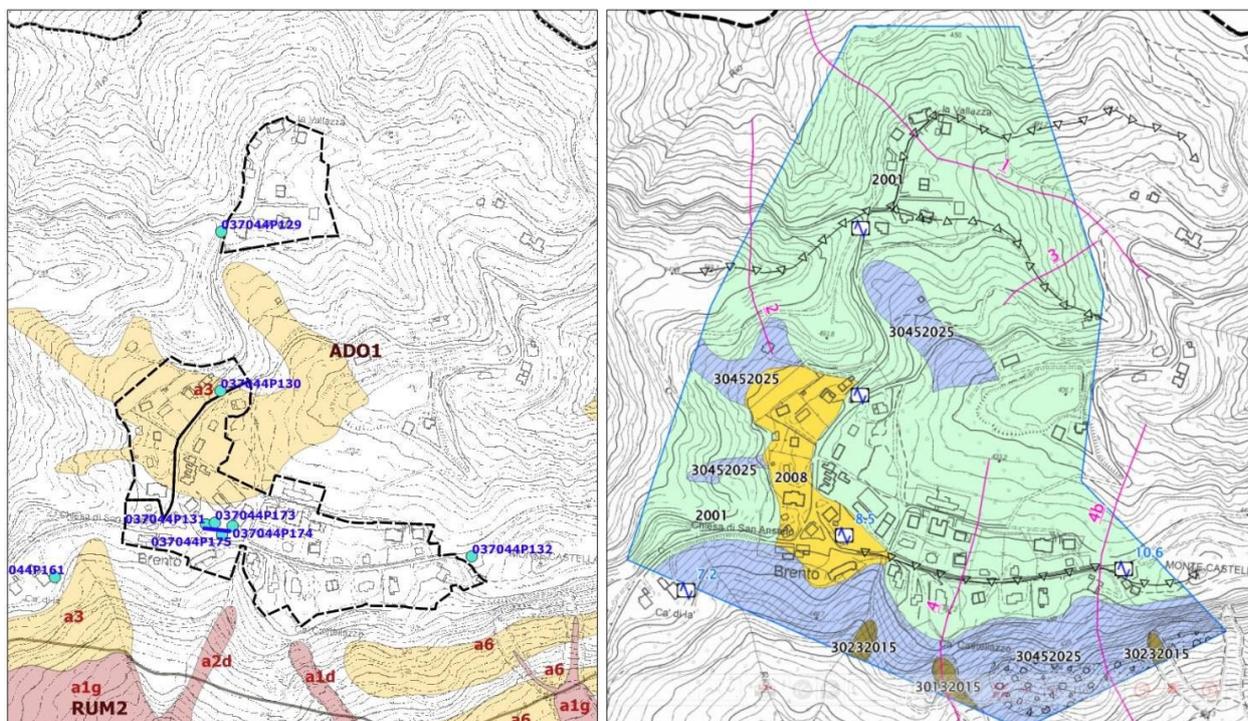


Figura 5.1 - A sx: substrato geologico, coperture quaternarie e discontinuità tettoniche rilevate. Si riportano le prove geognostiche/geofisiche di riferimento. A dx: delimitazione delle zone MOPS

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 $>40^\circ$), con rilevati detriti di falda, depositi di versante e frane per colamento/scivolamento (figura 5.1).

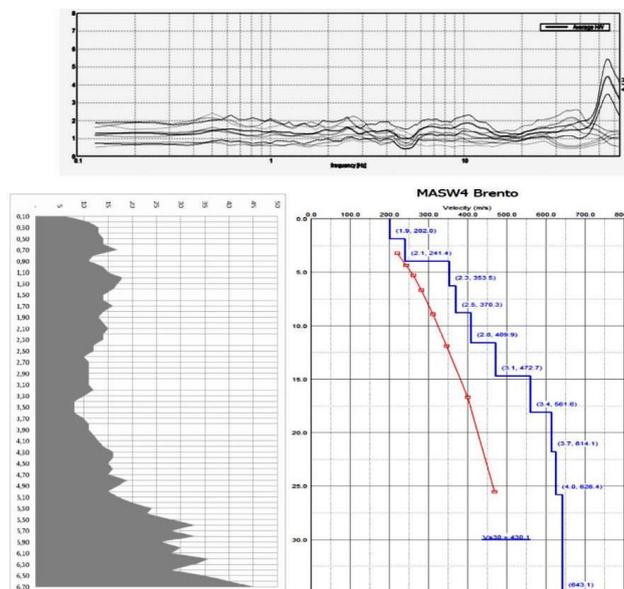


Figura 5.2 – In alto: registrazioni HVSR a La Vallazza e Bresso (P129; P130; P132) nella zona MOPS 2001. In basso penetrometria dinamica (P174) e MASW (L5) eseguite a Bresso nella MOPS 2008

Le indagini effettuate e disponibili (penetrometrie dinamiche; HVSR; MASW) evidenziano uamplificazioni 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.

5.2 Vado – Valla

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 (scivolamento/colamento) (figura 5.3).

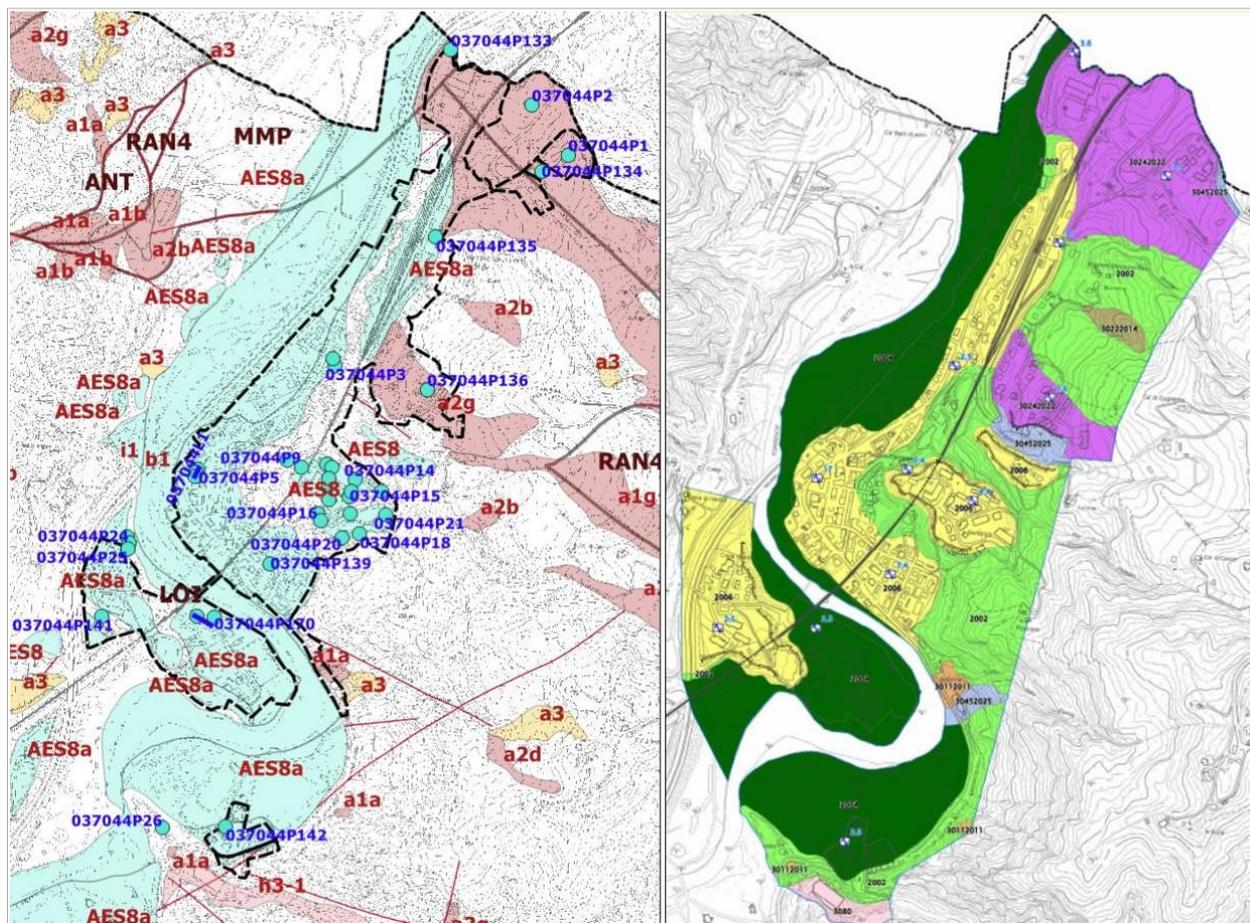


Figura 5.3 - A sx: substrato geologico, coperture quaternarie e discontinuità tettoniche rilevate. Si riportano le prove geognostiche/geofisiche di riferimento. A dx: delimitazione delle zone MOPS

In particolare, le indagini disponibili (sondaggi; penetrometrie; HVSr) per il settore di versante più settentrionale (accumulo di frana complessa) evidenziano coperture fino a 10÷12 metri di profondità tuttavia si riscontra substrato molto alterato (anche sabbie sciolte) fino a circa 20 metri e con amplificazioni H/V elevate a medie frequenze (figura 5.4).

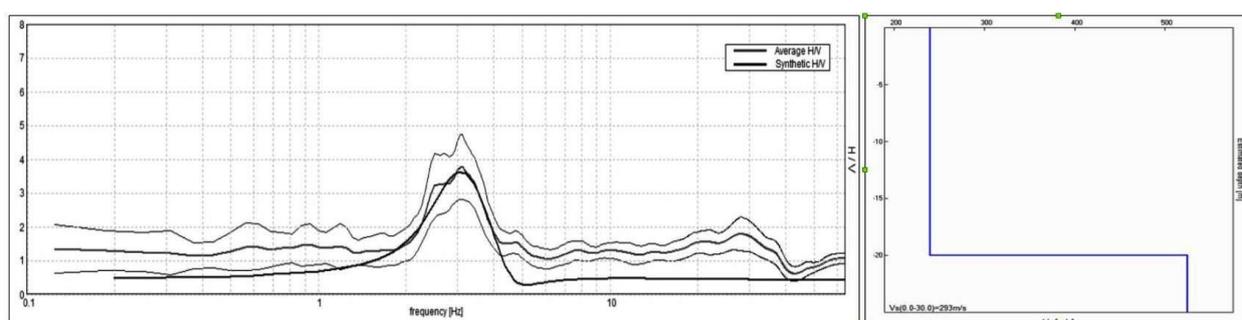


Figura 5.4 - Registrazione P134HVSr e modello sismostratigrafico elaborato per il settore di versante più settentrionale di Vado (accumulo di frana complessa)

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 5.5), mentre nel terrazzo più recente del Setta AES8a le coperture risultano modeste, fino a circa 3 metri (figura 5.6). 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 5.5 – Penetrometrie effettuate nel terrazzo alluvionale AES8 a Vado (MOPS 2006)

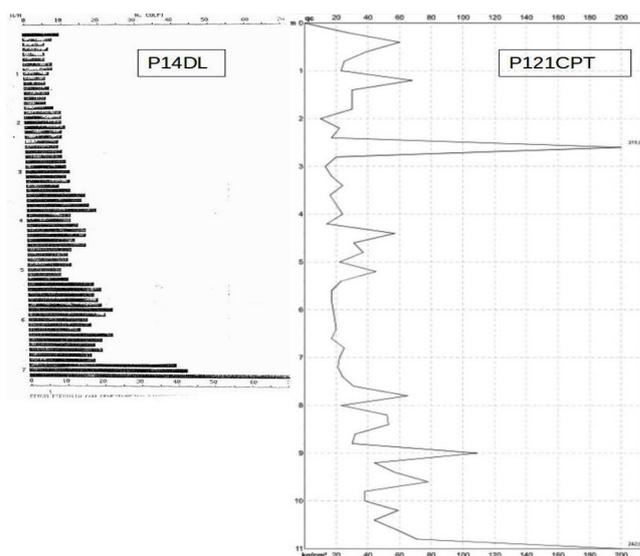
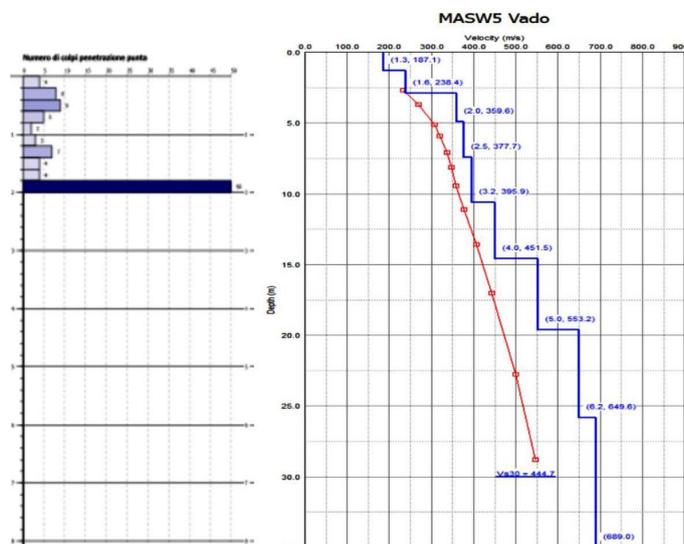


Figura 5.6 – Penetrometria e MASW (L6) effettuata nel terrazzo alluvionale AES8a a Vado (MOPS 2004)



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 5.7). La registrazione HVSR disponibile evidenzia una traccia spettrale relativamente piatta (basse amplificazioni H/V a frequenza di 2,3 Hz) come riportato in figura 5.8. Sono tuttavia calcolate amplificazioni morfologiche fino a 1,3.

