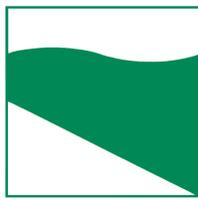




PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



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 San Benedetto Val di Sambro



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.....	7
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>Elementi introduttivi.....</i>	<i>17</i>
3.3.2	<i>Unità Subliguridi.....</i>	<i>18</i>
3.3.3	<i>Unità Liguridi (formazioni “pre flysch”).....</i>	<i>19</i>
3.3.4	<i>Unità Liguridi.....</i>	<i>20</i>
3.4	Depositi continentali quaternari.....	20
4	DATI GEOTECNICI E GEOFISICI.....	24
4.1	Dati pregressi.....	24
4.2	Le indagini eseguite per la microzonazione sismica.....	24
5	MODELLO DEL SOTTOSUOLO.....	26
5.1	Monteacuto Vallese e San Rocco.....	26
5.2	Ripoli.....	28
5.3	Trastullo.....	29
5.4	Santa Maria Maddalena.....	30
5.5	S. Andrea.....	32

5.6	Molino Nuovo e San Martino.....	33
5.7	San Benedetto Val di Sambro.....	34
5.8	Villa Cedrecchia.....	36
5.9	Cedrecchia.....	37
5.10	Madonna dei Fornelli e Zaccanesca.....	38
5.11	Qualto.....	40
5.12	Montefredente – Il Borgo – Il Faldo – La Capanna.....	41
5.13	Castel dell'Alpi – Ca dei Falchetti.....	43
5.14	Pian del Voglio – Piano delle Ginestre (La Calcinata).....	46
5.15	Pian di Balestra.....	48
5.16	Ca' dei Borelli.....	49
6	INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE.....	51
7	METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI.....	52
7.1	Cenni introduttivi.....	52
7.2	Sintesi illustrativa delle MOPS.....	52
7.3	I fattori di amplificazione considerati per lo studio di MS.....	54
7.4	Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali: calcolo dei fattori di amplificazione.....	54
7.5	Zone di attenzione per instabilità: calcolo dei fattori di amplificazione.....	57
7.6	Effetti della topografia: calcolo dei fattori di amplificazione.....	57
7.7	Elaborazione dei valori di HSM.....	60
8	ELABORATI CARTOGRAFICI.....	61
8.1	Carta delle Indagini (Tavola 1).....	61
8.2	Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica (Tavola 2).....	61
8.3	Carta delle frequenze naturali dei terreni (Tavola 3).....	62
8.4	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica MOPS (Tavola 4).....	63
8.5	Carta delle velocità delle onde di taglio S (Tavola 5).....	64
8.6	Carta di microzonazione sismica livello 2 (Tavole 6-7-8-9-10-11).....	65
8.7	Carta della distribuzione dei valori di HSM.....	66
9	BIBLIOGRAFIA.....	67

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.

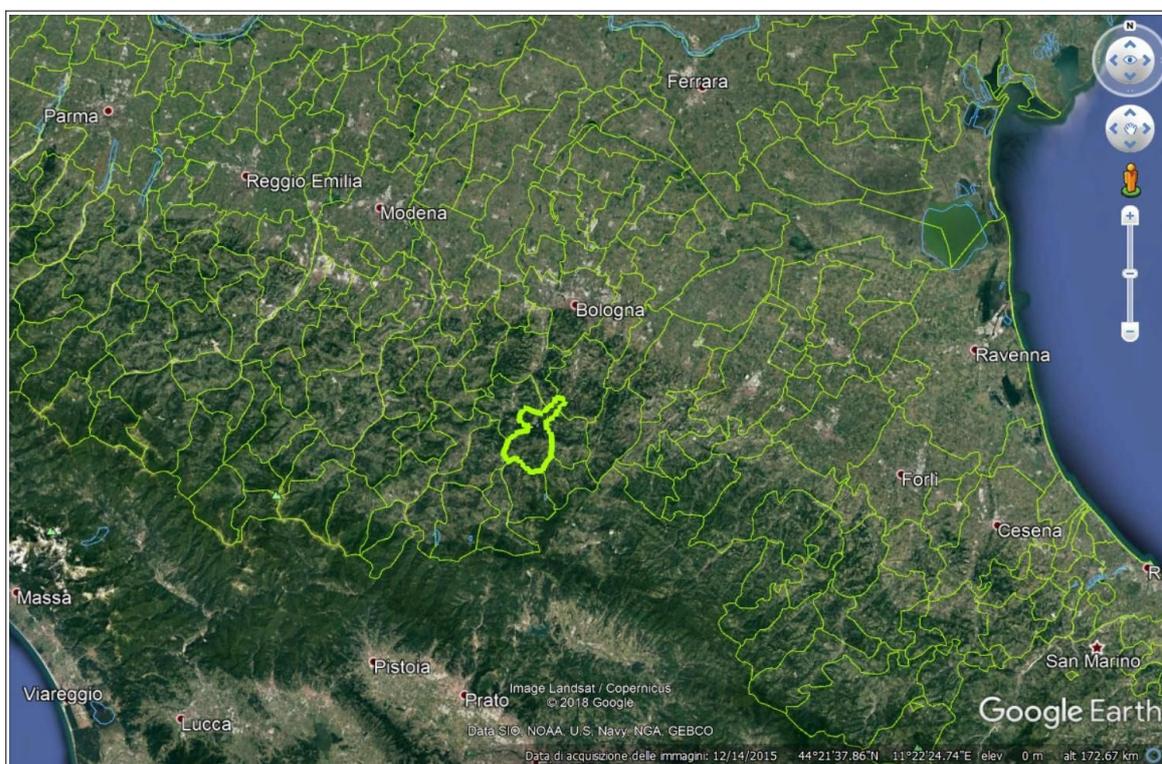


Figura 1.1 – Localizzazione del territorio amministrativo del Comune di San Benedetto Val di Sambro (foto aerea: “Google Earth”)

La figura 1.1 offre un inquadramento del limite comunale di San Benedetto Val di Sambro: si tratta di un territorio amministrativo situato in un contesto morfologico montano, di estensione areale totale pari a circa 66,5 Km² e con una popolazione di circa 4.174 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.

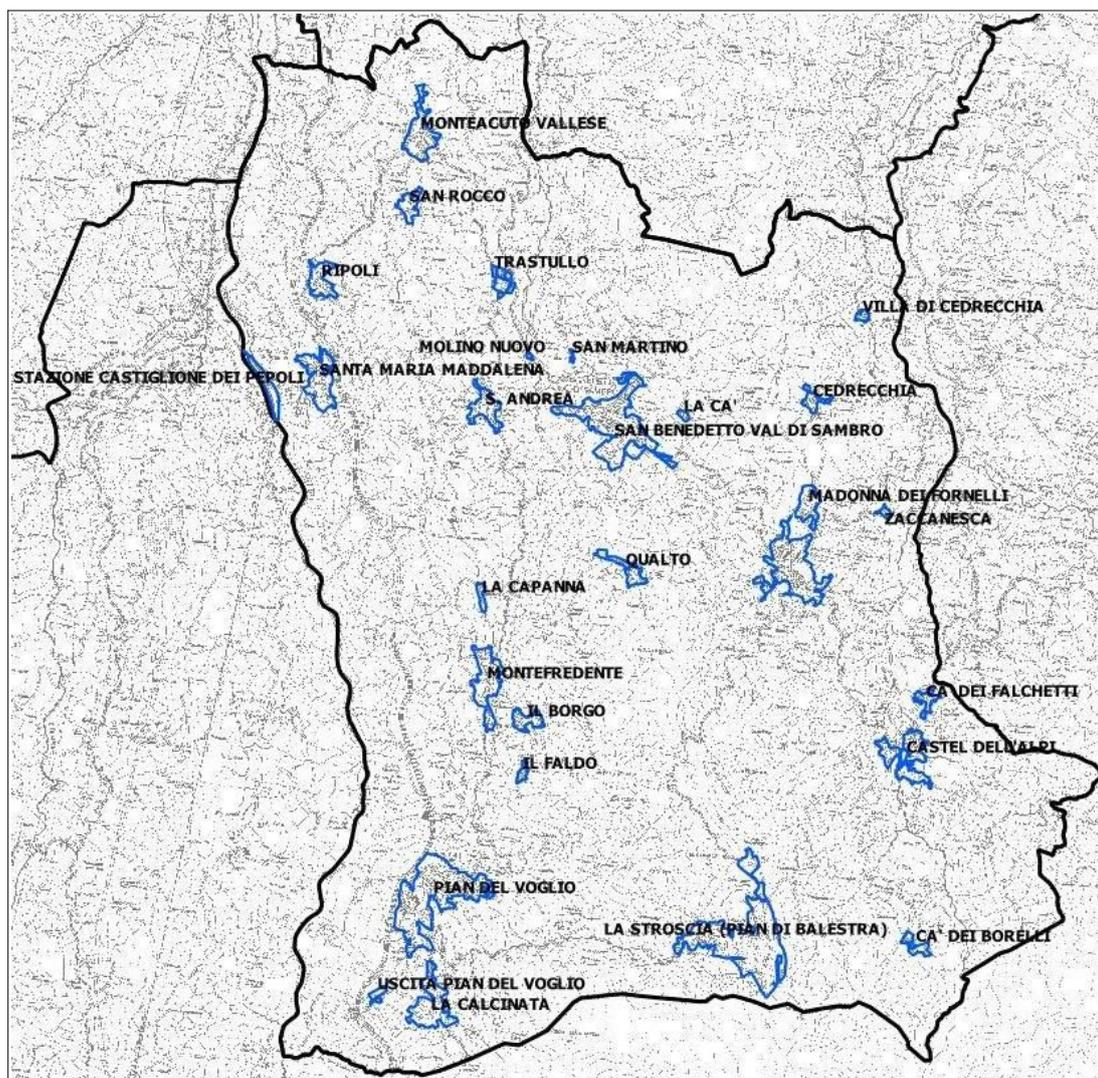


Figura 1.2 – Localizzazione delle aree urbanizzate oggetto di microzonazione (su base topografica della Regione Emilia-Romagna – CTR 1:10.000)

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 4.1”, redatto dalla Commissione tecnica per la microzonazione sismica (Commissione tecnica per la microzonazione sismica, novembre 2018), da qui in avanti “Standard MS 4.1”;
- ✓ “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 San Benedetto Val di Sambro 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/c	1:5.000
Carta delle frequenze naturali dei terreni	Tavola 3	1:10.000

Elaborato cartografico	Sigla Tavola	Scala
Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)	Tavola 4a/b/c	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/c	1:5.000
Carta di microzonazione sismica di livello 2 – FA _{SI1}	Tavola 7a/b/c	1:5.000
Carta di microzonazione sismica di livello 2 – FA _{SI2}	Tavola 8a/b/c	1:5.000
Carta di microzonazione sismica di livello 2 – FA _{SI3}	Tavola 9a/b/c	1:5.000
Carta di microzonazione sismica di livello 2 – FA _{SI1}	Tavola 10a/b/c	1:5.000
Carta di microzonazione sismica di livello 2 – FA _{SI2}	Tavola 11a/b/c	1:5.000
Carta della distribuzione dei valori di H _{SM}	Tavola 12	1:10.000

Tabella 1.1 - Elaborati cartografici predisposti per lo studio di microzonazione sismica del Comune di San Benedetto Val di Sambro

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.4.1 (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 topografici 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 (a_g) 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 15 eventi sismici (figura 2.1) con modesti risentimenti per i manufatti esistenti (vi risultano associate massime intensità pari a 5–6). La scarsità di dati è imputabile alla mancanza o al non reperimento di fonti storiche.

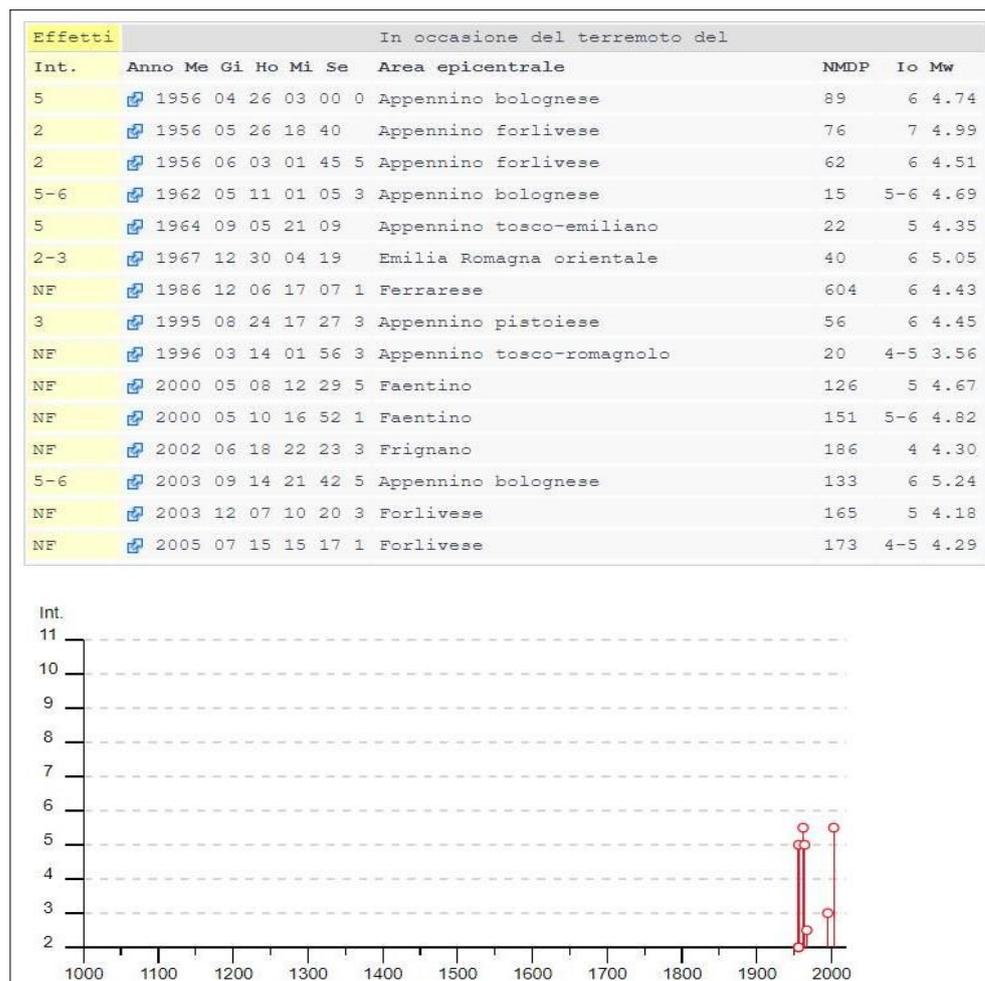


Figura 2.1- Terremoti significativi per il San Benedetto Val di Sambro e macrointensità stimata (fonte: INGV - Database Macrosismico Italiano 2015)

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. 3.2.1 evidenzia come tutto il territorio di San Benedetto Val di Sambro risulti incluso nell'ampia zona sismogenica composta definita con la sigla "ITCS027: Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga" (figura 2.2), che comprende 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 San Benedetto Val di Sambro non sono note sorgenti sismogeniche individuali, tuttavia è distante circa $8 \div 10$ km dalla sorgente "ITIS058 "Loiano", recentemente definita in seguito all'evento sismico del settembre 2003 ($M_w = 5,3$).

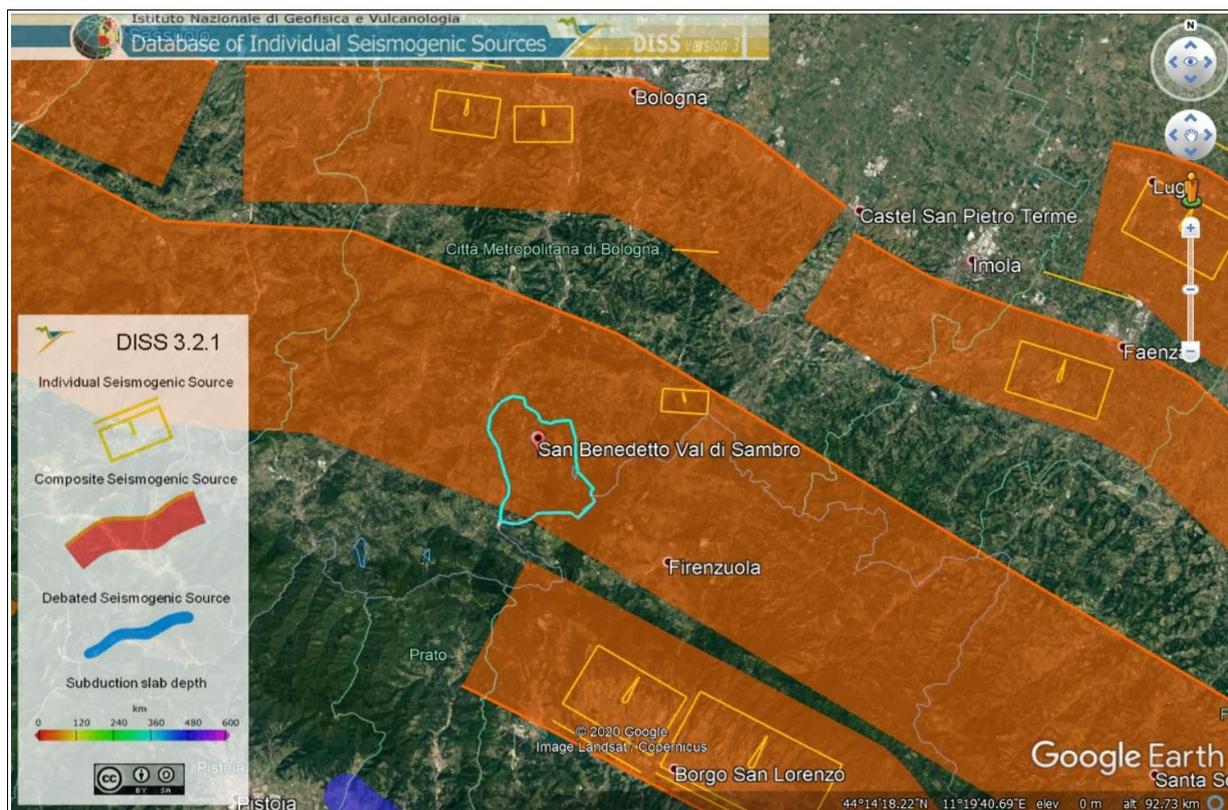


Figura 2.2 – Localizzazione delle sorgenti sismogenetiche contenute nel database DISS (v.3.2.1). Foto aerea: Google Earth

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)

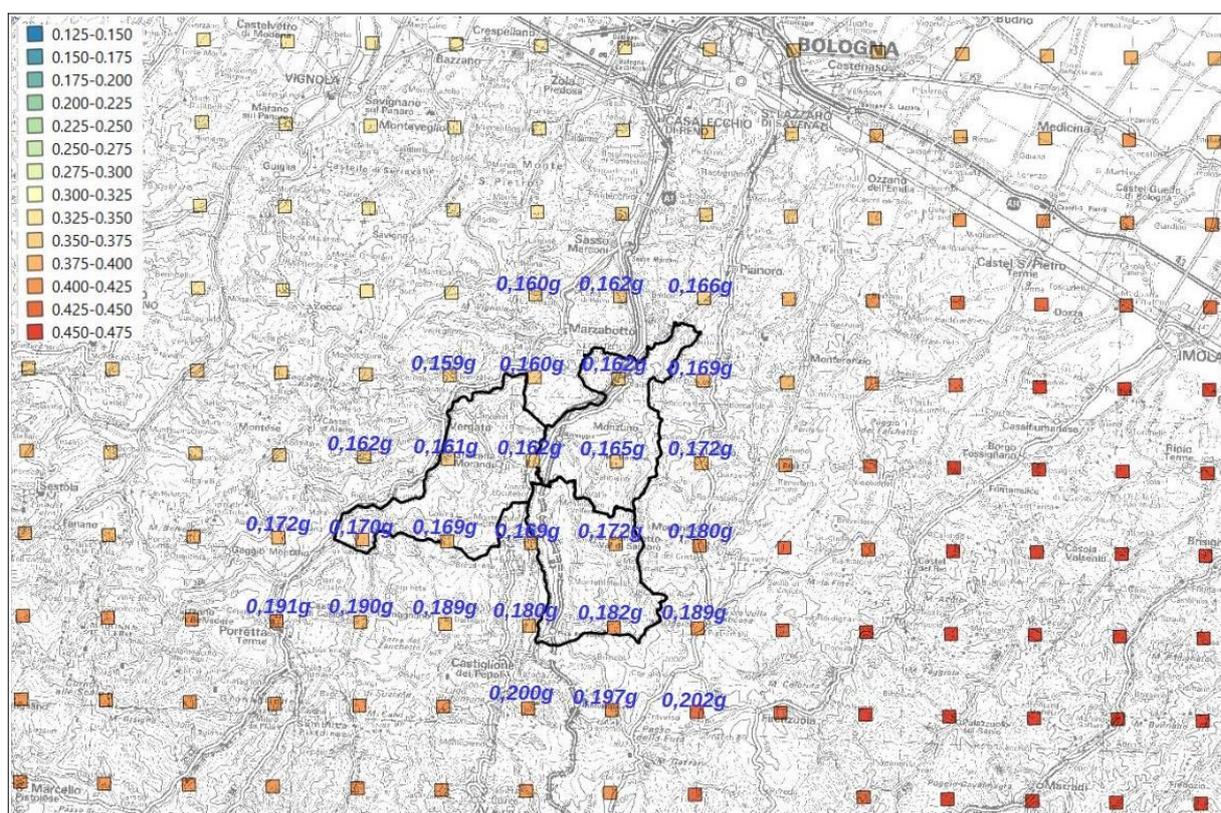


Figura 2.3 – Reticolo INGV di pericolosità sismica. La figura riporta i punti della griglia relativi al territorio comunale di Grizzana Morandi, Monzuno e San Benedetto Val di Sambro

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 San Benedetto Val di Sambro 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.

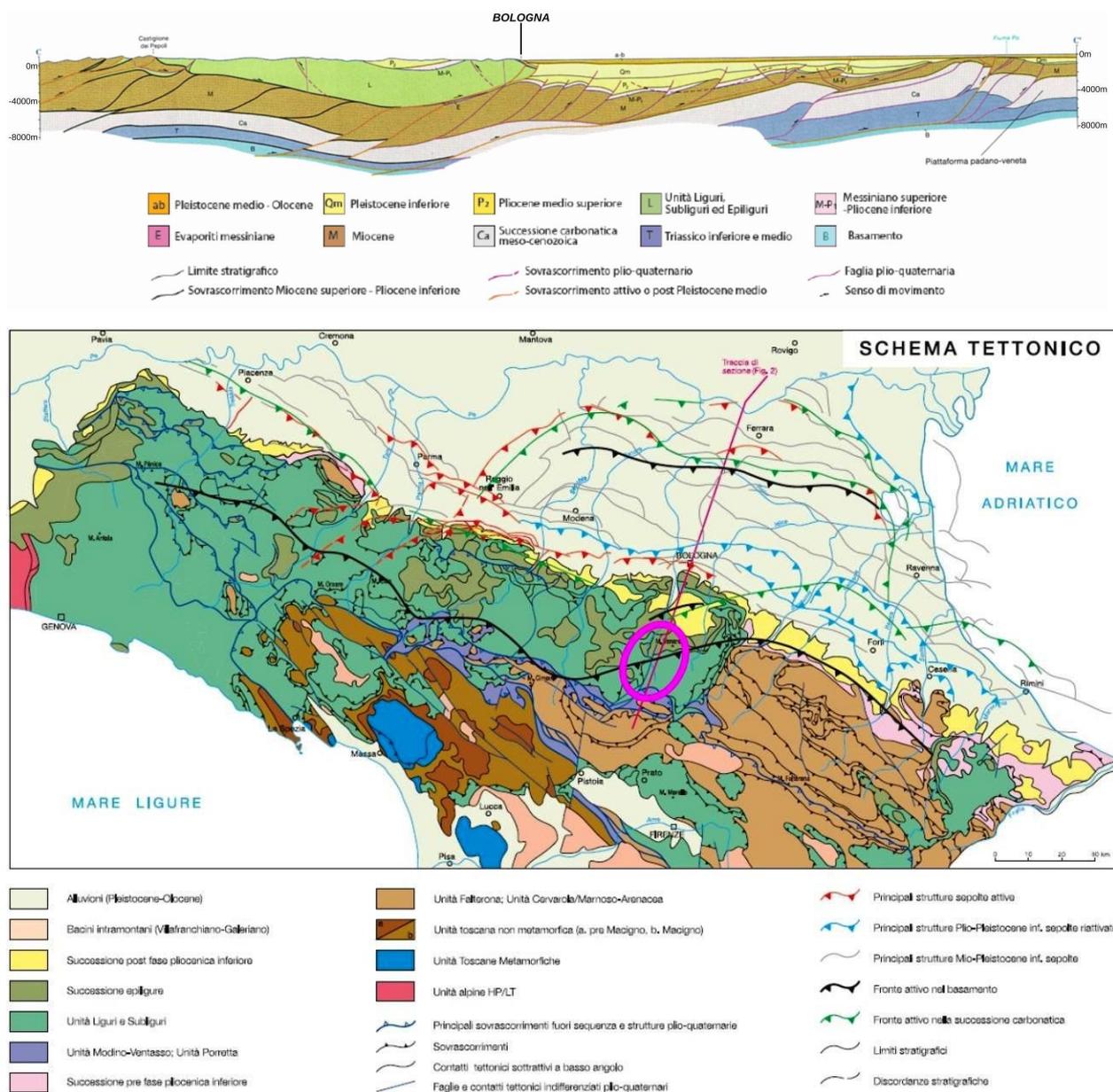


Figura 3.1 – Schema geologico e tettonico del territorio emiliano-romagnolo, tratto dalle “Note Illustrative alla Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna” (ed. 2004). Il territorio studiato è localizzato nel cerchiato fucsia

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).

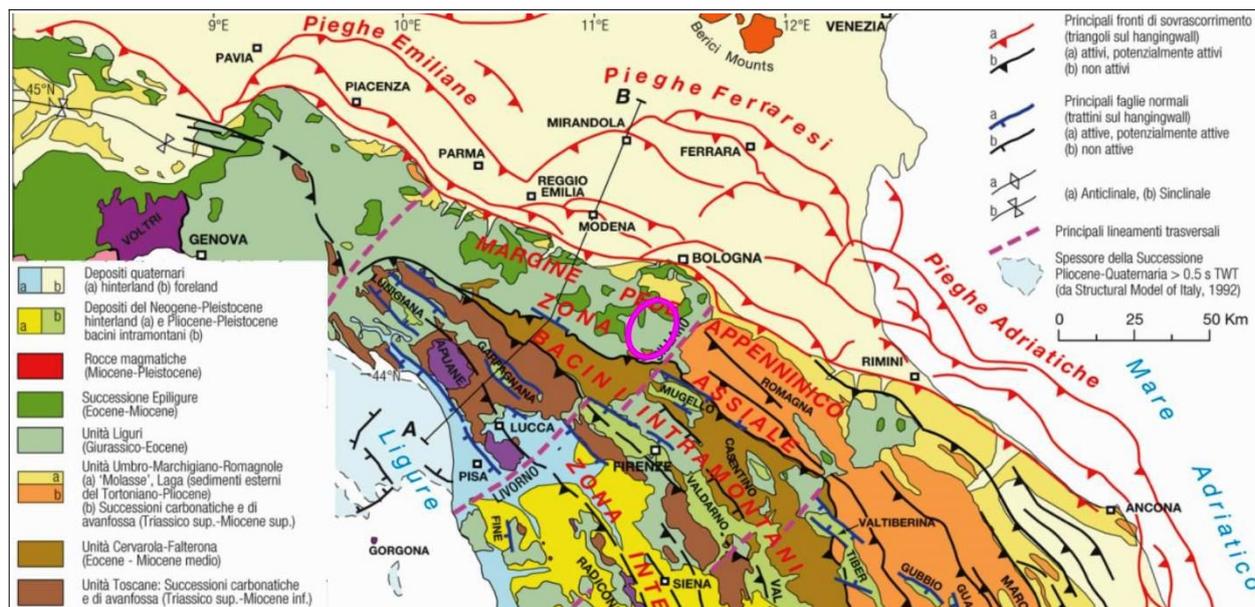


Figura 3.2 – Schema tettonico emiliano-romagnolo tratto dalle “Note Illustrative alla Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna a aree limitrofe” (ed. 2016). Il Territorio studiato è localizzato nel cerchiato fucsia

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

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

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

Rispetto al territorio in esame, l'andamento geografico del principale spartiacque, posto più a sud rispetto al territori di studio, evidenzia come la catena appenninica risulti dislocata tra le valli del Panaro e del Sillaro. In particolare, l'area del crinale appenninico tra Pracchia (Pistoia) e Castiglione dei Pepoli risulta compreso in una delle principali fasce di deformazione trasversale di questa parte della catena (figura 3.3). Sono infatti individuabili 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.