Figura 5.7 - 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

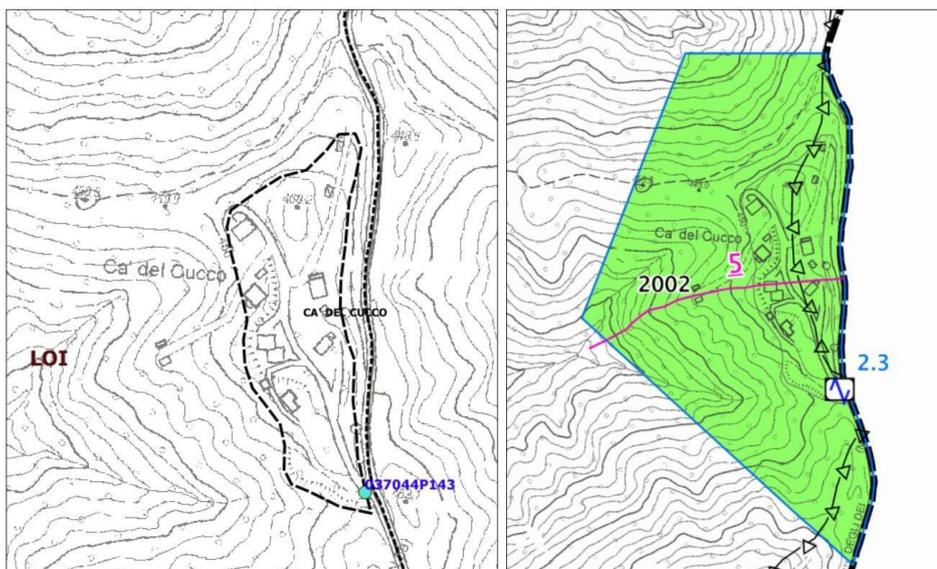
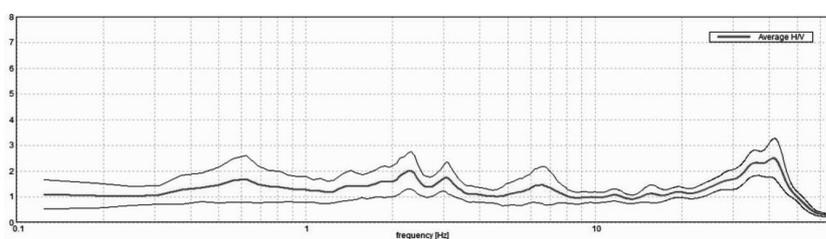


Figura 5.8 - Registrazione P143HVSR eseguita presso Ca' del Cucco



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 5.9) e versanti con acclività variabili fino a circa 30°. La stratificazione risulta NE vergente.

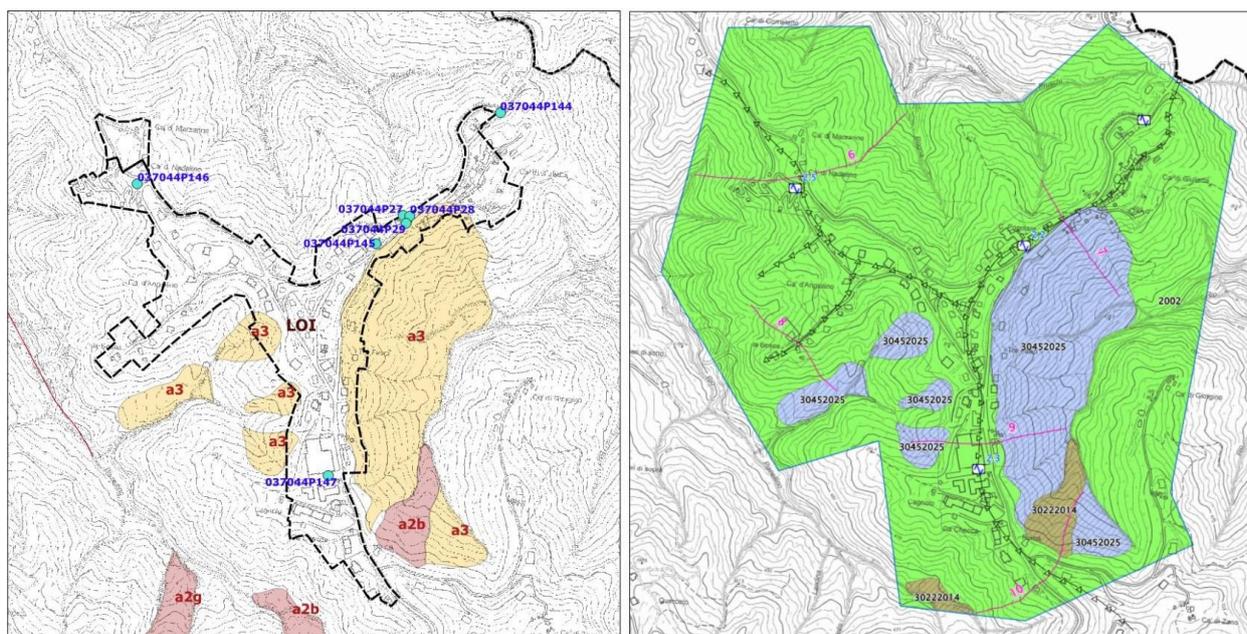


Figura 5.9 - A sx: substrato geologico, coperture quaternarie e discontinuità tettoniche rilevate. Si riportano le prove geognostiche/geofisiche di riferimento. A dx: delimitazione delle zone MOPS

Le indagini disponibili (DPSH; CPT; HVSR) evidenziano nell'abitato substrato sub affiorante “non rigido” (con V_{s30} approssimabile a circa 500 m/s), con coperture >3 metri (figura 5.10). 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 superficie che presumibilmente hanno interessato la coltre più alterata superficiale del bedrock.

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

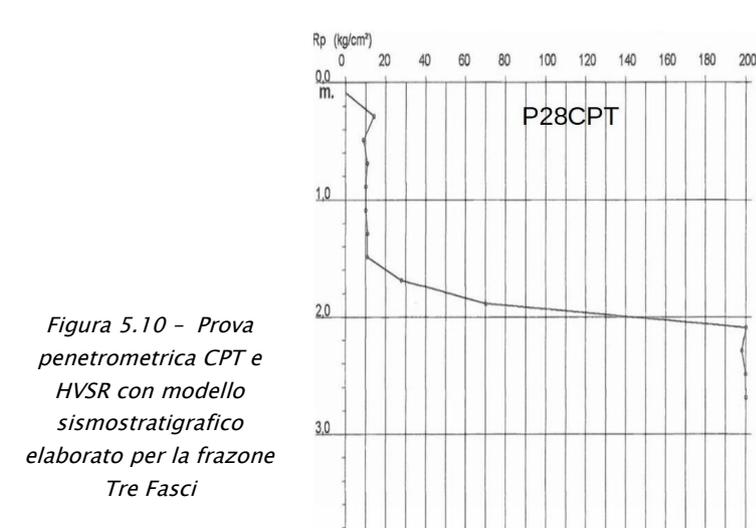
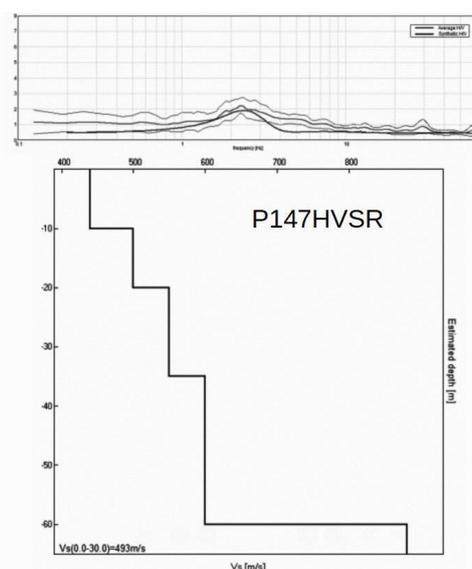


Figura 5.10 - Prova penetrometrica CPT e HVSR con modello sismostratigrafico elaborato per la frazione Tre Fasci



5.5 Monzuno – Madonna delle campagne

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 5.11). I rilievi più a sud dell'areale studiato e in particolare il toponimo “Madonna delle Campagne” sono invece caratterizzati da substrato costituito da alternanze di strati arenacei e strati pelitici (Formazione di Monte Venere – MOV).

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 5.12). 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.

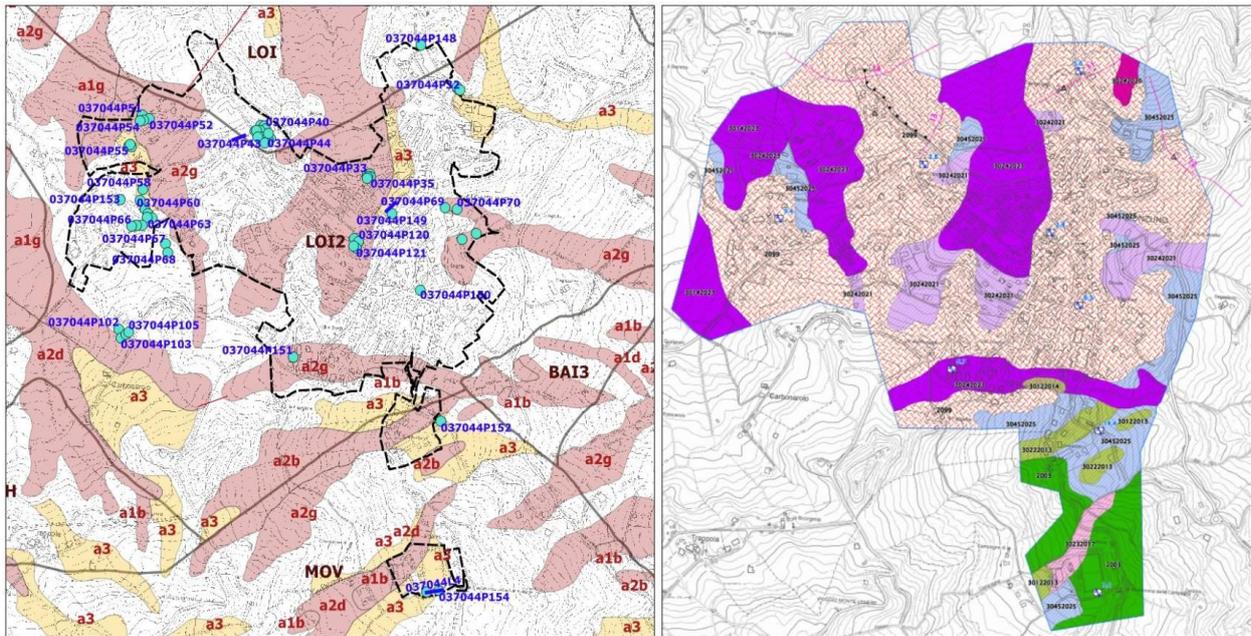


Figura 5.11 – A sx: substrato geologico, coperture quaternarie e discontinuità tettoniche rilevate. Si riportano le prove geognostiche/geofisiche di riferimento. A dx: delimitazione delle zone MOPS

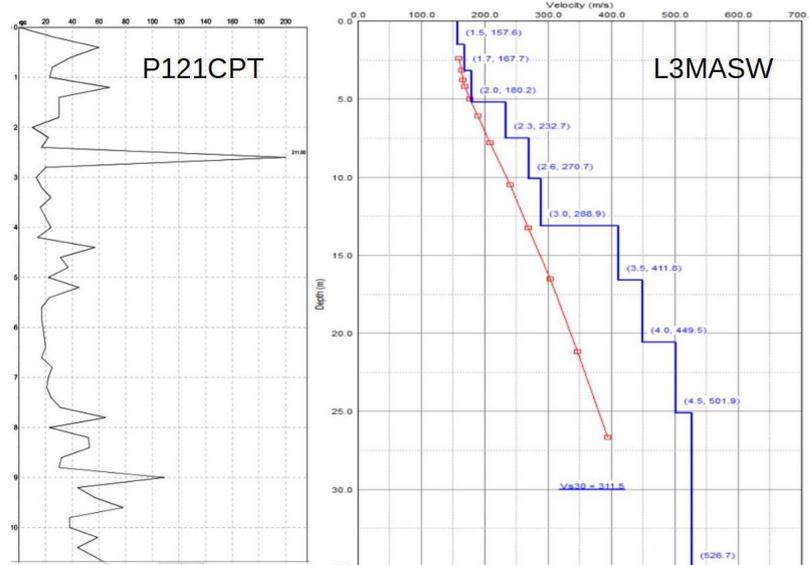


Figura 5.12 – Prova penetrometrica CPT e MASW eseguite presso Monzuno

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 5.13).

Anche presso il toponimo “Madonnina delle Campagne” le indagini geognostiche/geofisiche (DPSH; MASW) evidenziano substrato MOS subaffiorante “non rigido” con V_{s30} pari a circa 400 m/s (figura 5.14).