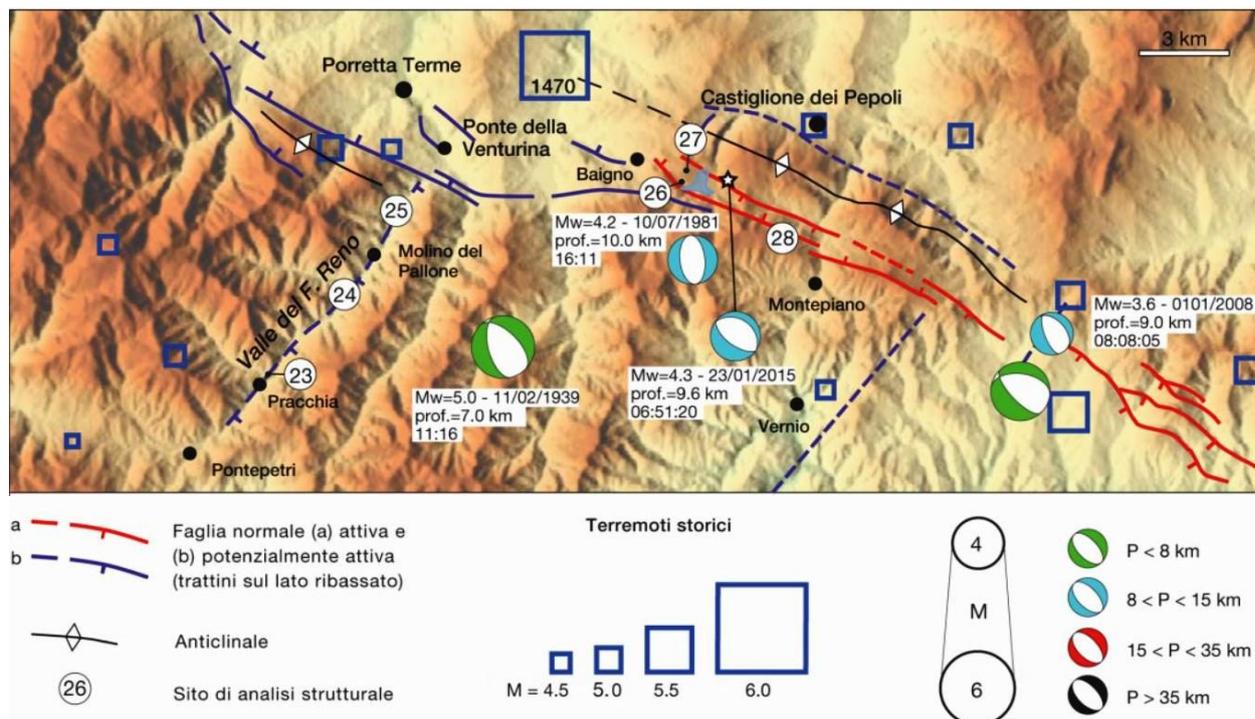


Figura 3.3 – Mappa schematica dell'area di crinale appenninico tra Valle del Reno e Castiglione dei Pepoli (da: Note Illustrative Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna e aree limitrofe – ed. 2016)

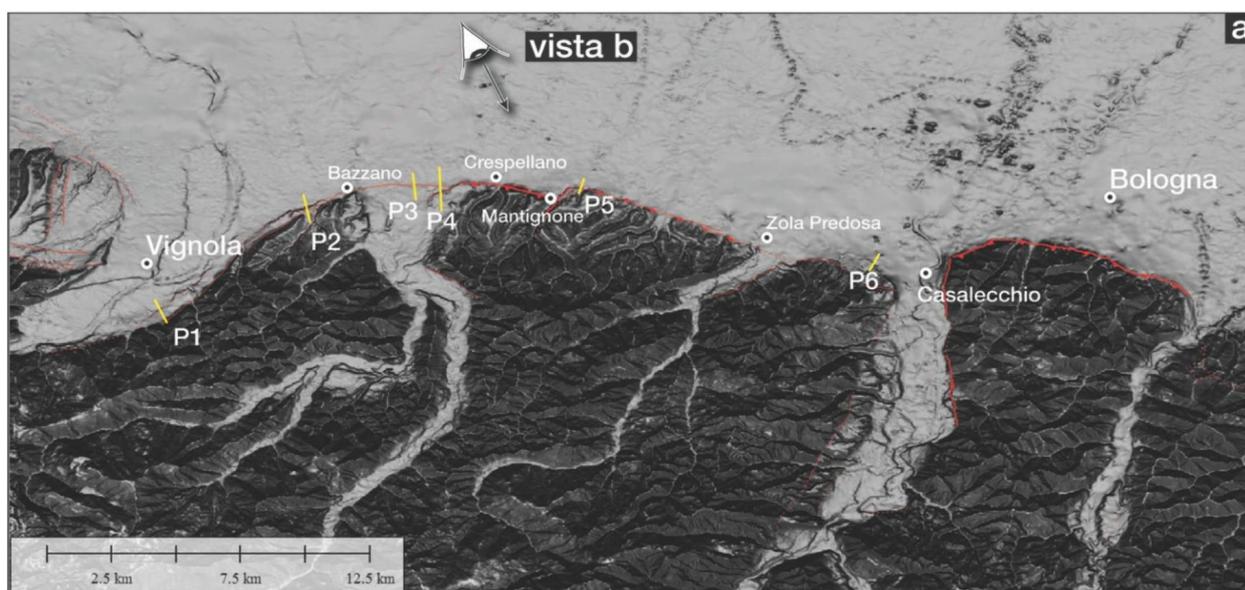


Figura 3.4 – Elaborazione DEM del fronte affiorante del margine appenninico tra Vignola e Bologna (da: Note Illustrative Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna e aree limitrofe – ed. 2016)

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

3.3.1 Elementi introduttivi

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

Il territorio comunale di San Benedetto Val di Sambro è costituito da substrato marino affiorante appartenente al dominio Ligure. Solo per un limitato settore sud-occidentale (a sud di Pian del Voglio), il substrato roccioso risulta di dominio subligure. La figura 3.5 rappresenta un'ulteriore schema di sintesi delle principali litologie (affioranti o meno).

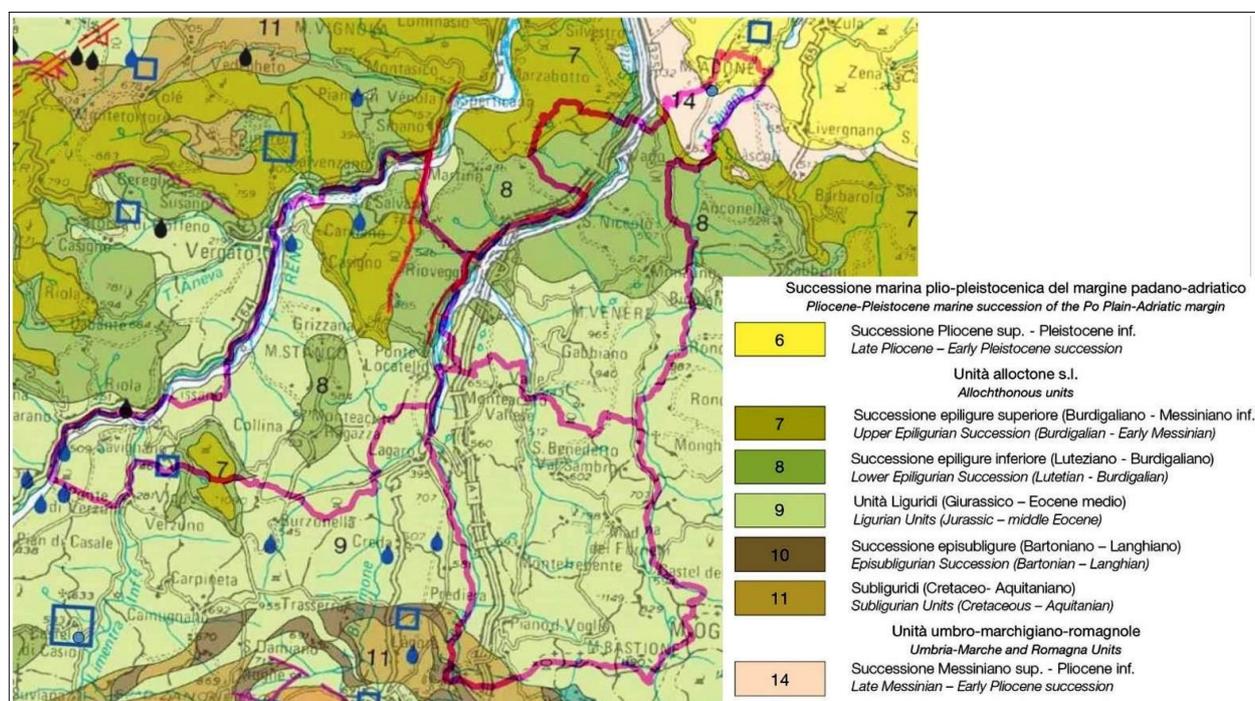


Figura 3.5 - Stralcio della Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna e aree limitrofe (ed. 2016) e della sua legenda (unità geologiche affioranti nel territorio comunale di Grizzana Morandi, Monzuno e San Benedetto Val di Sambro)

Le unità litostratigrafiche Subliguri sono qui rappresentate da argilliti a struttura scagliosa per le elevate deformazioni tettoniche ("Argille Varicolori").

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".

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. e depositi eluvio-colluviali.

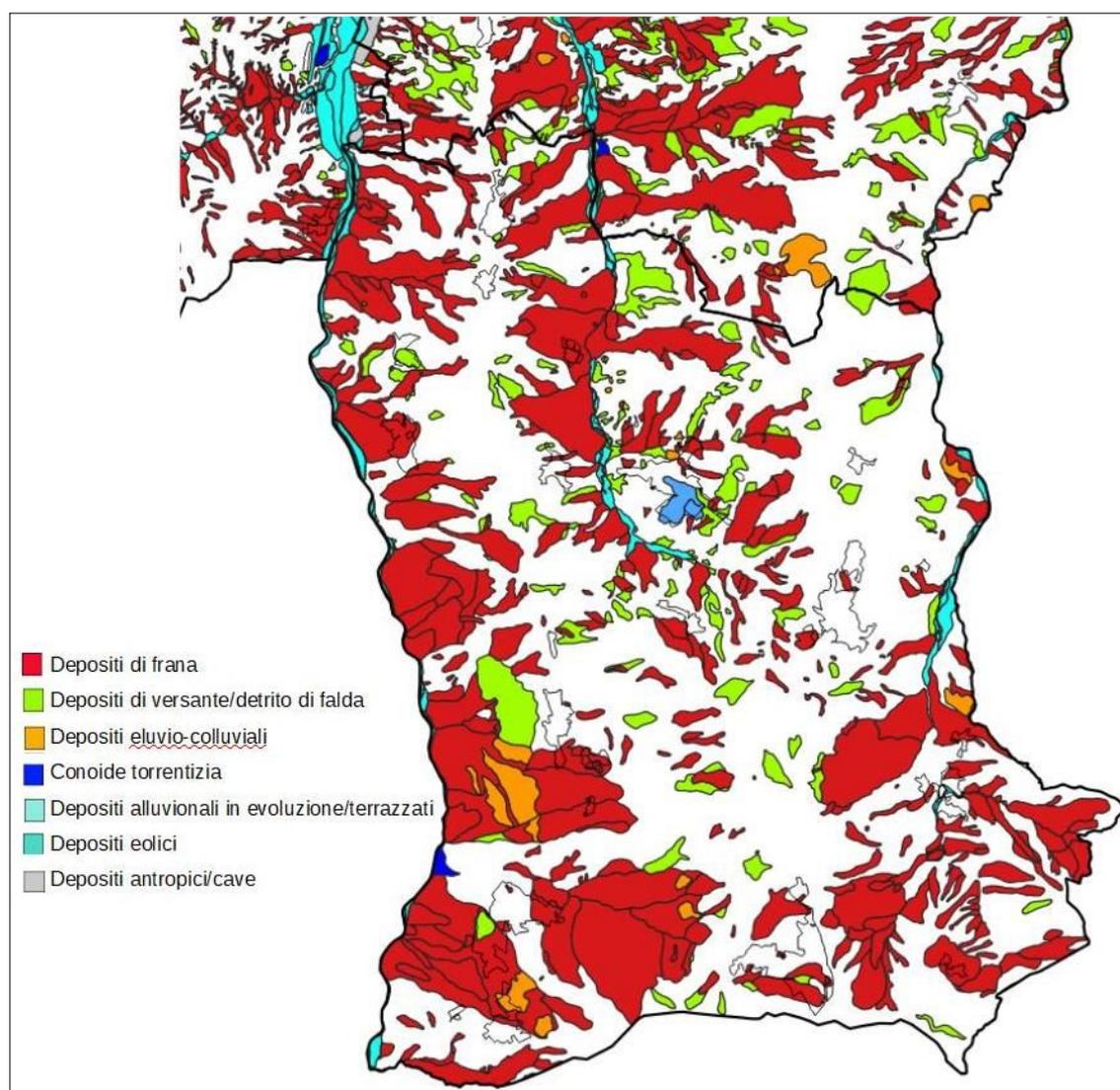


Figura 3.6 – Depositi continentali quaternari nel territorio comunale di San Benedetto Val di Sambro (fonte dati vettoriali: SGSS Regione Emilia-Romagna)

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 San Benedetto Val di Sambro.

3.3.2 Unità Subliguridi

AVC – Agilliti Variegata con Calcari

Argilliti, talora marnose, bruno verdastre o grigio-verdi, talora in bande blu, nocciola in

superficie alterata, in strati sottili con intercalate calcilutiti grigie (bianco-giallastre in superficie alterata), in strati da sottili a molto spessi, a volte marnose al tetto, e siltiti e arenarie fini in strati sottili. Rapporto A/C >1. Strati calcareo-marnosi grigi, biancastri se alterati, da spessi a molto spessi, con base calcarenitica fine; brecce a matrice argillosa bruna a prevalenti clasti di calcari tipo palombini; argilliti grigio-piombo in livelli di spessore decimetrico alternate a calcari silicei grigio-bluastri in strati sottili e medi. Localmente sono presenti di brecce di oficalciti e gabbri (bo) e basalti brecciati (Bb). Deformazione tettonica molto intensa che dà origine ad una foliazione ben marcata estremamente pervasiva nelle argilliti, mentre i livelli più competenti si presentano sottoforma di boudins e cerniere sradicate; solo molto raramente la stratificazione originale è preservata. Deposito di ambiente marino profondo. Contatto inferiore non affiorante; interdigitazioni con BAP. Potenza fino a circa 800 m. Età deposizionale: Cretaceo inf. – Eocene.