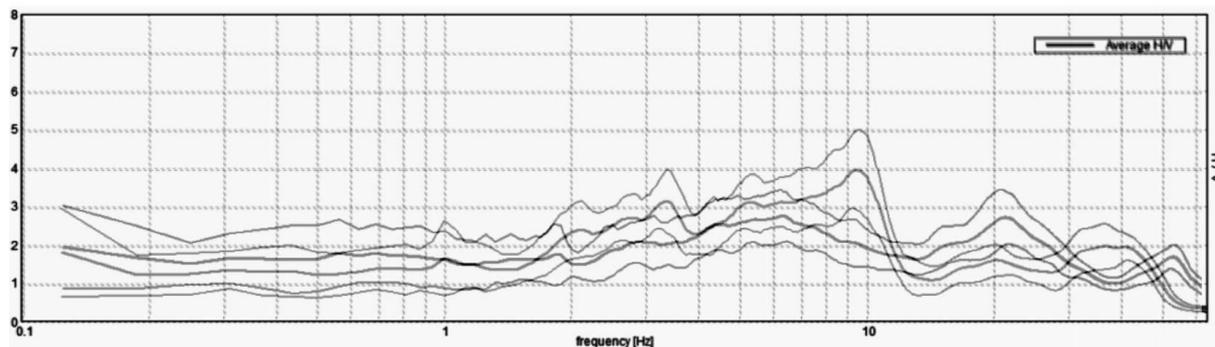


Figura 5.13 – Sovrapposizioni di registrazioni HVSR (P150 e P153) eseguite presso Monzuno

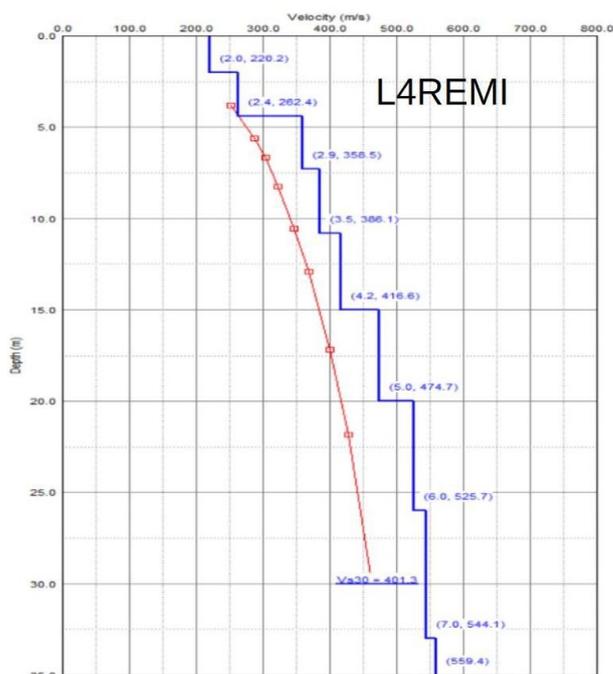
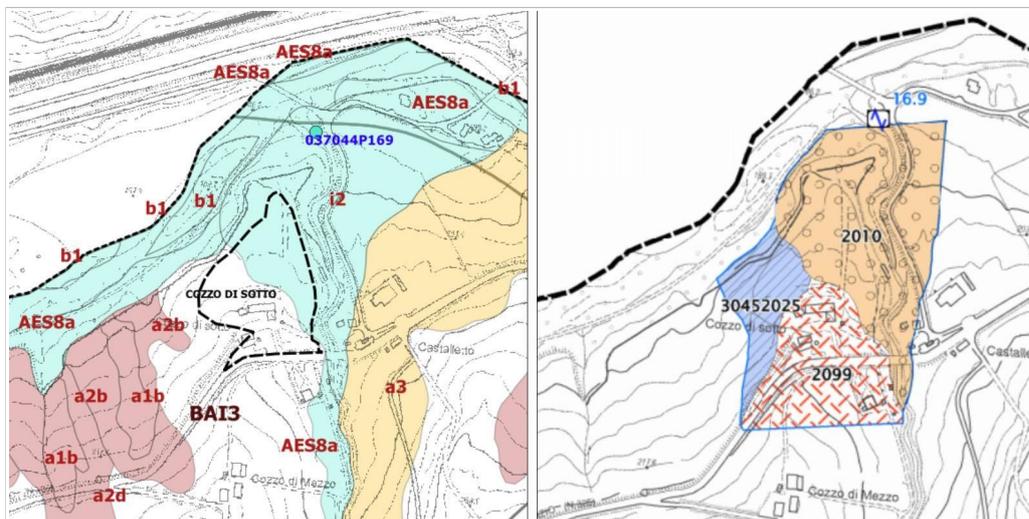


Figura 5.14 – Stendimento MASW eseguito presso Madonna delle Campagne

5.6 Cozzo di Sotto

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.

Figura 5.15 – 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 che caratterizza il pendio e il fondovalle è localmente costituito da breccie argillose di Baiso (Membro di Poggio Cavaliera - BAI3), che risultano tettonicamente molto alterate (figura 5.15).

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 V_{s30} approssimabile a 350 m/s (figura 5.16).

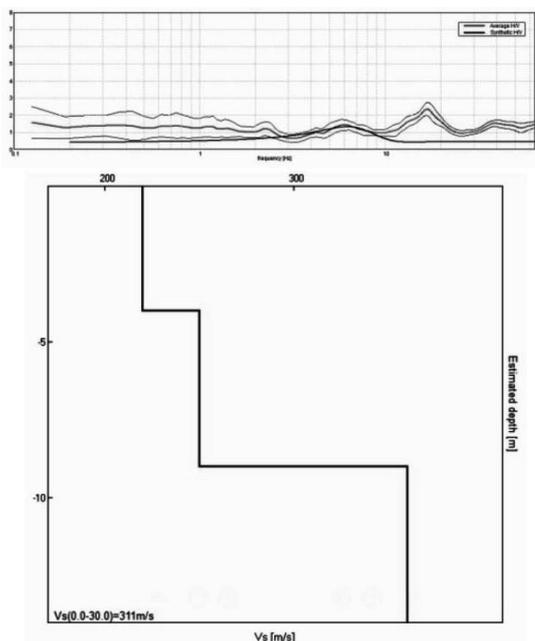


Figura 5.16 - Registrazione P169HVSr eseguita presso Cozzo di Sotto e relativo modello sismostratigrafico

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 breccie argillose di Baiso (Membro di Poggio Cavaliera - BAI3), che risultano tettonicamente molto alterate (figura 5.17). 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).

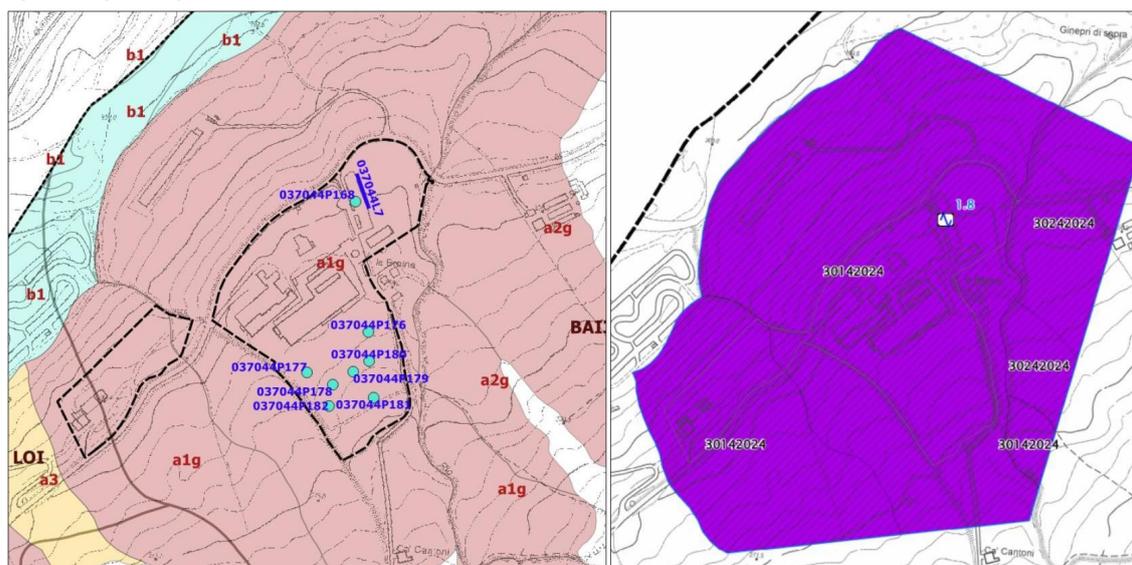


Figura 5.17 - A sx: substrato geologico, coperture quaternarie e discontinuità tettoniche rilevate. Si riportano le prove geognostiche/ geofisiche di riferimento. A dx: delimitazione delle zone MOPS

Le indagini geognostiche/geofisiche disponibili evidenziano spessori di coperture “soffici” (depositi di frana e/o bedrock molto alterato) fino a circa 30 metri (figura 5.18).

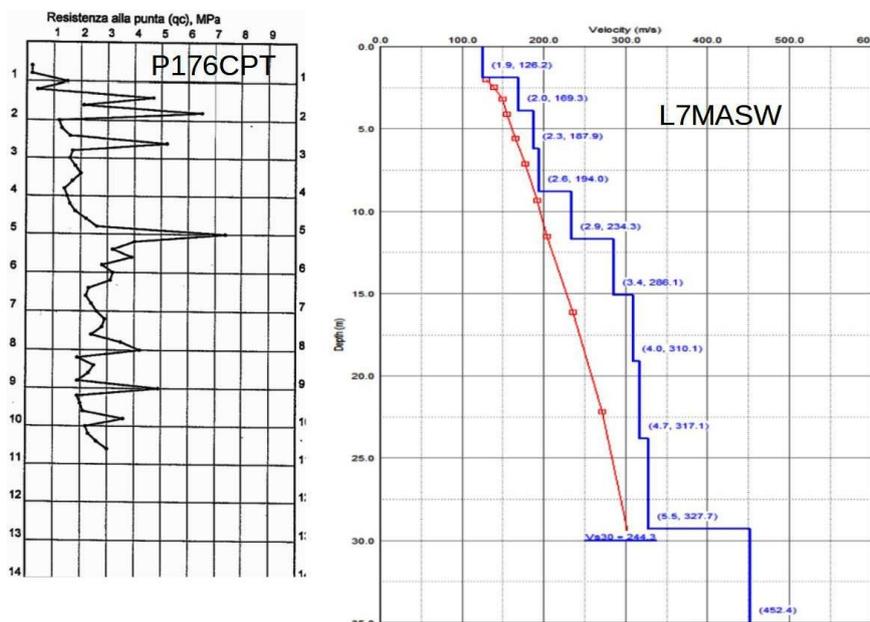


Figura 5.18 - Penetrometria CPT e MASW eseguite presso Le Braine

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 5.19).

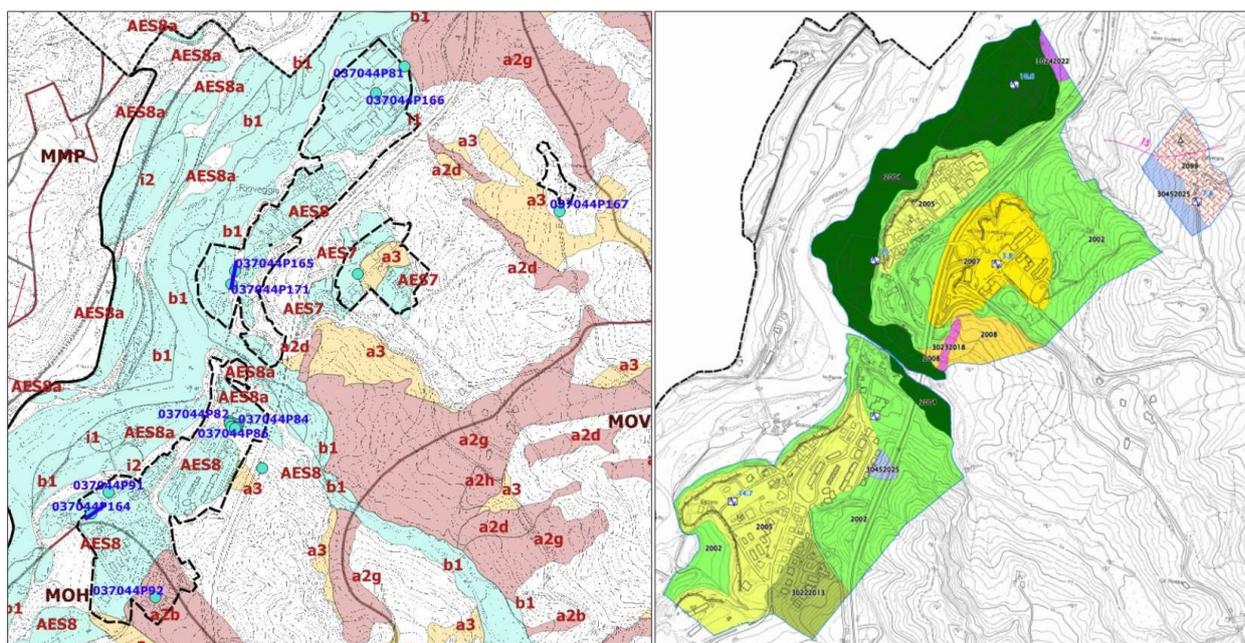


Figura 5.19 - A sx: substrato geologico, coperture quaternarie e discontinuità tettoniche rilevate. Si riportano le prove geognostiche/geofisiche di riferimento. A dx: delimitazione delle zone MOPS

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 5.20). Le registrazioni HVSr effettuate su tali areali evidenziano moderati picchi spettrali H/V ad alte frequenze (comprese tra 10,6÷15 Hz).