3.3.3 Unità Liguridi (formazioni “pre flysch”)

APA – ARGILLE A PALOMBINI

Argilliti ed argilliti siltose grigio scure, più raramente verdi, rossastre o grigio-azzurrognole, fissili (nella pelite è spesso presente un clivaggio scaglioso a carattere pervasivo), alternate a calcilutiti silicizzate grigio chiare e grigio-verdi, biancastre in superficie alterata, talvolta con base arenitica da fine a grossolana, in strati da medi a spessi (molto spesso discontinui per motivi tettonici) e più rari calcari marnosi grigi e verdi in strati spessi. Rapporto Argilla/Calcare quasi sempre >1. Frequenti intercalazioni di siltiti ed arenarie torbiditiche fini (talora mangesifere) a tetto pelitico in letti molto sottili e sottili di colore grigio scuro (o beige se alterate) e di calcareniti medio-grossolane in strati da medi a spessi. La formazione in genere è intensamente deformata con perdita dell'originario ordine stratigrafico alla scala dell'affioramento; gli strati calcilutitici sono spesso “boudinati”, a luoghi silicizzati, pervasivamente fratturati e caratterizzati da una fitta rete di vene di calcite, spalmature verdastre sulle superfici di strato e frattura concoide. All'interno della formazione sono talora stati cartografati lembi di ofioliti (of) giurassiche, fino a decametrici.

Sedimentazione pelagica argillosa, intervallata da risedimentazione di fanghi carbonatici. Contatti ovunque tettonici o non affioranti. Potenza geometrica variabile da alcune decine ad alcune centinaia di metri. Età deposizionale: da: Cretaceo inf. A: Turoniano

AVT – ARGILLE VARIEGATE DI GRIZZANA MORANDI

Argilliti e argille rosso violacee, verdastre, grigio-scure e grigio azzurrognole, con subordinate siltiti grigio-scure o nere mangesifere, in strati sottili o molto sottili e calcilutiti grigio-verdi in strati sottili e medi. Formazione intensamente deformata con perdita dell'originario ordine stratigrafico alla scala dell'affioramento. Pelagiti e torbiditi distali di ambiente di piana abissale. Contatto inferiore non preservato. Potenza fino a 200 m circa. Età deposizionale: da: Cenomaniano A: Santoniano superiore .

3.3.4 Unità Liguridi

MLL – FORMAZIONE DI MONTE MORELLO

Torbiditi a basi calcarenitiche e calcilutitiche prevalentemente fini, passanti a calcari marnosi ed a marne verdine o biancastre, in banchi e strati da spessi a molto spessi. Localmente areniti fini in strati da medi a spessi di colore grigio, marrone all'alterazione. Contatti tettonici con le altre formazioni. Torbiditi di ambiente marino profondo. Potenza geometrica da pochi metri fino a 600 m. Età deposizionale: Ypresiano–Luteziano

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 arcocica 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 fomici; 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.

3.4 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 a1 b)

a2d – Deposito di frana per colamento lento

(descrizione analoga a a1 d)

a2g – Deposito di frana complessa

(descrizione analoga a a1 g)

a2h – Deposito di frana per scivolamento in blocco

Deposito costituito da masse di dimensioni più o meno rilevanti di roccia che, pur scivolato 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.

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 San Benedetto Val di Sambro. 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: Variante Generale al Piano Regolatore e 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. 38 carotaggi (a carotaggio continuo o a distruzione di nucleo);
- ✓ n. 13 prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT)
- ✓ n. 53 prove penetrometriche dinamiche superpesanti (DPSH)
- ✓ n. 3 prove penetrometriche dinamiche medie (DM)
- ✓ n. 1 prova sismica in foro "Down-Hole" (DH)
- ✓ n. 4 stendimenti sismici a rifrazione (SR)
- ✓ n. 6 stendimenti sismici attivi MASW;
- ✓ n. 7 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. 16 prove penetrometriche dinamiche superpesanti (DPSH) → eseguite con mezzo semovente cingolato "Pagani" e spinte fino a "rifiuto strumentale".
- ✓ n. 8 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. 70 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.

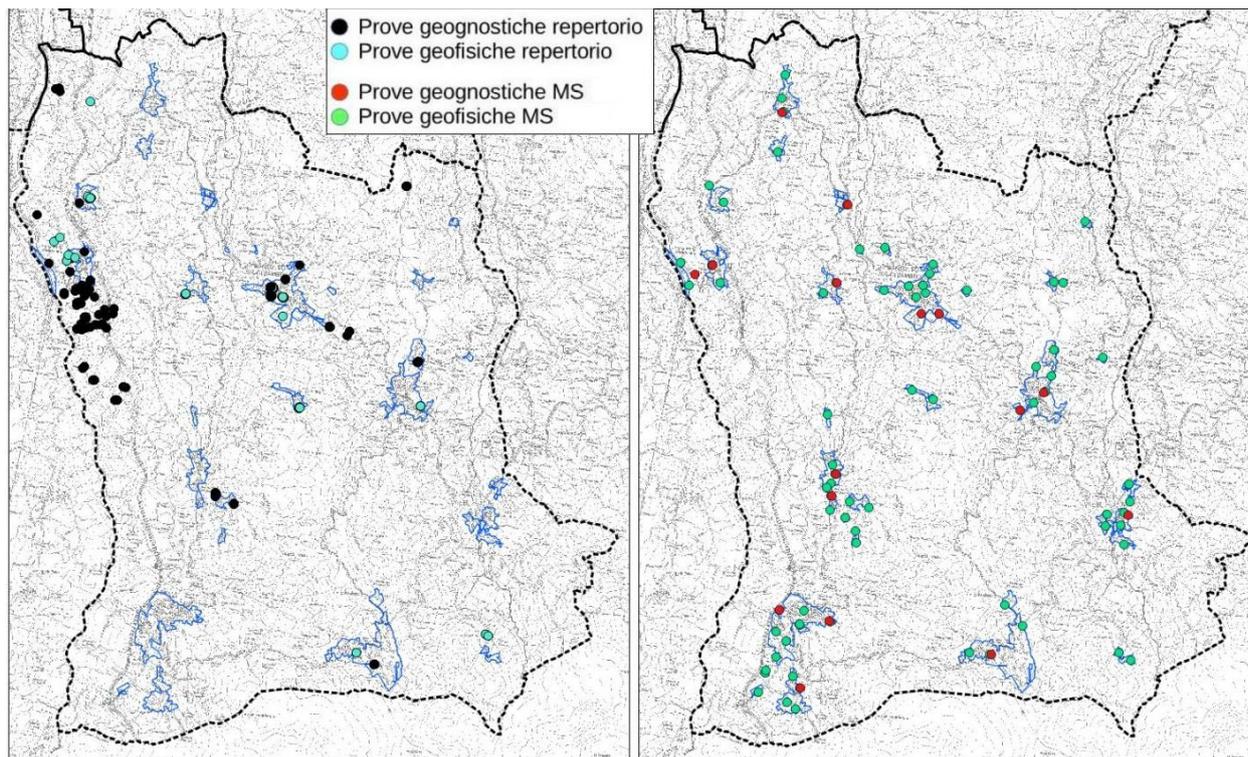


Figura 4.1 - Localizzazione delle indagini di repertorio (a sx) e delle indagini integrative (a dx) eseguite per questo studio

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 Montecuto Vallese e San Rocco

Le due frazioni si insediano sul crinale spartiacque tra il bacino idrografico del Setta (a ovest) e quello del Sambro (a est). I rilievi sono caratterizzati da substrato roccioso con alternanze di livelli lapidei/arenacei e pelitici, attribuiti alla Formazione di Monte Venere (MOV) nel settore studiato nord e alla Formazione di Monghidoro (MOH) nel settore meridionale (San Rocco). La stratificazione risulta rovesciata, da nord vergente a SE vergente nel settore meridionale (San Rocco). Nei versanti la cartografia geologica RER individua diffuse forme di dissesto (per scivolamento e/o colamento) con zone di coronamento che intersecano i perimetri urbanizzati (figura 5.1).

Le indagini effettuate e disponibili (DPSH; HVSr; MASW) evidenziano coperture fino a circa 10 metri, presumibilmente legate al disfacimento superficiale del substrato roccioso, che risulta tuttavia alterato tettonicamente (figura 5.2). Le registrazioni HVSr confermano questa condizione, con amplificazioni spettrali H/V (da moderate ad alte) a frequenze alte (figura 5.2). Per i rilievi e le creste, le sezioni topografiche elaborate per questo studio hanno consentito di stimare amplificazioni morfologiche comprese tra 1,1 e 1,2.

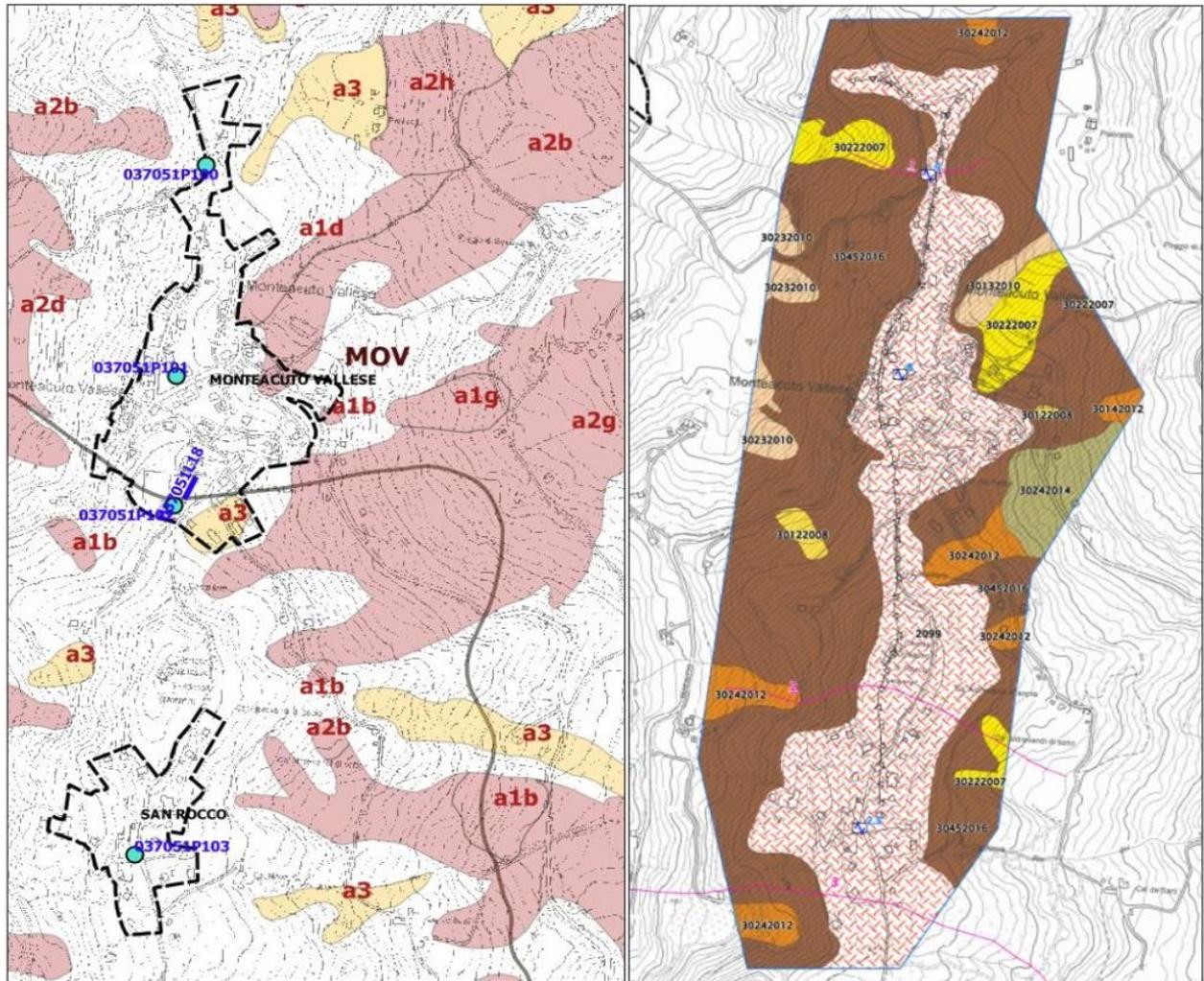


Figura 5.1 - A sx: substrato geologico, coperture quaternarie e discontinuità tettoniche rilevate. Si riportano le prove geognostiche/geofisiche di riferimento. A dx: delimitazione delle zone MOPS

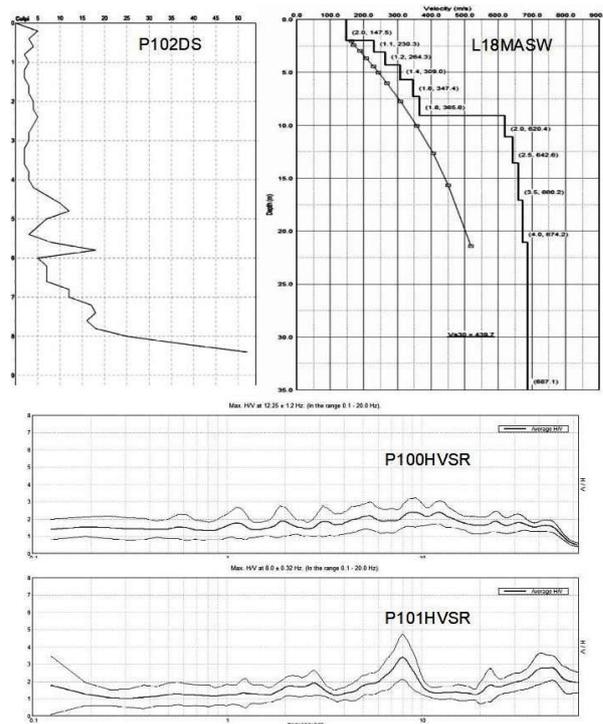


Figura 5.2 - Penetrometria DPSH, MASW (modello sismostratigrafico) e registrazioni effettuate presso Montecatone Vallesse

5.2 Ripoli

La frazione Ripoli si colloca sul versante a mezza costa in dx idrografica del torrente Setta. I rilievi sono caratterizzati da alternanze di livelli lapidei/arenacei e pelitici, attribuiti alla Formazione di Monghidoro (MOH), con stratificazione rovesciata prevalentemente immergente verso est. Nei versanti la cartografia geologica RER individua diffuse forme di dissesto (per scivolamento e/o colamento) con zone di coronamento che intersecano i perimetri urbanizzati (figura 5.3).

L'abitato è prevalentemente insediato su coperture di versante, inoltre la cartografia geologica RER rileva nei versanti circostanti forme di dissesto (prevalentemente per scivolamento e complesse) che lambiscono in alcuni tratti anche il perimetro urbanizzato. A ovest di Ripoli, la porzione basale del versante fino al fondovalle del torrente Setta, è inoltre interessata da estese frane attive per scivolamento in blocco.

Le indagini disponibili (DPSH; MASW; HVSR) hanno evidenziato settori di territorio con coperture (dep. di versante e bedrock superficiale molto alterato) fino a circa 10 metri (figura 5.4), mentre il substrato roccioso affiorante risulta “non rigido” e alterato per deformazioni tettoniche, con Vs30 relativamente basse (approssimabile a 400 m/s).

A valle delle aree abitate la presenza di pendii acclivi ha necessitato di elaborare sezioni topografiche, con stima delle amplificazioni morfologiche comprese tra 1,1 e 1,2.

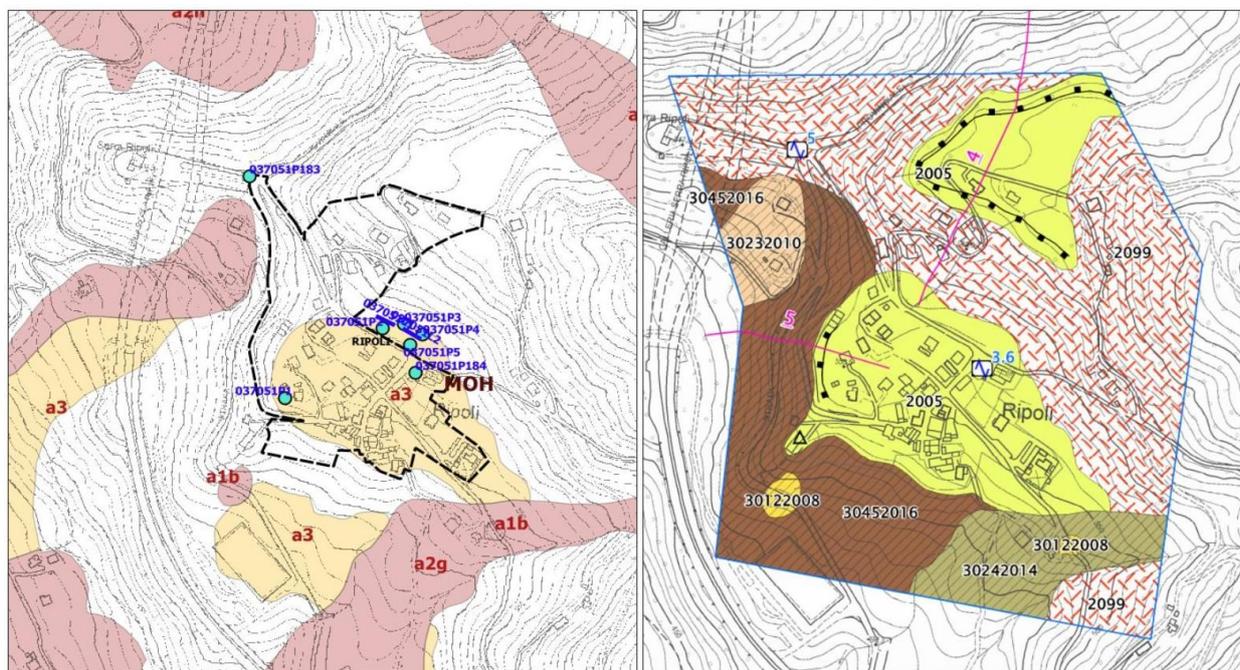


Figura 5.3 – A sx: substrato geologico, coperture quaternarie e discontinuità tettoniche rilevate. Si riportano le prove geognostiche/geofisiche di riferimento. A dx: delimitazione delle zone MOPS

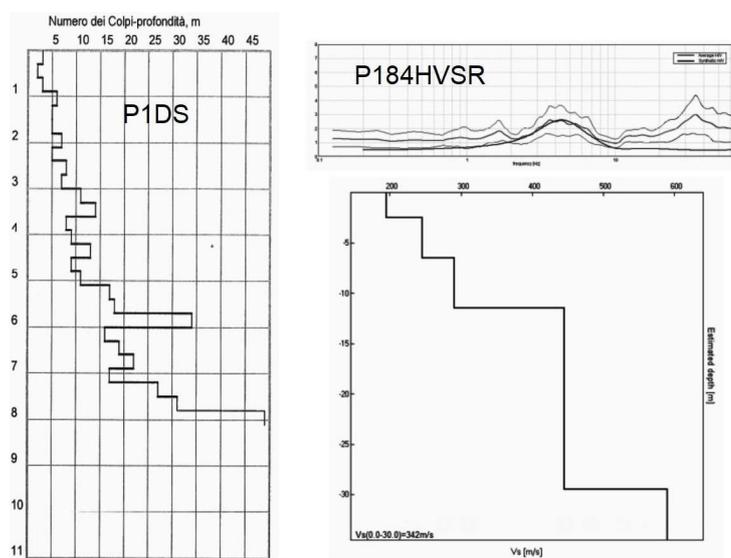


Figura 5.4 - DPSH e registrazione HVSR (con modello sismostratigrafico) effettuate nel settore di abitato con coperture (MOPS 2005)

5.3 Trastullo

Il toponimo ricade al piede del pendio in sinistra idrografica del torrente Sambro. La carta geologica RER indica che il substrato roccioso è da attribuire alla Formazione di Monte Venere (MOV) nel piede del versante abitato, e alla Formazione di Monghidoro (MOH) nel settore da mezza costa fino ai sovrastanti rilievi di crinale meridionale (San Rocco). La cartografia RER indica tuttavia che il versante di interesse è incluso in un'estesa forma di dissesto per scivolamento in blocco quiescente (figura 5.5).

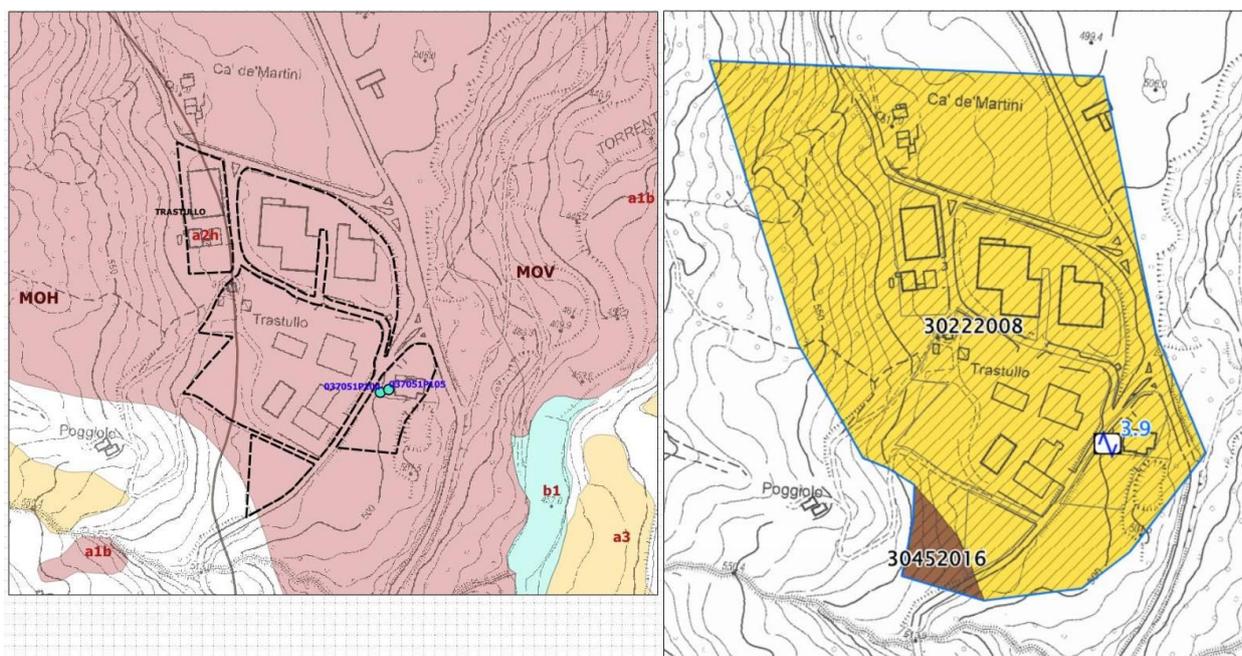
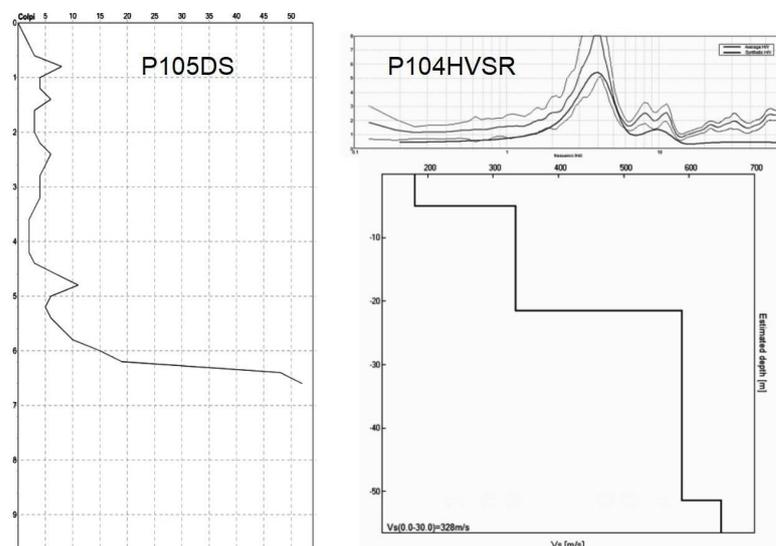


Figura 5.5- A sx: substrato geologico, coperture quaternarie e discontinuità tettoniche rilevate. Si riportano le prove geognostiche e geofisiche di riferimento. A dx: delimitazione delle zone MOPS

Le indagini effettuate (DPSH; HVSR) hanno evidenziato coperture scarsamente resistenti fino a circa -6 metri, tuttavia la registrazione HVSR evidenzia un elevato picco spettrale H/V a medie frequenze (circa 4 Hz) che è presumibilmente associato a un marcato riflettore sismico più profondo (circa 20 metri?), come indicato anche in figura 5.6. Tale riflettore è stato interpretato come base dei depositi, molto alterati, dislocati dalla frana.

Figura 5.6 - Penetrometria DPSH e registrazione HVSR (con modello sismostratigrafico locale) eseguite presso il toponimo Trastullo



5.4 Santa Maria Maddalena

La frazione è situata nel versante in destra idrografica del torrente Setta. Gran parte del perimetro abitato viene a ricadere in un'ampio corpo di frana attiva per scivolamento a blocchi (figura 5.7), attualmente monitorato e oggetto di estese indagini di carattere geognostico e geofisico (sondaggi a carotaggio continuo e "Down-Hole"; stendimenti a rifrazione; ecc.).

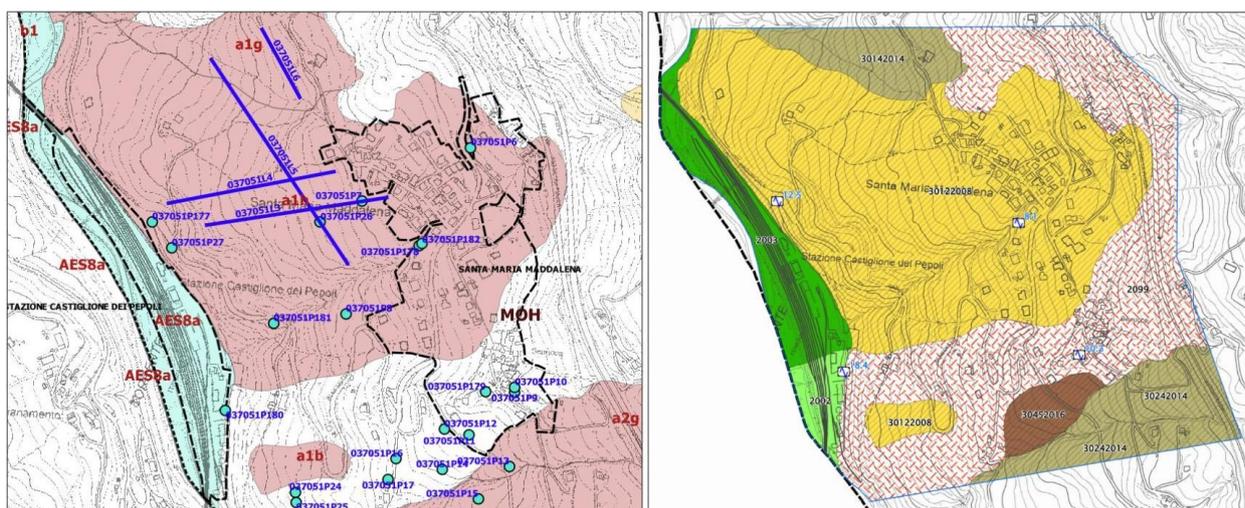


Figura 5.7 - A sx: substrato geologico, coperture quaternarie e discontinuità tettoniche rilevate. Si riportano le prove geognostiche/geofisiche di riferimento. A dx: delimitazione delle zone MOPS

Tali indagini hanno evidenziato diffuse coperture di spessore variabile da 3÷5 fino a 10÷13 metri, sovrastanti substrato roccioso non rigido e alterato della Formazione di Monghidoro (MOH), costituito da alternanze di livelli lapidei e strati pelitici (con Vs comprese tra 400 e 500

m/s). Ulteriori indagini disponibili (sondaggi; DPSH e registrazioni HVSR) confermano come il maggior contributo alla RSL possa essere attribuito alle coperture sopra descritte. In particolare le registrazioni HVSR riscontrano massime amplificazioni spettrali H/V (anche di intensità moderata/alta) ad alte frequenze comprese tra 8÷13 Hz circa (figura 5.9).