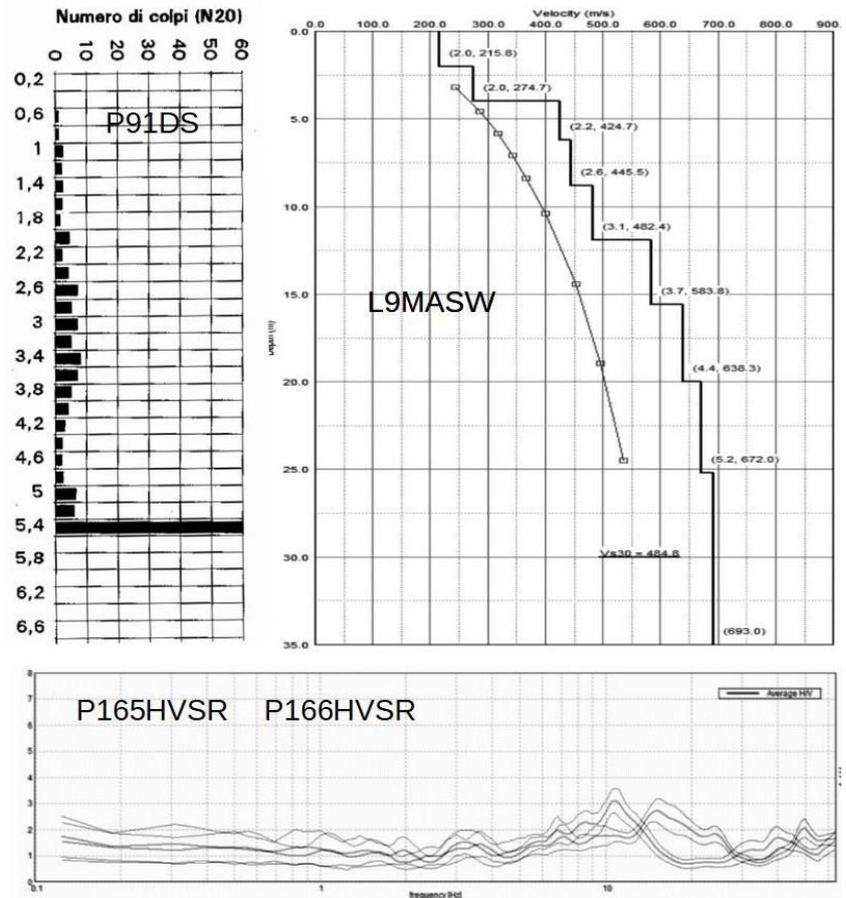


Figura 5.20 – Indagini geognostiche/geofisiche eseguite nel fondovalle abitato di Rioveggio e Molino Cattani

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 5.21).

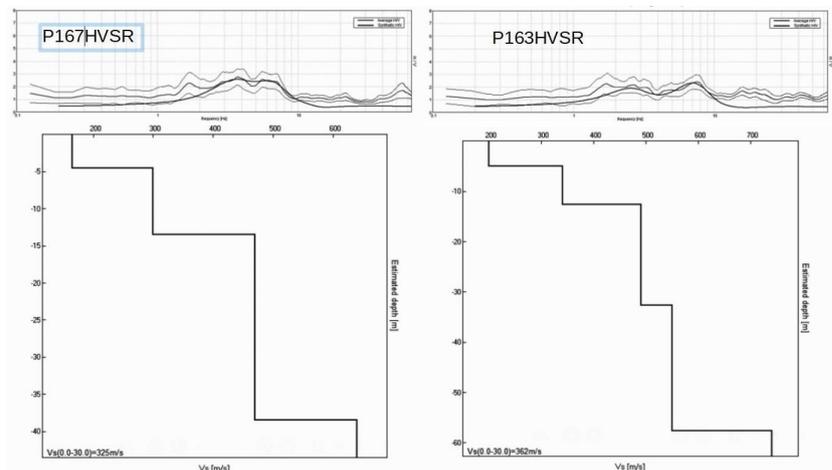


Figura 5.21- Registros HVSr eseguite presso “Canova” (a sx) e presso “Polverara” (a dx) e relativi modelli sismostratigrafici elaborati

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 5.22).

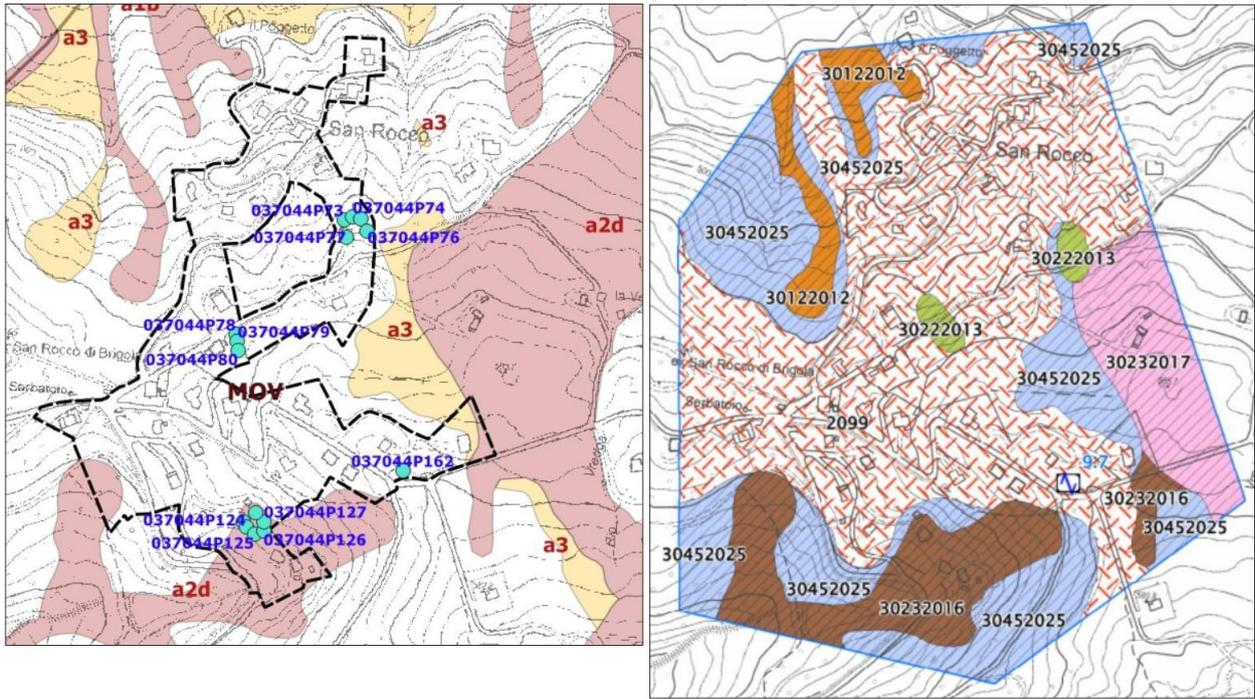


Figura 5.22 - A sx: substrato geologico, coperture quaternarie e discontinuità tettoniche rilevate. Si riportano le prove geognostiche/geofisiche di riferimento. A dx: delimitazione delle zone MOPS

Le indagini disponibili nell'abitato e in particolare le penetrometrie CPT e DPSH 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).

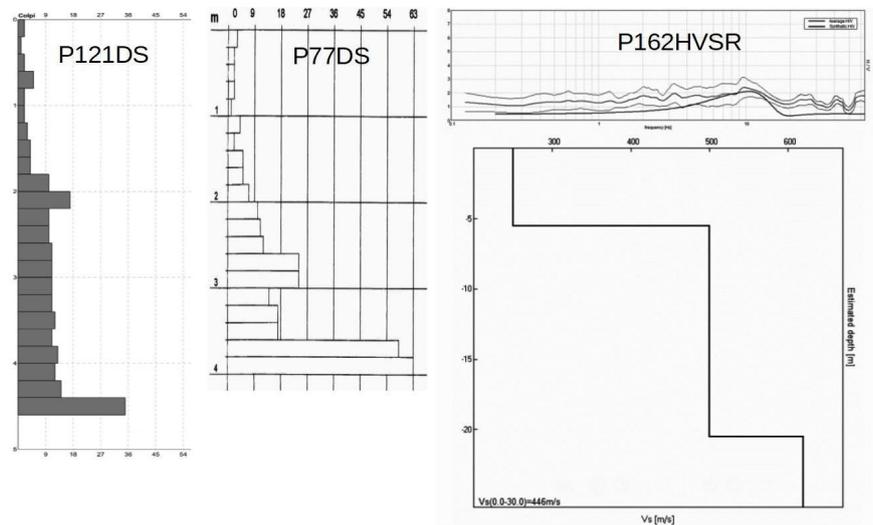


Figura 5.23- Penetrometrie dinamiche e registrazione HVSR eseguite presso San Rocco, con relativo modello sismostratigrafico elaborato

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 5.24).

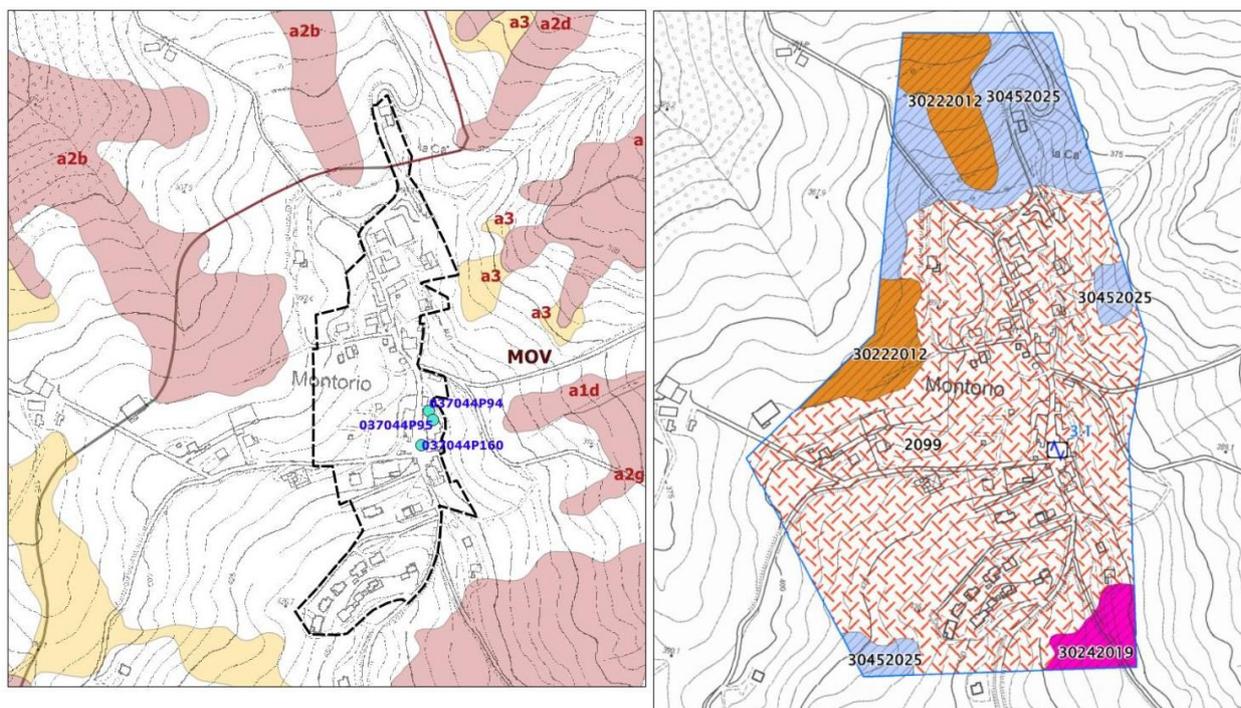


Figura 5.24 - A sx: substrato geologico, coperture quaternarie e discontinuità tettoniche rilevate. Si riportano le prove geognostiche/geofisiche di riferimento. A dx: delimitazione delle zone MOPS

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 5.25).

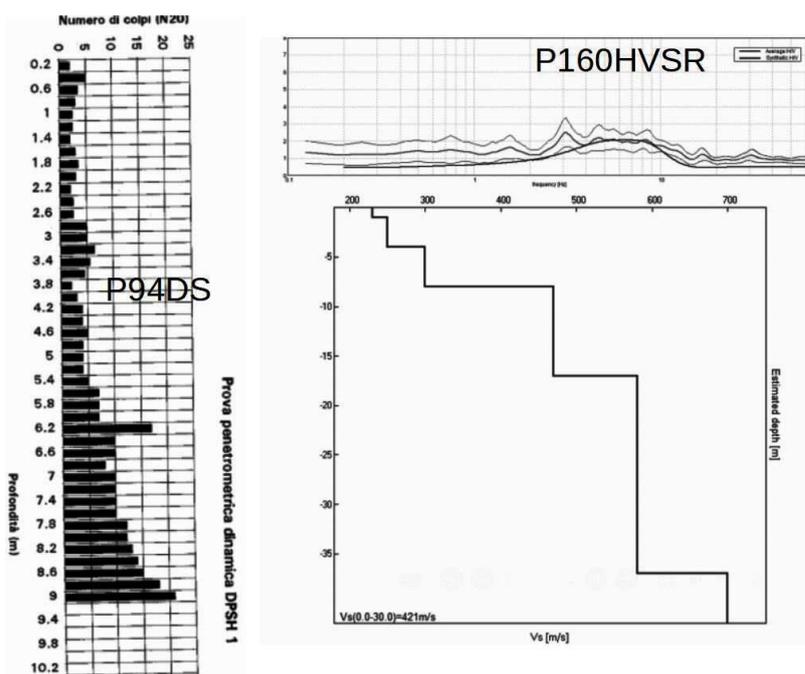


Figura 5.25- Penetrometria dinamica e registrazione HVSR eseguite presso Montorio, con relativo modello sismostratigrafico elaborato

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 5.26).