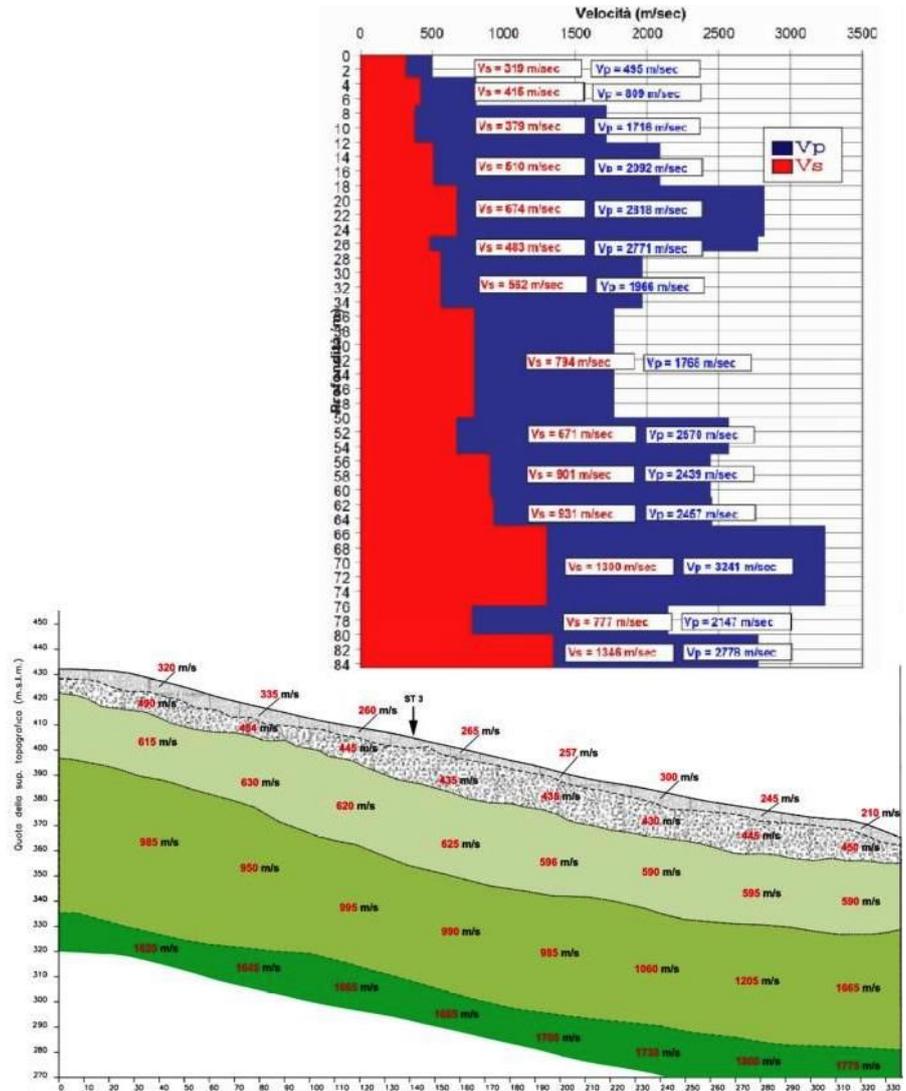
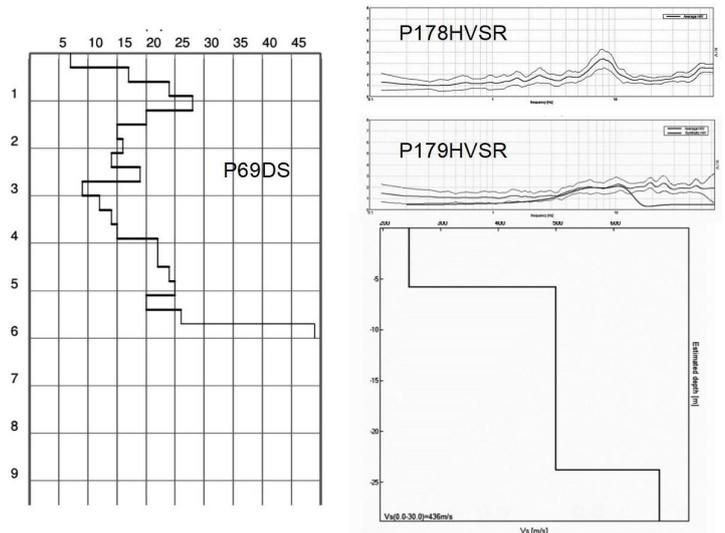


Figura 5.8 - "Down-Hole" (P26DH) e stendimento sismico a rifrazione (L3SR) effettuati per conto di SPEA nel 2011 (versante a valle di Santa Maria Maddalena)

Figura 5.9 - Penetrometria DPSH e registrazioni HVSR (con modello sismostratigrafico) eseguite presso Santa Maria Maddalena



5.5 S. Andrea

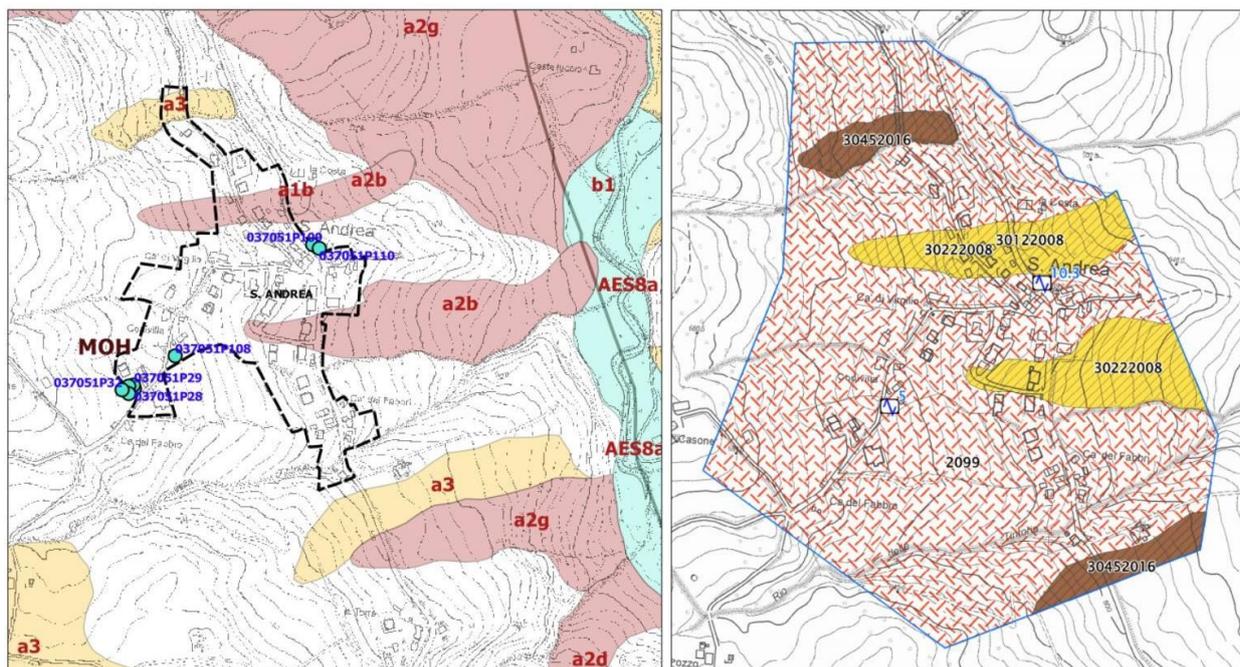


Figura 5.10- A sx: substrato geologico, coperture quaternarie e discontinuità tettoniche rilevate. Si riportano le prove geognostiche/geofisiche di riferimento. A dx: delimitazione delle zone MOPS

La frazione si colloca a mezza costa nel versante in destra idrografica del torrente Sambro, con rilievi localmente caratterizzati da alternanze di livelli lapidei/arenitici e peliti (substrato roccioso attribuito alla Formazione di Monghidoro – MOH). La cartografia geologica RER rileva forme di dissesto quiescenti (per scivolamento), con zone di coronamento che intersecano il perimetro abitato (figura 5.10); le superfici di scorrimento hanno coinvolto presumibilmente il bedrock superficiale più alterato.

Le indagini disponibili (penetrometrie DPSH; HVSR) hanno evidenziato coperture fino a 3÷4 metri (figura 5.10), riconducibili a disfacimento/alterazione del bedrock affiorante, con registrazioni HVSR che riscontrano massime amplificazioni spettrali H/V a frequenze alte (5,5 ÷ 10 Hz).

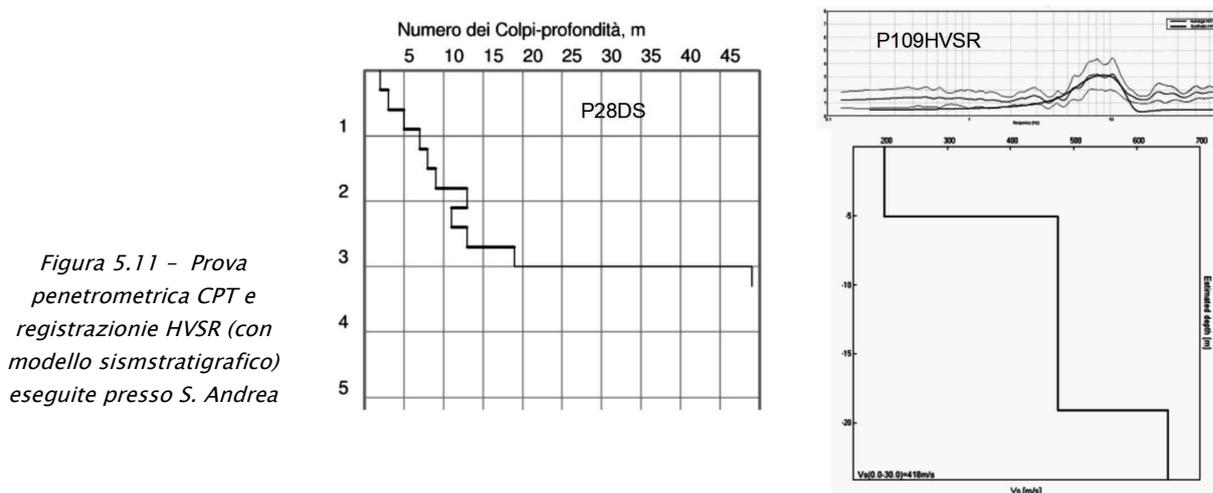


Figura 5.11 – Prova penetrometrica CPT e registrazione HVSR (con modello sismostratigrafico) eseguite presso S. Andrea

5.6 Molino Nuovo e San Martino

I due toponimi sono situati nel versante in destra idrogradica del torrente Sambro; in particolare, Molino Nuovo si insedia al piede, sui depositi alluvionali terrazzati del corso d'acqua. Il substrato che caratterizza il pendio e il fondovalle è localmente costituito da alternanze di livelli lapidei/arenitici e peliti (Formazione di Monte Venere - MOV).

La cartografia geologica RER rileva nel pendio di interesse depositi di versante e forme di dissesto (scivolamento e complesse), che lambiscono anche il perimetro urbanizzato (figura 5.12).

Le registrazioni HVSR effettuate evidenziano massime amplificazioni spettrali H/V a ad alte frequenze (10÷17 Hz) associabili a coperture fino a 3÷4 metri (figura 5.13).

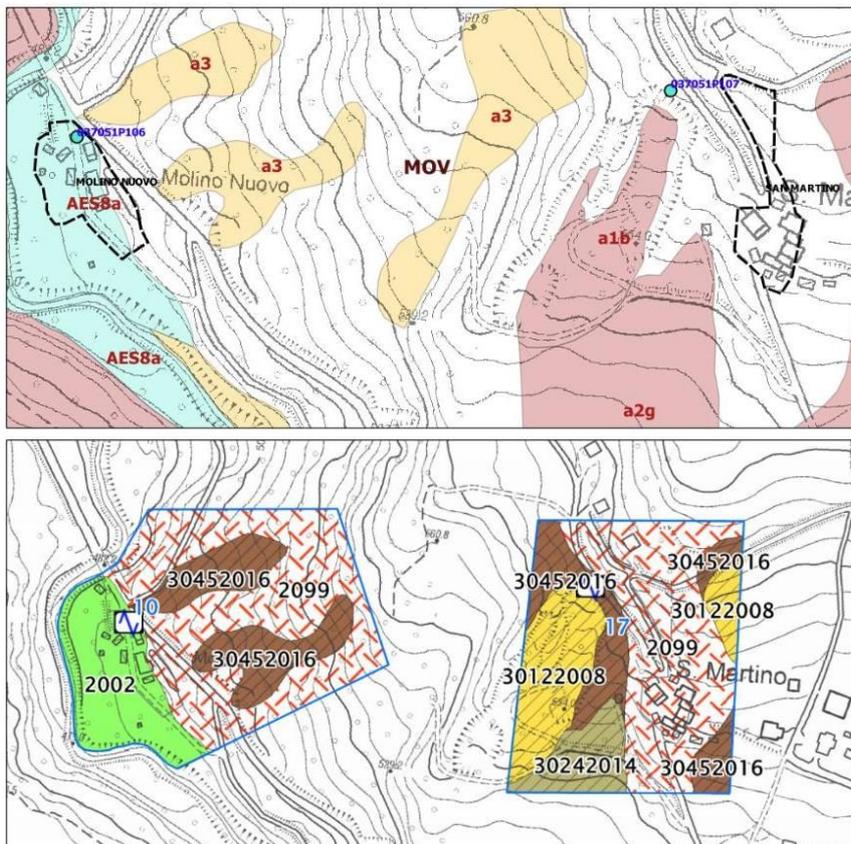


Figura 5.12 - In alto: substrato geologico, coperture quaternarie e discontinuità tettoniche rilevate. Si riportano le prove geognostiche/geofisiche di riferimento. In basso: delimitazione delle zone MOPS

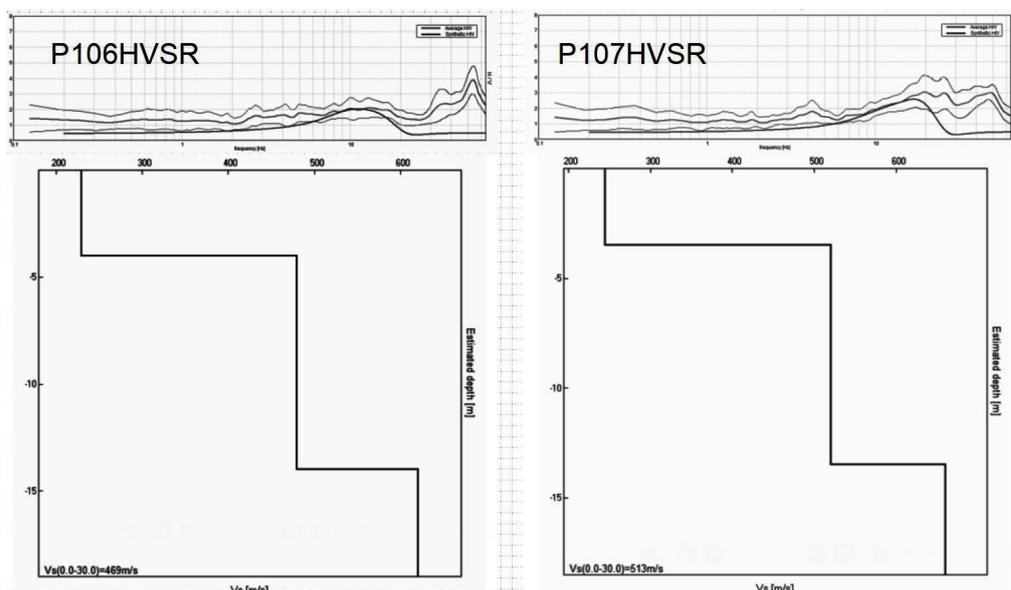


Figura 5.13 - Registrazioni HVSR eseguite nel fondovalle presso Molino Nuovo (a sx) e nel versante presso San Martino (a dx)

Per il Capoluogo sono state raccolte (tra quelle di repertorio e quelle di nuova esecuzione) molte indagini geognostiche/geofisiche (sondaggi; penetrometrie DPSH e CPT; stendimenti MASW e registrazioni HVSR), con buona distribuzione delle stesse. Le indagini geognostiche hanno evidenziato, in particolare, spessori di coperture “soffici” (depositi eolici e/o di versante; depositi di frana; bedrock molto alterato) variabile fino a circa 9÷12 metri (figura 5.15).

Le ricostruzioni sismostratigrafiche desunte dalle indagini MASW e HVSR confermano coperture “soffici” diffuse in tutto il perimetro dell'abitato (figure 5.16 e 5.17), individuate anche nei settori ove il substrato risulterebbe affiorante (molto alterato?). Le registrazioni HVSR hanno riscontrato massimi spettrali H/V, di intensità anche elevata, a frequenze medio alte (in particolare tra 5,5÷10,3 Hz) e dunque associabili alla base delle coperture sopra descritte. Sono tuttavia evidenti ulteriori alti spettrali a medio-basse frequenze (1,9÷2,5 Hz), che in alcuni casi risultano frequenze fondamentali, imputabili a riflettori profondi oltre 30 metri, nel substrato MOV “non rigido” ancora alterato e caratterizzato da Vs comprese tra 400 e 500 m/s).

Figura 5.15 – Penetrometrie DPSH rappresentative eseguite presso San Benedetto Val di Sambro

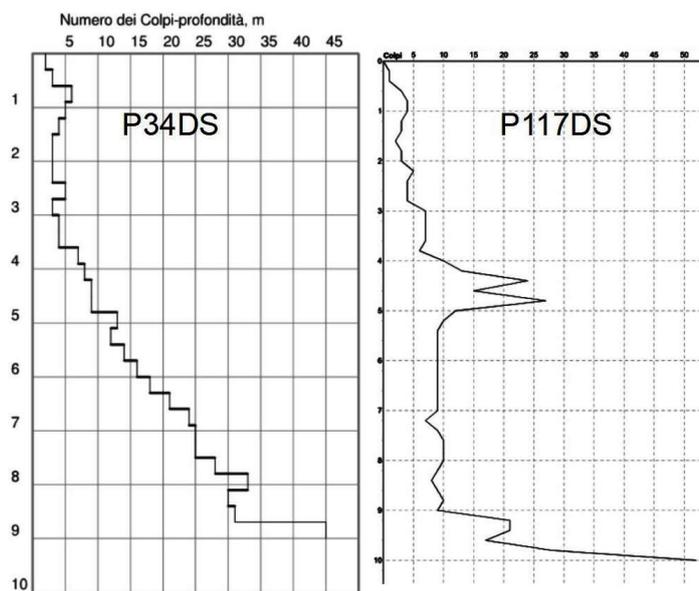
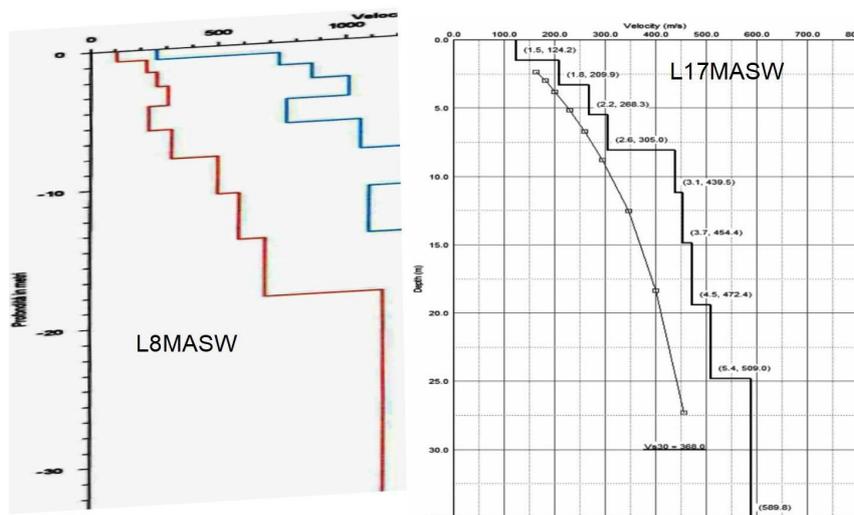


Figura 5.16 – Stendimenti MASW eseguiti presso San Benedetto Val di Sambro e modelli sismostratigrafici



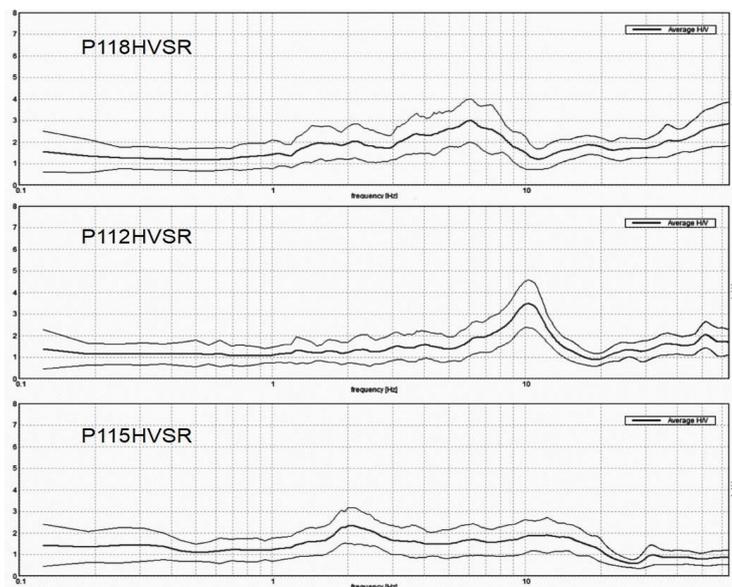


Figura 5.17 - Registrosi sismiche HVSR rappresentative eseguite presso San Benedetto Val di Sambro

5.8 Villa Cedrecchia

L'abitato di questo toponimo si colloca a mozzocosta del pendio in sinistra idrografica del torrente Savena. Il substrato roccioso affiorante nel versante è costituito da alternanze di livelli lapidei/arenitici e peliti (Formazione di Monte Venere - MOV).

La cartografia geologica RER indica come l'abitato sia insediato su coperture di versante e su depositi di frana quiescente per colamento (figura 5.18).

La registrazione HVSR effettuata su tali coperture (figura 5.19) ha evidenziato elevate amplificazioni spettrali H/V a frequenze alte, riconducibili a modesti spessori (fino a 3÷4 metri), mentre per il bedrock aggiorante circostante viene stimata una $V_{s30} = 450$ m/s.

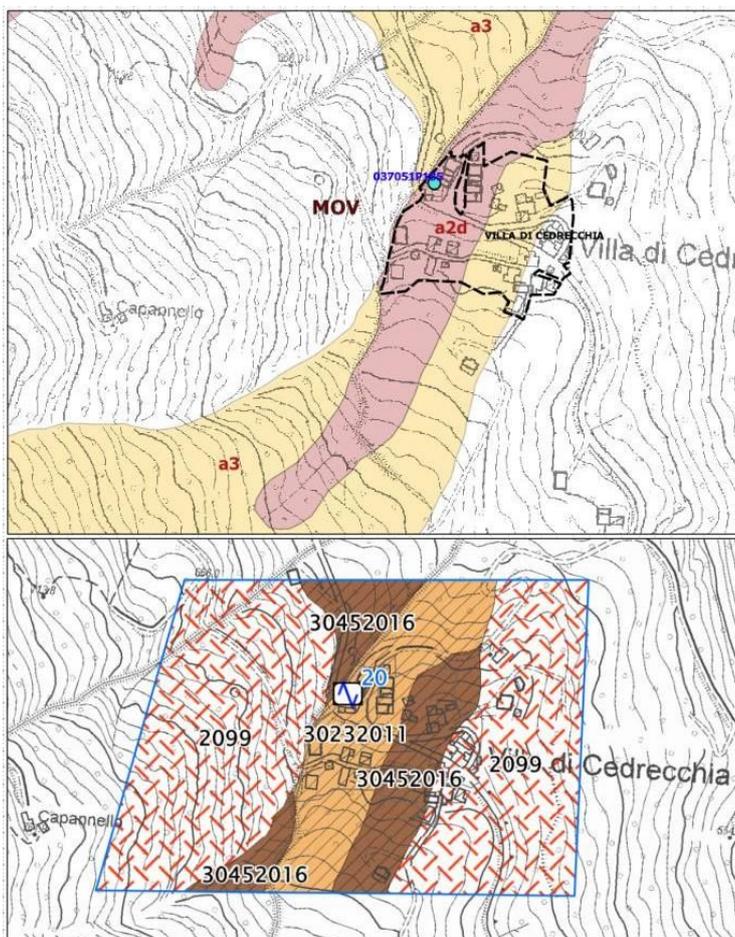
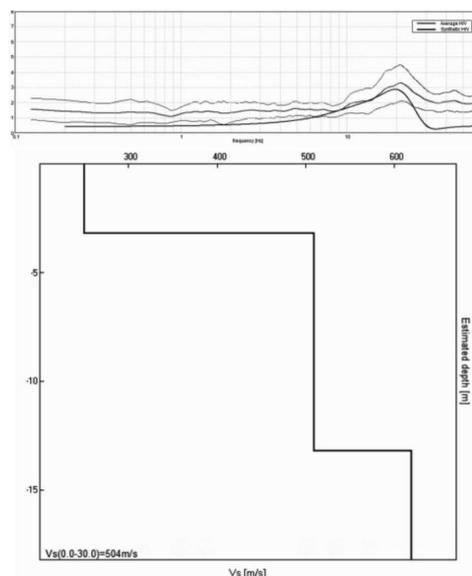


Figura 5.18 - In alto: substrato geologico, coperture quaternarie e discontinuità tettoniche rilevate. Si riportano le prove geognostiche/geofisiche di riferimento. In basso: delimitazione delle zone MOPS

Figura 5.19 – Registrazione HVSR effettuata presso Villa Cedrecchia e relativo modello sismostratigrafico



5.9 Cedrecchia

L'abitato di Cedrecchia è situato nel medesimo versante, a SE di Villa Cedrecchia, a quote tuttavia più elevate (a circa 800 m slm). I rilievi sono sempre caratterizzati da substrato roccioso costituito da alternanze di livelli lapidei/arenacei e pelitici (Formazione di Monte Venere - MOV). Le giaciture stratigrafiche rilevate (immersioni eterogenee, con strati rovesciati) sono l'evidenza delle significative deformazioni tettoniche che hanno coinvolto il bedrock locale (figura 5.20).

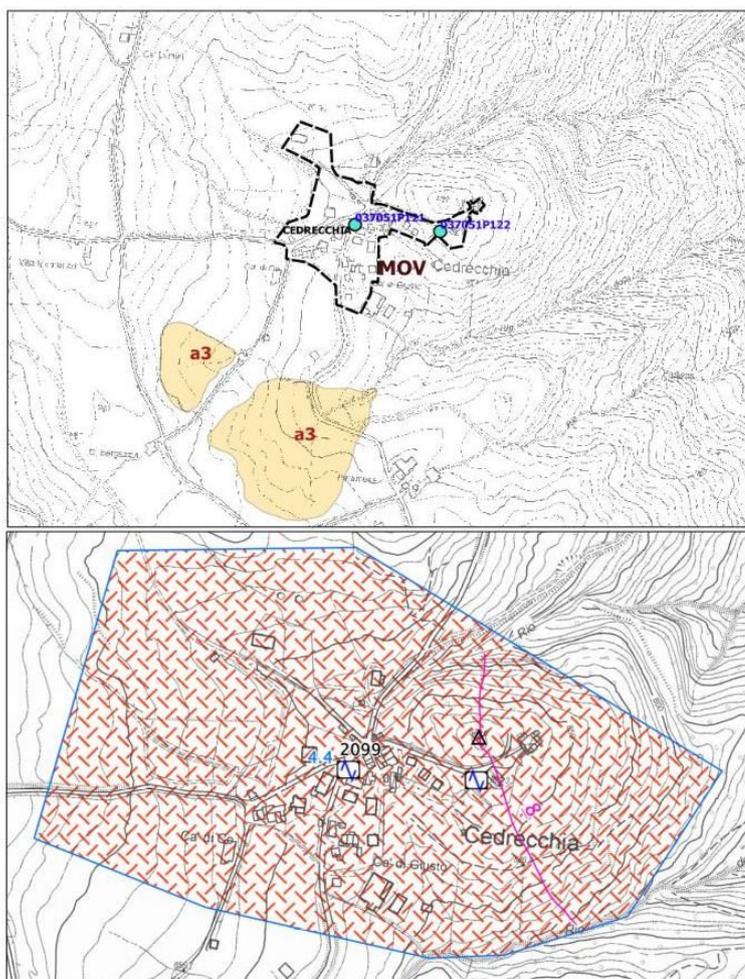
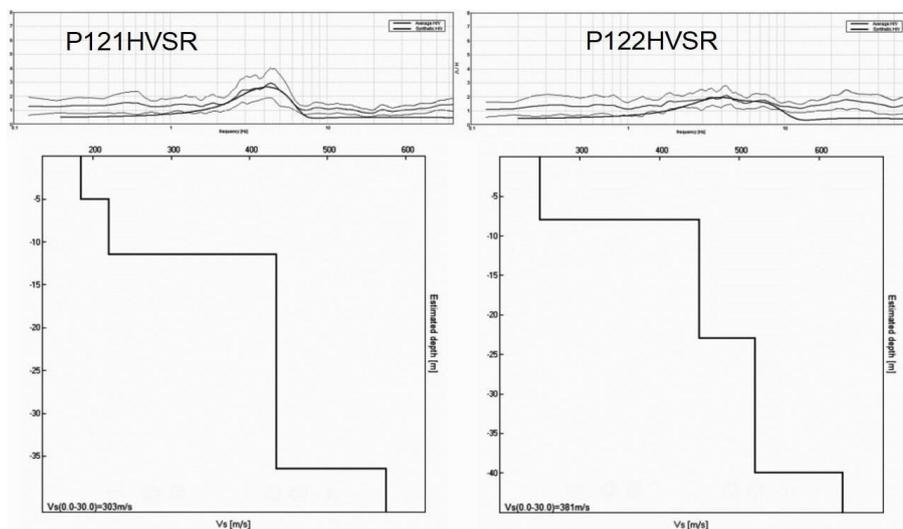


Figura 5.20 – In alto: substrato geologico, coperture quaternarie e discontinuità tettoniche rilevate. Si riportano le prove geognostiche/geofisiche di riferimento. In basso: delimitazione delle zone MOPS

Le registrazioni HVSR effettuate hanno evidenziato amplificazioni H/V a frequenze medio-alte (4,4 Hz) nel settore meno acclive, presumibilmente caratterizzato da coperture (bedrock molto laterato), mentre il versante più acclive (con pendenze fino a circa 40°) il substrato affiorante risulta comunque detensionato/alterato con Vs30 stimata pari a circa 381 m/s (figura 5.21).