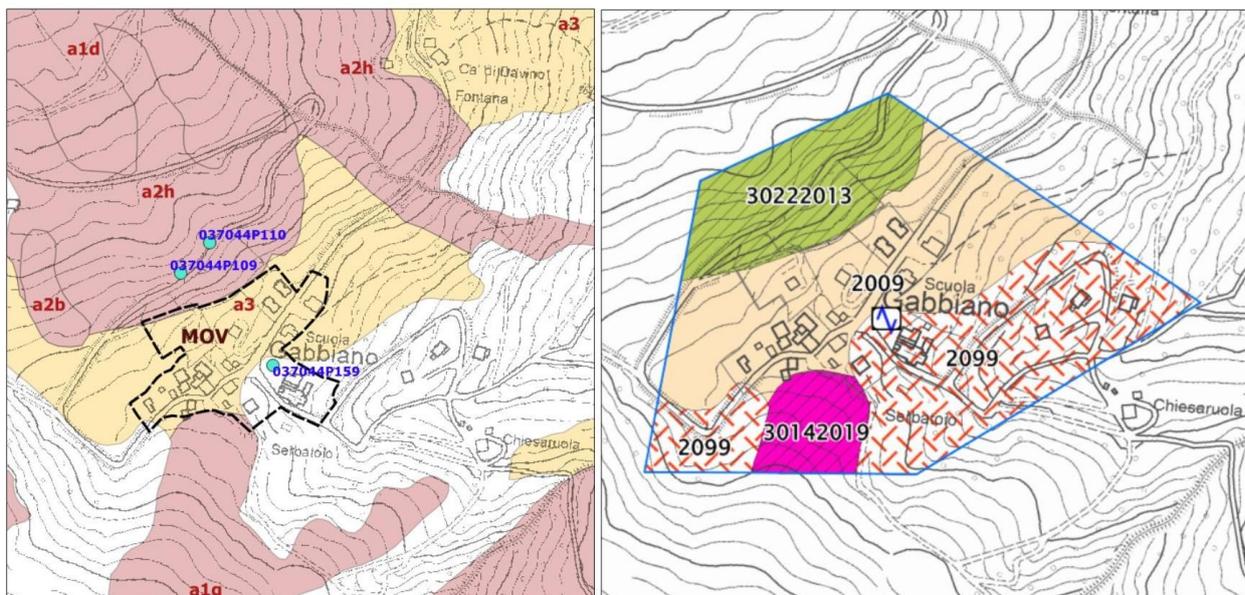
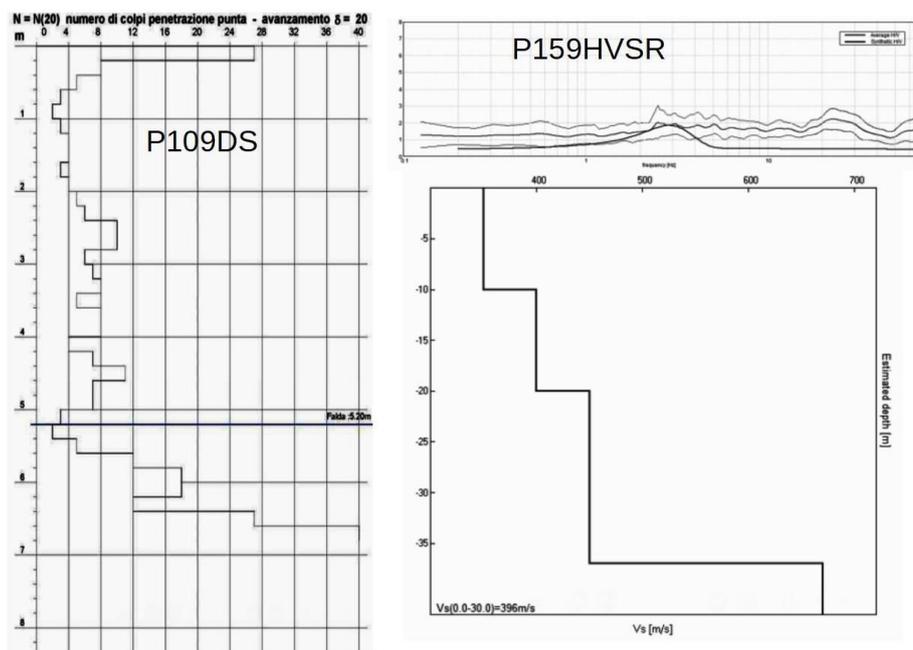


Figura 5.26 – A sx: substrato geologico, coperture quaternarie e discontinuità tettoniche rilevate. Si riportano le prove geognostiche/geofisiche di riferimento. A dx: delimitazione delle zone MOPS

Figura 5.27- Penetrometria dinamica eseguita nel versante settentrionale rispetto al toponimo “Gabbiano”; registrazione HVSR eseguita nell'abitato (substrato affiorante)



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

(figura 5.27). Il settore di abitato più meridionale è invece caratterizzato da bedrock affiorante che risulta relativamente “detensionato”, con Vs30 approssimabile a 400 m/s (figura 5.27). La registrazione HVSR effettuata non rileva amplificazioni H/V significative.

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 5.28).

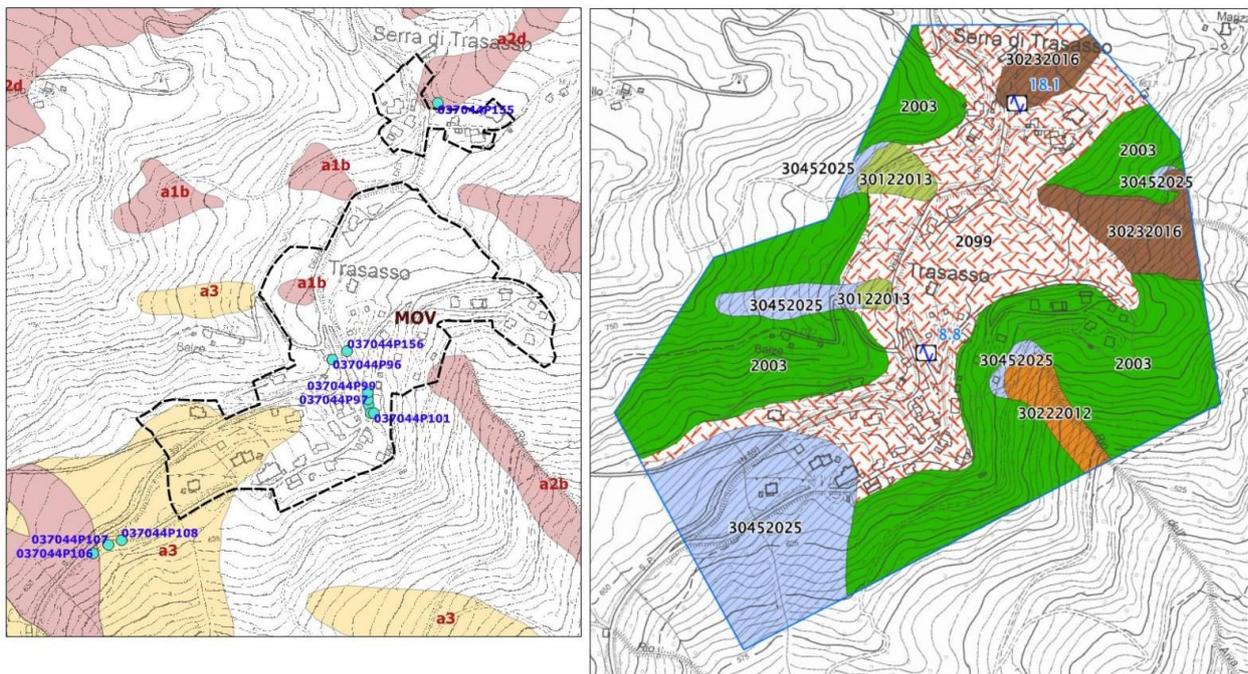
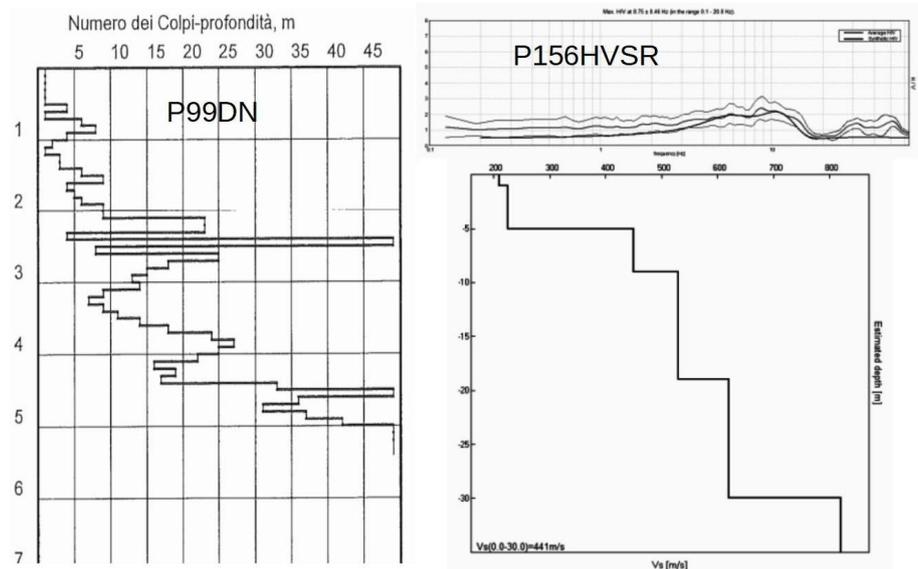


Figura 5.28- A sx: substrato geologico, coperture quaternarie e discontinuità tettoniche rilevate. Si riportano le prove geognostiche/geofisiche di riferimento. A dx: delimitazione delle zone MOPS

Figura 5.29- 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 5.29). 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” (V_{s30} approssimabile a 400 m/s).

5.13 Valle

La frazione Valle è insediata sul crinale prospiciente 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 5.30).

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 5.31).

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.

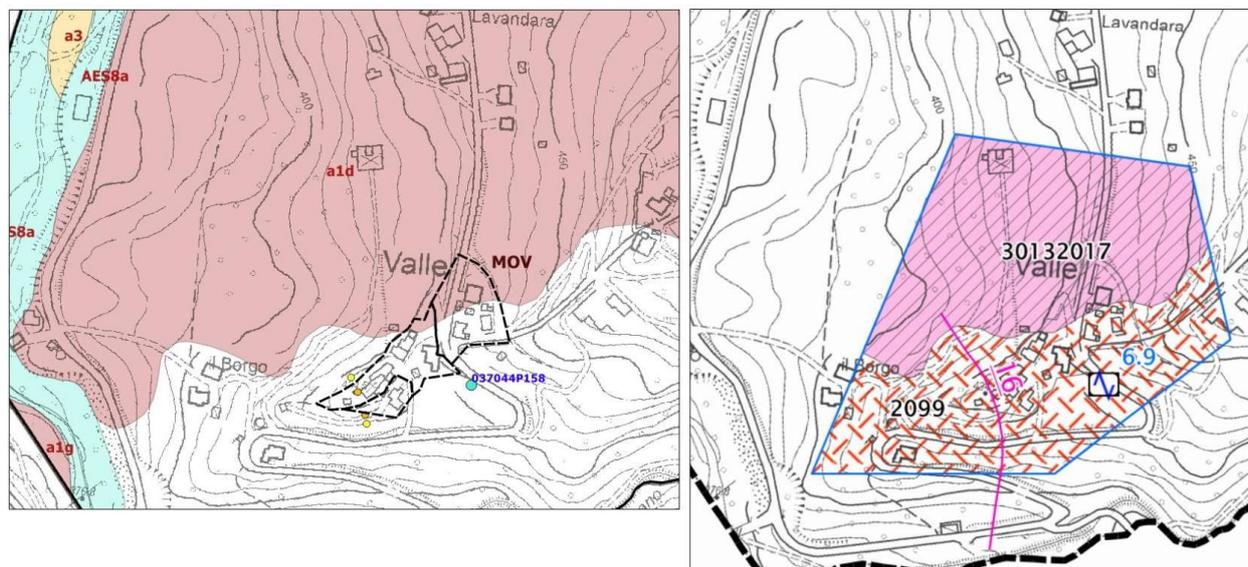
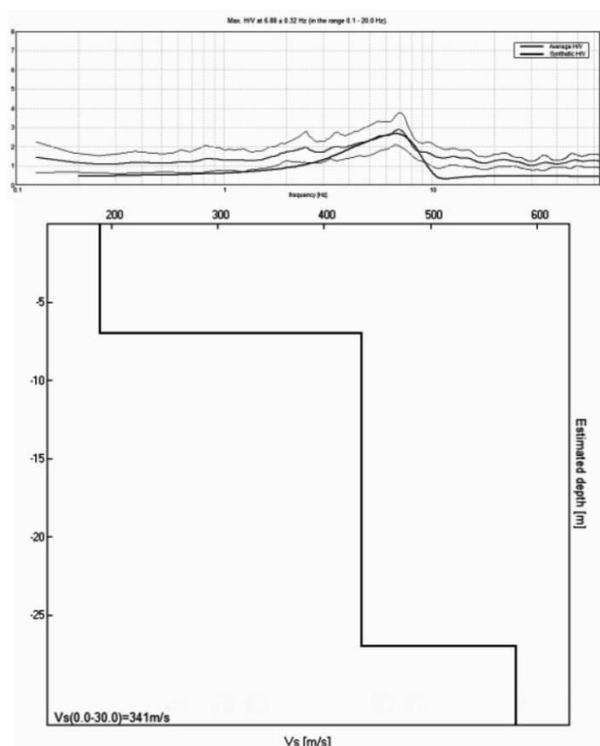


Figura 5.30 – A sx: substrato geologico, coperture quaternarie e discontinuità tettoniche rilevate. Si riportano le prove geognostiche/geofisiche di riferimento. A dx: delimitazione delle zone MOPS

Figura 5.31- Registrazione P158HVSR eseguita presso Valle e relativo modello sismostratigrafico



5.14 Nasce

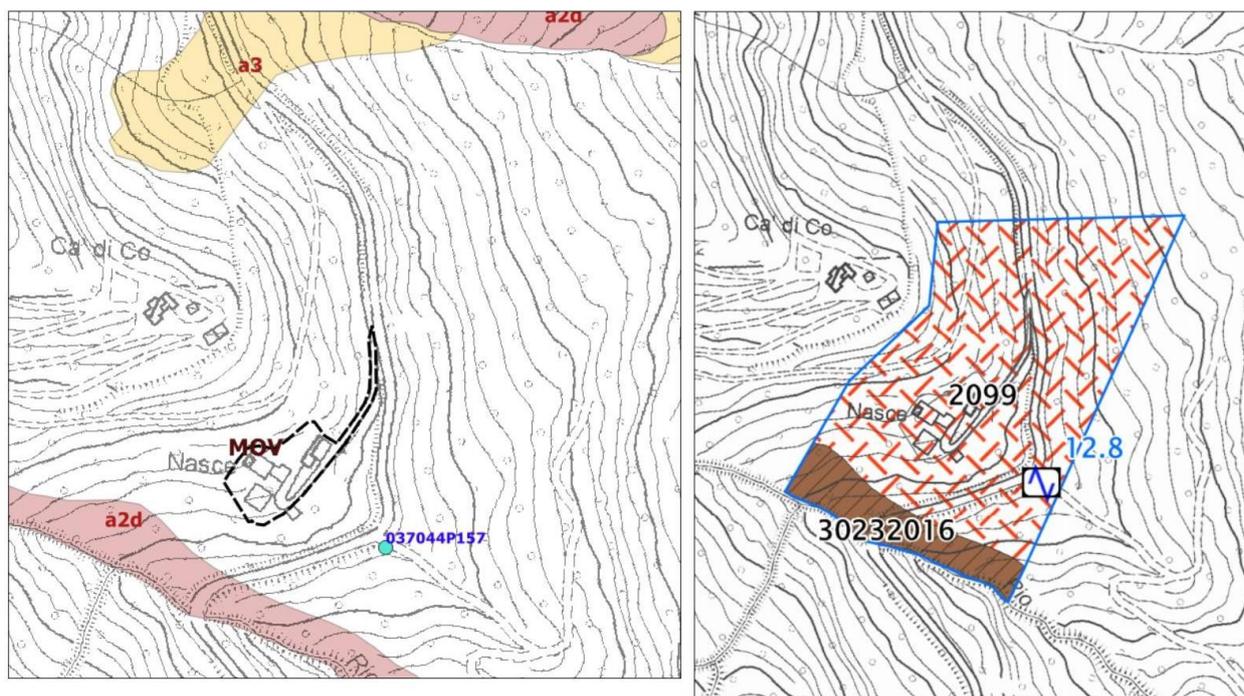


Figura 5.32 - A sx: substrato geologico, coperture quaternarie e discontinuità tettoniche rilevate. Si riportano le prove geognostiche/geofisiche di riferimento. A dx: delimitazione delle zone MOPS

Il toponimo Nasce è situato in pendio acclive ($25 \div 35^\circ$) con rilievi ancora caratterizzati da substrato roccioso con alternanze di livelli lapidei/arenacei e pelitici (Formazione di Monte Venere - MOV).

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 5.33).

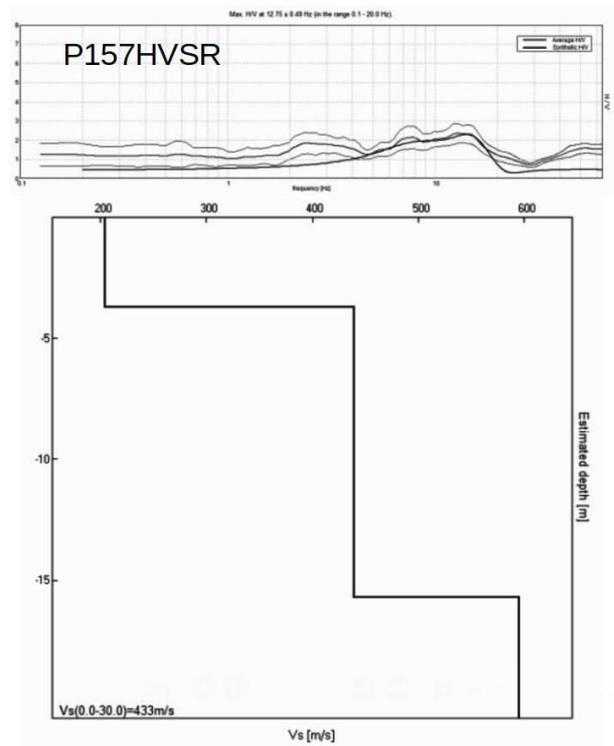


Figura 5.31- Registrazione HVSr eseguita presso Nasca e relativo modello sismostratigrafico

6 INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

Lo studio di microzonazione sismica ha innanzitutto permesso di integrare le indagini di repertorio. I dati geognostici considerati offrono una sufficiente “copertura” conoscitiva delle aree studiate e le indagini geofisiche espletate ex novo per questo studio di microzonazione (penetrometrie DPSH; stendimenti MASW e registrazioni HVSR) consentono una modellazione del sottosuolo esaustiva per l'elaborazione della risposta sismica locale semplificata (secondo livello).

Le incertezze sono comunque accettabili in funzione del grado di approfondimento che si è inteso espletare. Lo studio, ha inoltre ben definito le aree che dovranno ineludibilmente approfondire gli aspetti di pericolosità sismica.

7 METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

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.4.0), 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 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) in particolare considerando gli abachi predisposti dalla Regione Emilia-Romagna e riportati nella 630/2019 (Allegato A2), riferiti a grandi situazioni morfologico-stratigrafiche che tengono conto delle caratteristiche litologiche e morfologiche e della profondità del bedrock sismico.

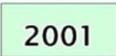
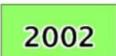
Si rammenta che la 630/2019 ha determinato l'aggiornamento dei precedenti indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna (DAL 112/2007 e DGR 2193/2015).

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

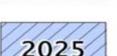
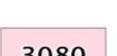
La raccolta ed elaborazione dei dati disponibili ha consentito la suddivisione del territorio studiato in aree qualitativamente omogenee in prospettiva sismica (MOPS). La delimitazione delle MOPS ha tenuto in considerazione sia gli aspetti litostratigrafici (rigidezza del substrato roccioso affiorante; 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.

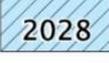
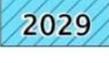
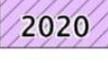
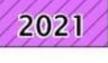
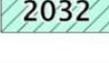
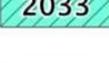
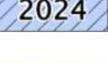
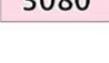
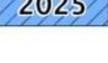
Nel territorio studiato non si riscontrano “zone stabili”, tuttavia si sono distinte 11 zone stabili suscettibili di amplificazioni, compreso la parte di territorio caratterizzato da substrato affiorante molto alterato. Nello schema seguente sono riportate le descrizioni sintetiche delle MOPS così classificate. 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.

 2099	Zona 99 – Substrato affiorante fratturato o detensionato.	 2006	Zona 6 – Coperture alluvionali fini su bedrock non rigido in parte alterato (LOI). Spessore medio coperture: 10 metri.
 2001	Zona 1 – Substrato affiorante non rigido. Litotipi prevalenti: conglomerati e breccie poco cementati (ADO1).	 2007	Zona 7 – Coperture alluvionali fini su bedrock non rigido in parte alterato (LOI). Spessore medio coperture: 15 metri.
 2002	Zona 2 – Substrato affiorante non rigido. Litotipi prevalenti: sabbie e areniti poco cementati (LOI).	 2008	Zona 8 – Depositi di versante e/o eluvi-colluvi su bedrock non rigido in parte alterato (ADO1; LOI). Spessore medio coperture: 5 metri.
 2003	Zona 3 – Substrato affiorante non rigido. Litotipi prevalenti: rocce costituite da alternanze tra livelli lapidei e livelli pelicitici (MOV).	 2009	Zona 9 – Depositi di versante e/o eluvi-colluvi su bedrock in parte fratturato o detensionato (MOV). Spessore medio coperture: 5 metri.
 2004	Zona 4 – Coperture alluvionali ghiaiose su bedrock non rigido in parte alterato (LOI). Spessore medio coperture: 3-5 metri.	 2010	Zona 10 – Conoide alluvionale inattiva su bedrock in parte fratturato o detensionato (BAI3). Spessore medio coperture: 10 metri.
 2005	Zona 5 – Coperture alluvionali fini su bedrock non rigido in parte alterato (LOI). Spessore medio coperture: 5 metri.		

Nel seguente schema sono invece riportate le descrizioni relative alle zone di attenzione per instabilità. Queste ulteriori zone individuano le seguenti principali criticità correlabili ad eventi sismici:

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

 2011	ZA_FR 11 (3011) – Zona di prevalente accumulo per crollo derivato da bedrock arenitico.	 2019	ZA_FR 19 (3014/3024) – Zona di prevalente distacco per frana complessa nel bedrock lapideo-pelitico.
 2012	ZA_FR 12 (3012/3022) – Zona di prevalente distacco per frana di scorrimento nel bedrock lapideo-pelitico.	 2020	ZA_FR 20 (3024) – Zona di prevalente distacco per frana complessa nel bedrock arenitico.
 2013	ZA_FR 13 (3012/3022) – Zona di prevalente accumulo per frana di scorrimento derivato da bedrock lapideo-pelitico.	 2021	ZA_FR 21 (3024) – Zona di prevalente distacco per frana complessa nel bedrock conglomeratico.
 2014	ZA_FR 14 (3012/3022) – Zona di prevalente accumulo per frana di scorrimento derivato da bedrock arenitico.	 2022	ZA_FR 22 (3024) – Zona di prevalente accumulo per frana complessa derivato da bedrock arenitico.
 2015	ZA_FR 15 (3013/3023) – Zona di prevalente distacco per colata nel bedrock conglomeratico.	 2023	ZA_FR 23 (3014/3024) – Zona di prevalente accumulo per frana complessa derivato da bedrock conglomeratico.
 2016	ZA_FR 16 (3023) – Zona di prevalente distacco per colata nel bedrock lapideo-pelitico.	 2024	ZA_FR 24 (3014/3024) – Zona di prevalente accumulo per frana complessa derivato da argilliti tettoizzate (breccie).
 2017	ZA_FR 17 (3013/3023) – Zona di prevalente accumulo per colata derivato da bedrock lapideo-pelitico.	 2025	ZA_FR 25 (3045) – Zona di potenziale evoluzione di frana.
 2018	ZA_FR 18 (3023) – Zona di prevalente accumulo per colata derivato da bedrock arenitico.	 3080	ZA_CD – Zona di attenzione per cedimenti differenziali/crollo di cavità/sinkhole.

 2016	ZA_FR 16 (3011) – Zona di prevalente distacco per crollo nelle argilliti tettonizzate (scagliose e/o brecce).	 2026	ZA_FR 26 (3023) – Zona di prevalente distacco per colata nel bedrock lapideo-pelitico.
 2017	ZA_FR 17 (3011) – Zona di prevalente distacco per crollo nel bedrock lapideo.	 2027	ZA_FR 27 (3013/3023) – Zona di prevalente accumulo per colata derivato da argilliti tettonizzate (scagliose e/o brecce).
 2018	ZA_FR 18 (3011) – Zona di prevalente accumulo per crollo derivato da bedrock lapideo.	 2028	ZA_FR 28 (3013/3023) – Zona di prevalente accumulo per colata derivato da bedrock lapideo-pelitico.
 2019	ZA_FR 19 (3011) – Zona di prevalente accumulo per crollo derivato da bedrock arenitico.	 2029	ZA_FR 29 (3023) – Zona di prevalente accumulo per colata derivato da bedrock arenitico.
 2020	ZA_FR 20 (3011) – Zona di prevalente distacco per crollo nel bedrock lapideo-pelitico.	 2030	ZA_FR 30 (3014/3024) – Zona di prevalente accumulo per frana complessa derivato da argilliti tettonizzate (scagliose e/o brecce).
 2021	ZA_FR 21 (3022) – Zona di prevalente distacco per frana di scorrimento nel bedrock arenitico.	 2031	ZA_FR 31 (3014/3024) – Zona di prevalente accumulo per frana complessa derivato da bedrock lapideo-pelitico.
 2022	ZA_FR 22 (3012) – Zona di prevalente accumulo per frana di scorrimento derivato da argilliti tettonizzate (scagliose e/o brecce).	 2032	ZA_FR 32 (3024) – Zona di prevalente accumulo per frana complessa derivato da bedrock conglomeratico.
 2023	ZA_FR 23 (3012) – Zona di prevalente accumulo per frana di scorrimento derivato da bedrock lapideo-pelitico.	 2033	ZA_FR 33 (3045) – Zona di potenziale evoluzione di frana.
 2024	ZA_FR 24 (3022) – Zona di prevalente accumulo per frana di scorrimento derivato da bedrock arenitico.	 3080	ZA_CD – Zona di attenzione per cedimenti differenziali/crollo di cavità/sinkhole
 2025	ZA_FR 25 (3013) – Zona di prevalente distacco per colata nelle argilliti tettonizzate (scagliose e/o brecce).		

7.3 I fattori di amplificazione considerati per lo studio di MS

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 $T_r = 475$ (con smorzamento $\zeta = 5\%$) 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 [FA0105]

SA2 → 0,4s–0,8s [FA0408]

SA3 → 0,7s–1,1s [FA0411]

SA4 → 0,5s–1,5s [FA0515] 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 [FH0105]

SI2 → 0,5s–1,0s [FH0510]

SI3 → 0,5s–1,5s [FH0515] solo per le aree di pianura/costa

7.4 Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali: calcolo dei fattori di amplificazione

Il calcolo dei fattori di amplificazione ha interessato le aree urbanizzate/urbanizzabili e alcune ulteriori 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 630/2019), sulla base delle differenti caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo ritenute importanti dal punto di vista della risposta sismica locale (cfr. capitolo 5).

La seguente tabella 7.1 riporta la sintesi riepilogativa dei fattori di amplificazione (FA) riferibili alle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS). Si riportano i parametri (spessori; VS_H; VS₃₀) necessari per il calcolo dei FA. Per ulteriori dettagli sulle caratteristiche litostratigrafiche delle aree MOPS si rimanda a quanto indicato nella descrizione cartografica (cfr. paragrafo 7.2)

Si precisa che tutte le MOPS sono attribuite al macrocontesto "Appennino*" ((Allegato A2 DGR 630/2019) 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
2002	Versante est Vado - Valla	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

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 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 7.8 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 7.9 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 7.10 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 7.11 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 7.12 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 7.13 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	

7.5 Zone di attenzione per instabilità: calcolo dei fattori di amplificazione

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. 4.0 (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. In alcuni casi, gli spessori dei depositi

rimaneggiati sono desunti da indagini geognostiche effettuate nei corpi di frana.

7.6 Effetti della topografia: calcolo dei fattori di amplificazione

Per gli areali urbanizzati/urbanizzabili, lo studio ha considerato anche gli effetti morfologici dei pendii più acclivi ($<15^\circ$) 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 topografica è stato espletato secondo quanto indicato nelle DGR n. 2188/2016 e DGR n. 630/2019 (figura 7.1).

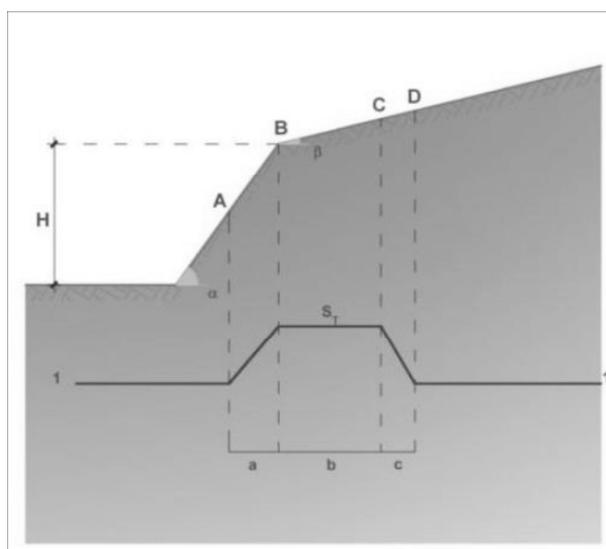


Figura 7.1 - Schema geometrico per il calcolo degli effetti della topografia (cfr. DGR 630/2019)

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

$$ST = 1 + 0,8 \cdot (\alpha - \beta - 0,4) \text{ sul segmento BC}$$

dove:

$$b = \text{valore minimo tra } 20\alpha \text{ e } (H+10)/4$$

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

$$ST = 1 \text{ in A (a = H/3)}$$

$$ST = 1 \text{ in D (c = H/4)}$$

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 amplificazione del punto caratterizzato da massima amplificazione topografica.

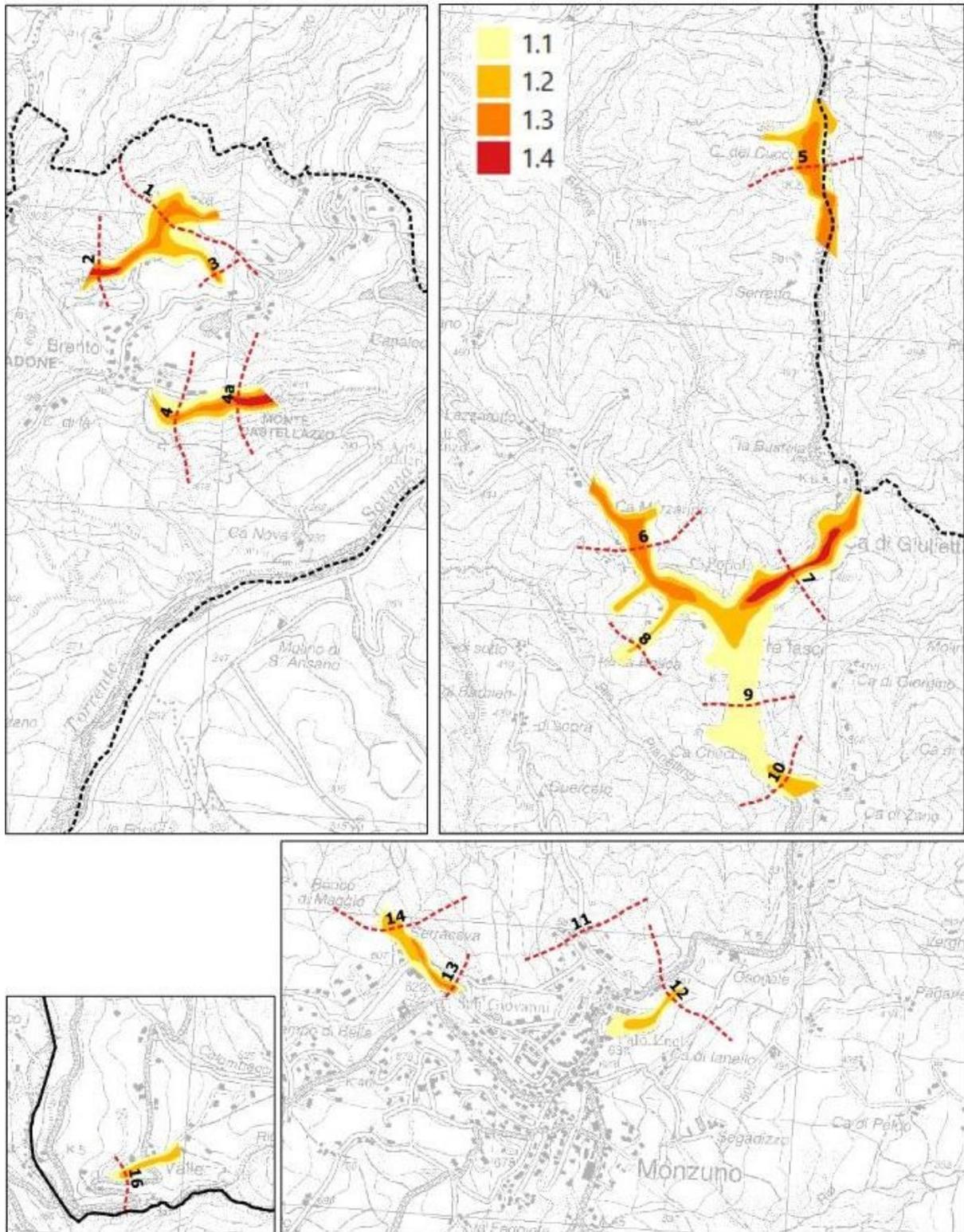


Figura 7.2 - Localizzazione delle sezioni topografiche di riferimento e delimitazione delle zone di amplificazione ST calcolate

7.7 Elaborazione dei valori di H_{SM}

Lo studio 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).

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 ELABORATI CARTOGRAFICI

8.1 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 1:10.000, 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.

La cartografia identifica il tipo di prova con la simbologia riportata negli <<Standard di rappresentazione e archiviazione informatica>> CTMS (v.4.0), distinguendo la tipologia delle prove e indicando il sito oggetto delle indagini.

8.2 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. Tuttavia, nella pianura, si distingue nei contenuti dalla classica carta geologica e/o litologica.

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 dei 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.4.0). 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 8.1.

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.

Terreni di copertura e substrato geologico

	Terreni contenenti resti di attività antropica		Granulare cementato stratificato
	Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo – argine/barre/canali (es)		Coesivo sovraconsolidato stratificato
	Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla – falda detritica (fd), conoide alluvionale (ca), argine/barre/canali (es)		Alternanza di litotipi stratificato
	Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità – eluvi/colluvi (ec), terrazzo fluviale (tf)		Granulare cementato fratturato o detensionato
	Argille e argille limose più o meno consistenti – eluvi/colluvi (ec)		Coesivo sovraconsolidato fratturato o detensionato
	Granulare cementato		Granulare cementato stratificato fratturato o detensionato

Figura 8.1 – Stralcio della legenda della Tavola 2a – Carta geologico-technica: si riportano le classi geotecniche USCS/AGI che caratterizzano il sottosuolo del territorio studiato di Monzuno

8.3 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 richiesto nell'Allegato C delle Delibere 2188/2016 e 630/2019 della Regione Emilia-Romagna: $f_0 \leq 1$ Hz, $1 < f_0 \leq 2$ Hz, $2 < f_0 \leq 8$ Hz, $f_0 > 8$ 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); $2 \leq H/V < 3$ (ampiezze moderate); $H/V \leq 3$ (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.

8.4 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 studiato in "Zone stabili suscettibili di amplificazione" e in "Zone di attenzione per instabilità". Tale carta rappresenta l'elaborato fondamentale della microzonazione sismica di livello 1.

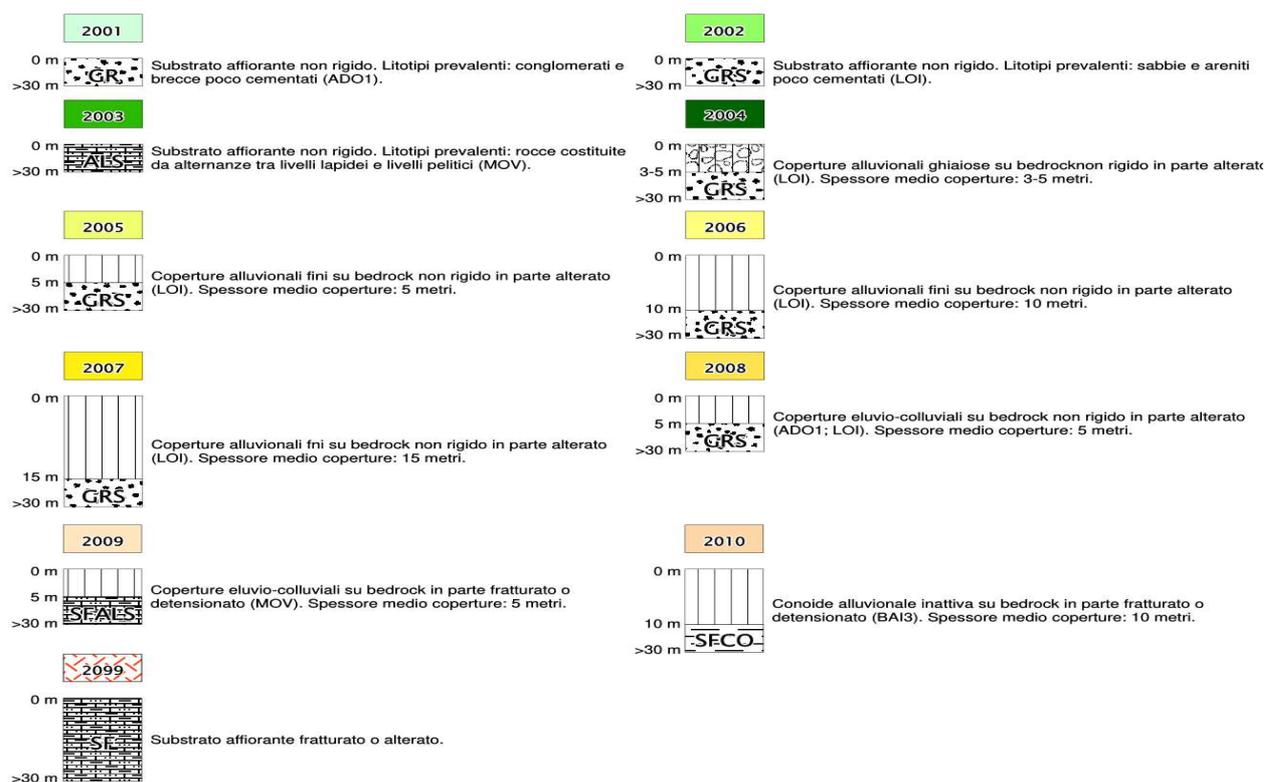
La carta riporta, inoltre, le "forme di superficie e sepolte" (già presenti nella carta geologico-tecnica), i punti di misura di rumore ambientale (con l'indicazione della frequenza fondamentale) e le tracce delle sezioni topografiche realizzate per determinare i fattori di amplificazione "ft".

Rispetto alle diverse litologie distinte nella carta geologico-tecnica, estendendo la valutazione a profondità maggiore, si è cercato di arrivare a 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.

Sulla base delle caratteristiche della successione litostratigrafica, nel territorio studiato non si riscontrano "zone stabili", tuttavia sono distinte 11 zone stabili suscettibili di amplificazioni (compreso anche il substrato affiorante molto alterato).

Per ciascuna classe, in legenda viene indicato lo spessore delle coperture che è stato considerato nel calcolo dei fattori di amplificazione, comprensivo di un'eventuale porzione di bedrock alterato.

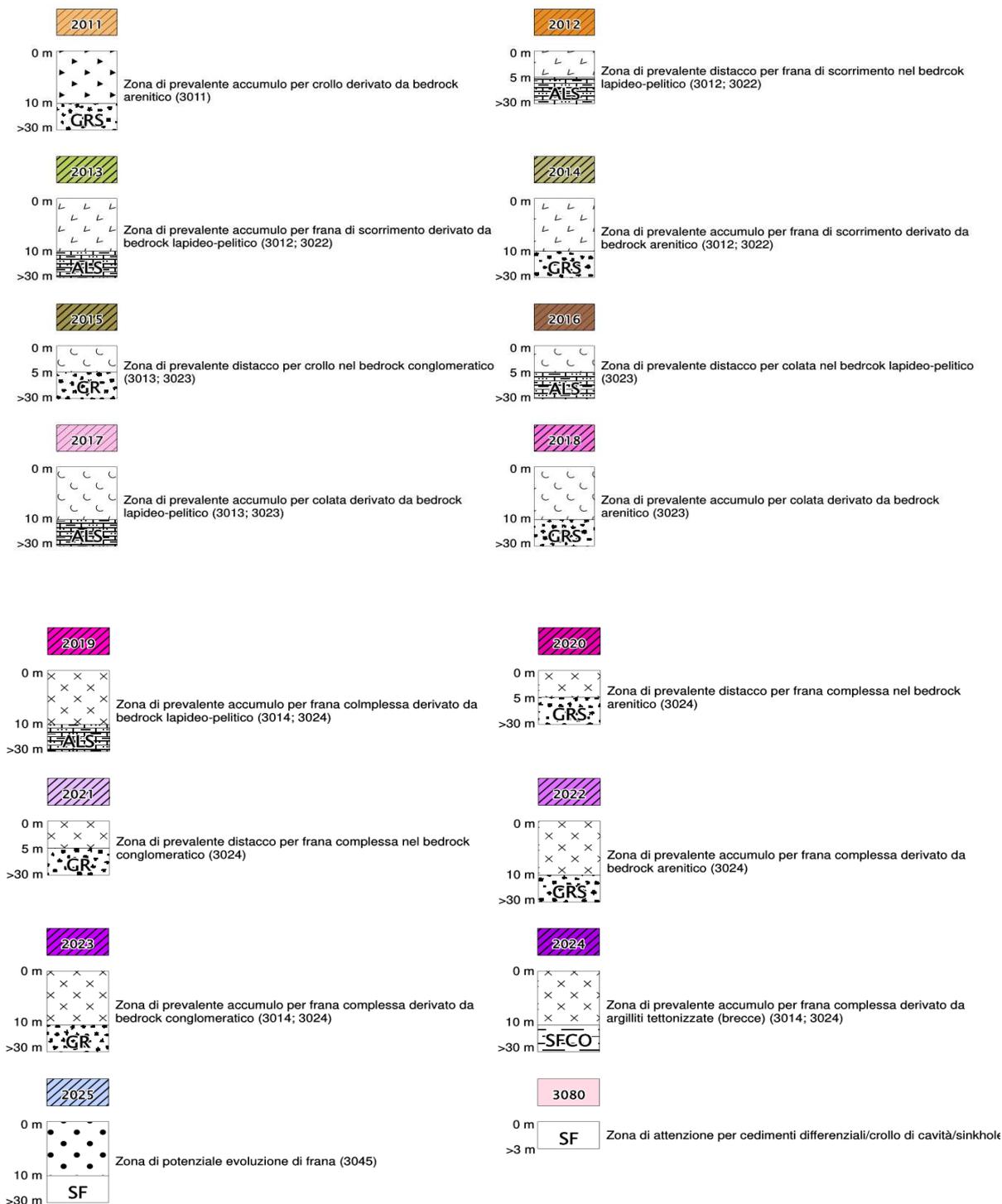
Il seguente schema riporta per le zone stabili suscettibili di amplificazione i rispettivi rapporti stratigrafici rappresentativi.



Le zone di attenzione per instabilità individuano le principali criticità correlabili ad eventi sismici individuate per il territorio studiato (possibilità di instabilità di versante; possibilità di cedimenti differenziali). In questa tipologia di instabilità vengono comprese anche le aree di cava e i tombamenti antropici.

Il seguente schema riporta per le zone di attenzione individuate i rispettivi rapporti stratigrafici rappresentativi.

Per una descrizione sintetica di tutte le singole zone di rimanda al precedente paragrafo 7.2.



8.5 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 V_s , con indicazione, per ogni punto di controllo, del valore della media armonica nei primi 30 metri della velocità delle onde sismiche di taglio ($V_{s_{30}}$) oppure della V_sH .

La <<Carta delle velocità delle onde di taglio S>>, elaborata alla scala 1:10.000, localizza tutti i punti di misura di V_s , con indicazione, per ogni punto di controllo, del valore della media armonica nei primi 30 metri della velocità delle onde sismiche di taglio ($V_{s_{30}}$). 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 V_sH . Tale parametro risulta di fondamentale importanza per la caratterizzazione della risposta sismica locale, sia valutata con approccio semplificato (DGR 2188/2016; DGR 630/2019; criteri nazionali ICMS 2008), sia da valutare con modellazioni numeriche.

Si segnala che il calcolo della V_sH 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 V_s tali da non considerarsi bedrock sismico fino a 30 metri di profondità.

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

8.6 Carta di microzonazione sismica livello 2 (Tavole 6-7-8-9-10-11)

Le cartografie <<carta di microzonazione sismica livello 2>> sono elaborate alla scala 1:5.000 e riportano le “zone stabili suscettibili di amplificazioni” e le “zone di attenzione per instabilità” per le liquefazioni e le “zone di attenzione” riscontrate nel territorio studiato di Grizzana Morandi. Rappresentano gli elaborati finali di sintesi del presente studio di microzonazione sismica.

Rappresentano gli elaborati finali di sintesi del presente studio di microzonazione sismica in quanto riportano per ogni zona MOPS (Tavola 4) i fattori di amplificazione calcolati. In questo senso è necessario specificare che:

- alle “zone stabili suscettibili di amplificazioni” vengono attribuiti i parametri di amplificazione considerati (P_{ga} ; SA; SI) attraverso la 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. 4.0). Si rammenta che agli areali studiati i fattori di amplificazione sono attribuiti sulla base degli abachi regionali (cfr. DGR 630/2019, allegato A2).
- Per le “zone di attenzione” per instabilità” vengono attribuiti i parametri di amplificazione considerati (P_{ga} ; SA; SI) sono 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.

La grafica standard (colore pieno) consente di attribuire alle zone di suscettibilità i rispettivi

parametri di amplificazione (ricavati dalle modellazioni numeriche di RSL).

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

- ✓ Tavola di microzonazione sismica di livello 2 – FA_{PGA} → riporta il fattore di amplificazione FA_{PGA} (rapporto tra le massime ampiezze dell'accelerazione orizzontale in superficie e al bedrock sismico (PGA/PGA_0));
- ✓ Tavola di microzonazione sismica di livello 2 FA_{SA1} → riporta il fattore di amplificazione FA_{SA1} (rapporto di Intensità di spettrale in accelerazione in superficie e al bedrock sismico per periodo compreso tra 0,1 e 0,5 secondi);
- ✓ Tavola di microzonazione sismica di livello 2 FA_{SA2} → riporta il fattore di amplificazione FA_{SA2} (rapporto di Intensità di spettrale in accelerazione in superficie e al bedrock sismico per periodo compreso tra 0,4 e 0,8 secondi);
- ✓ Tavola di microzonazione sismica di livello 2 FA_{SA3} → riporta il fattore di amplificazione FA_{SA3} (rapporto di Intensità di spettrale in accelerazione in superficie e al bedrock sismico per periodo compreso tra 0,7 e 1,1 secondi);
- ✓ Tavola di microzonazione sismica di livello 2 FA_{SI1} → riporta il fattore di amplificazione FA_{SI1} (rapporto di Intensità di Housner in superficie e al bedrock sismico per periodo compreso tra 0,1 e 0,5 secondi);
- ✓ Tavola di microzonazione sismica di livello 2 FA_{SI2} → riporta il fattore di amplificazione FA_{SI2} (rapporto di Intensità di Housner in superficie e al bedrock sismico per periodo compreso tra 0,5 e 1,0 secondi).

8.7 Carta della distribuzione dei valori di H_{SM}

Le mappe di pericolosità sismica denominate <<Carta della distribuzione dei valori di H_{SM} >> sono elaborate alla 1:15.000 e riportano i valori di H_{SM} (Naso et al., 2019) per gli areali interessati dalla microzonazione sismica.

Si rammenta che il valore di H_{SM} rappresenta un parametro di pericolosità che esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2) come riportato nel paragrafo 7.7.

9 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.
- Boccaletti M., Bonini M., Corti G., Gasperini P., Martelli L., Piccardi L., Severi P., Vannucci G. (2004): Carta sismotettonica della Regione Emilia-Romagna, scala 1:250.000. Con note illustrative. Regione Emilia-Romagna-SGSS, CNR-IGG. SELCA, Firenze.
- Boulanger R. W. e Idriss I. M. (2004) – *Semi-empirical procedures for evaluating liquefaction potential during earthquakes*. Proc., 11th International Conference on Soil Dynamics and Earthquake Engineering, and 3rd International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, D. Doolin et al., ed Stallion Press, Vol. 1, 32–56.
- 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.
- Commissione tecnica per la microzonazione sismica (2018) – Microzonazione sismica – Standard di rappresentazione e archiviazione informatica versione 4.0. <https://www.centromicrozonazioneSismica.it/it/download/category/23-standard-ms-e-cle>.
- DISS Working Group (2018). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.1: *A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas*. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; doi:10.6092/INGV.IT-DISS3.2.1.
- Elmi, Zecchi (1982) – *Note sulla sismicità dell'appennino emiliano-romagnolo*. In Guida alla geologia del margine appenninico-padano. *Società Geologica Italiana – Guide Geologiche*

regionali, Bologna.

Galli P., Castenetto S., Peronace E. (2012) – *Terremoti dell'Emilia – maggio 2012 – Rilievo Macrosismico MCS speditivo – Rapporto finale*. Dipartimento della Protezione Civile – Ufficio Rischio Sismico e Vulcanico.

Galli, Meloni, Rossi (1999) – *Historical liquefaction in Italy: relationship between epicentral distance and seismic parameters*. European Geophysical Society XXIII General Assembly Natural Hazards NH3, The Hague, Netherlands.

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) – CFT15Med, *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>.

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, 237 e 252*. Coord. Scientifico: Regione Emilia-Romagna. ISPRA, Servizio Geologico d'Italia – Regione Emilia-Romagna, Servizio geologico, sismico e dei suoli. SystemCart, Roma. <https://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/emilia.html>.

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., Conte S., Rocchetti E., Antonucci A. (2019). Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 2.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/DBMI/DBMI15.2>.

Martelli L., Calabrese L., Ercolessi G., Severi P., Romani M., Tarabusi G., Pileggi D., Rosselli S., Minarelli L., Pergalani F., Compagnoni M., Vannucchi C., Madiari C., Facciorusso J., Fioravante V., Giretti D., Mucciarelli M., Priolo E., Laurenzano G., Brammerini F., Speranza E., Conte C., Di Salvo G., Giuffrè M., Zuppiroli M., Guidi F., Vona V. Con il Contributo Di Manicardi A., Mengoli B., Ugoletti C. e Ricci L. (2013) – *Microzonazione sismica dell'area epicentrale del terremoto della pianura Emiliana del 2012 (Ord. 70/2012)*. Atti del 32° Convegno Nazionale del Gruppo Nazionale di Fisica della Terra Solida, Trieste, ISBN: 978-88-902101-7-4.

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

Mucciarelli M. (a cura di) (2012) – *Tecniche speditive per la stima dell'amplificazione sismica e della dinamica degli edifici. Studi teorici ed applicazioni professionali*. Edizioni Aracne.

Naso G., Martelli L., Baglione M., Brammerini 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.

Provincia di Bologna – *Variante al PTCP in materia di riduzione del rischio sismico. Adeguamento alla L.R. 19/2008*. 2013.

RER – ENI, Agip (1998): *Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna*. A cura di G. M. Di Dio. Regione Emilia-Romagna, ENI Agip Divisione Esplorazione e Produzione. S.EL.CA., Firenze, pp 120.

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.

Regione Emilia Romagna – Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, CNR – Istituto di Geoscienze e Georisorse – *Università degli Studi di Firenze – INGV – Carta sismotettonica della Regione Emilia-Romagna e aree limitrofe (2017) – scala 1:250.000*.

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”. BURERT n. 304 del 21/12/2017.

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>>”*. BURER n. 64 del 17 maggio 2007.

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”. BURER n. 4 del 8 gennaio 2016 parte seconda.

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.

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (2019). *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 2.0.* Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.2>.