Figura 5.21 – Registrazioni HVSR effettuate a Cedrecchia e relativi modelli sismostratigrafici



5.10 Madonna dei Fornelli e Zaccanesca

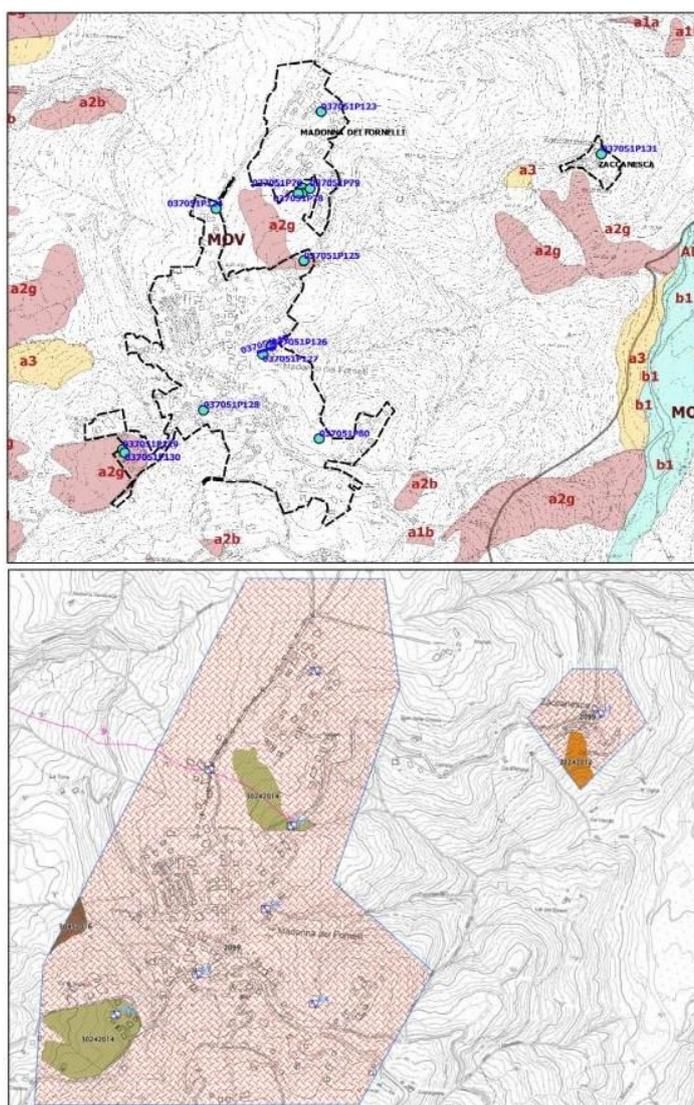


Figura 5.22 – In alto: substrato geologico, coperture quaternarie e discontinuità tettoniche rilevate. Si riportano le prove geognostiche/geofisiche di riferimento. In basso: delimitazione delle zone MOPS

La frazione di Madonna dei Fornelli e il toponimo Zaccanesca ricadono ancora su rilievi caratterizzati da substrato roccioso costituito da alternanze di livelli lapidei/arenacei e pelitici della Formazione di Monte Venere (figura 5.22). Le giaciture eterogenee (con strati anche rovesciati) evidenziano le significative deformazioni tettoniche che hanno coinvolto il bedrock locale.

Le indagini disponibili (DPSH; MASW; HVSR) risultano sufficientemente distribuite ed evidenziano che:

1. nel settore centro-meridionale di Madonna dei Fornelli e nel toponimo Zaccanesca sono presenti coperture “soffici” fino a 5÷7 metri, presumibilmente riconducibili a disfacimento del bedrock superficiale molto alterato (figura 5.23). le registrazioni HVSR evidenziano amplificazioni spettrali, anche elevate, a frequenze alte (5,6÷10,4 Hz);
2. nel settore più settentrionale dell'abitato di Madonna dei Fornelli le coperture non risultano significative, tuttavia il substrato MOV ancora risulta scarsamente rigido e alterato (con Vs30 approssimabile a 450 m/s). Le registrazioni HVSR non riscontrano amplificazioni spettrali H/V significative (figura 5.24).

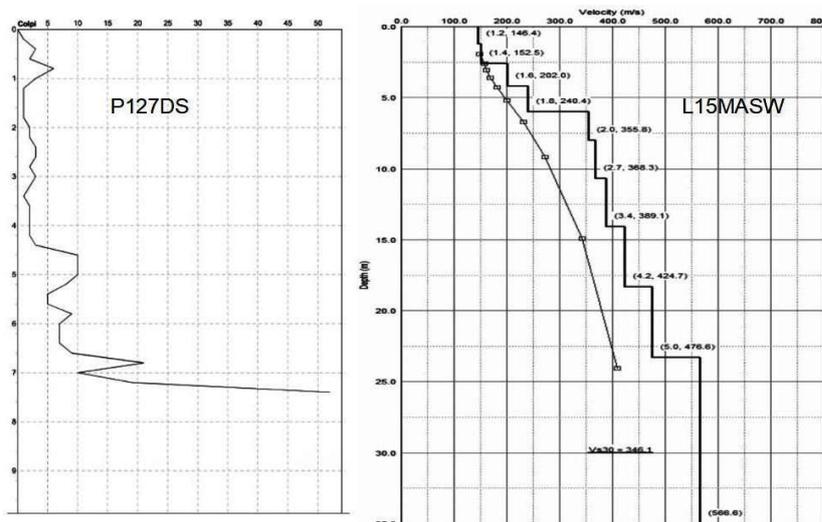


Figura 5.23- Penetrometria DPSH e MASW (modello sismostratigrafico) e registrazioni HVSR rappresentative del settore centro-meridionale di Madonna dei Fornelli

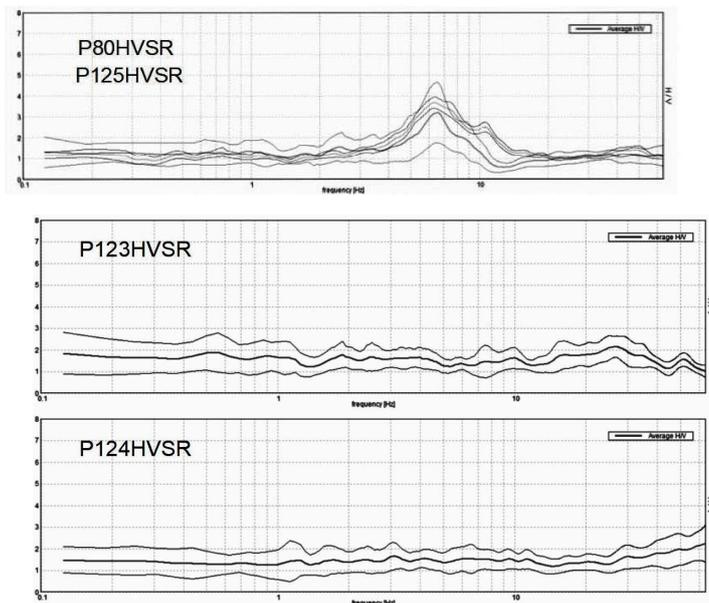


Figura 5.24- Registrazioni HVSR rappresentative del settore più settentrionale di Madonna dei Fornelli

5.11 Qualto

L'abitato di Qualto 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 pendii sottostanti depositi di versante e forme di dissesto di tipologia d'innesco per lo più colmplessa; a sud, una frana per scivolamento a blocchi lambisce il perimetro urbanizzato (figura 5.25).

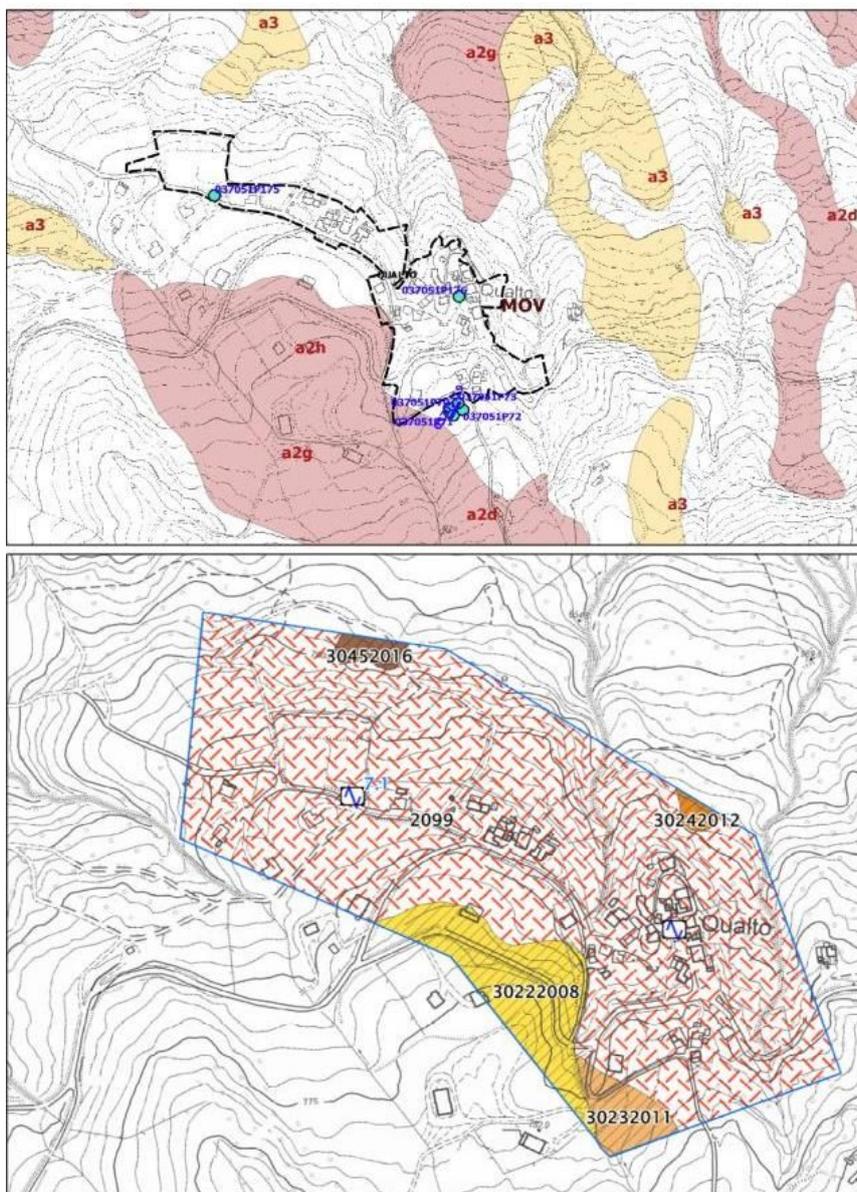


Figura 5.25 - In alto: substrato geologico, coperture quaternarie e discontinuità tettoniche rilevate. Si riportano le prove geognostiche/geofisiche di riferimento. In basso: delimitazione delle zone MOPS

Le indagini disponibili per l'abitato (DPSH; MASW; HVSR) evidenziano spessori superficiali "soffici" (bedrock affiorante molto alterato?) fino a profondità di circa 5÷10 metri (figura 5.26) sovrastanti bedrock caratterizzato da Vs di circa 500 m/s. Le registrazioni HVSR hanno riscontrato moderate amplificazioni spettrali anche ad alte frequenze (7,1 Hz), che confermano la presenza delle coperture diffuse nell'areale studiato.

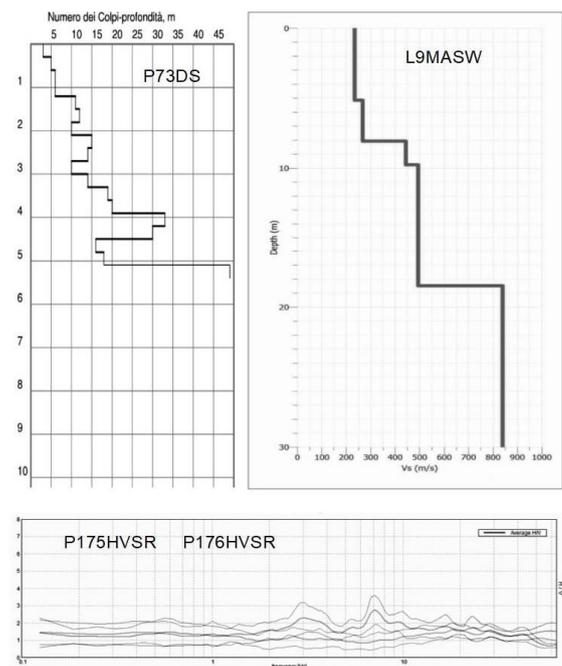


Figura 5.26- Penetrometria DPSH, registrazioni HVSR e MASW (modello sismostratigrafico) eseguite presso Qualto

5.12 Montefredente – Il Borgo – Il Faldo – La Capanna

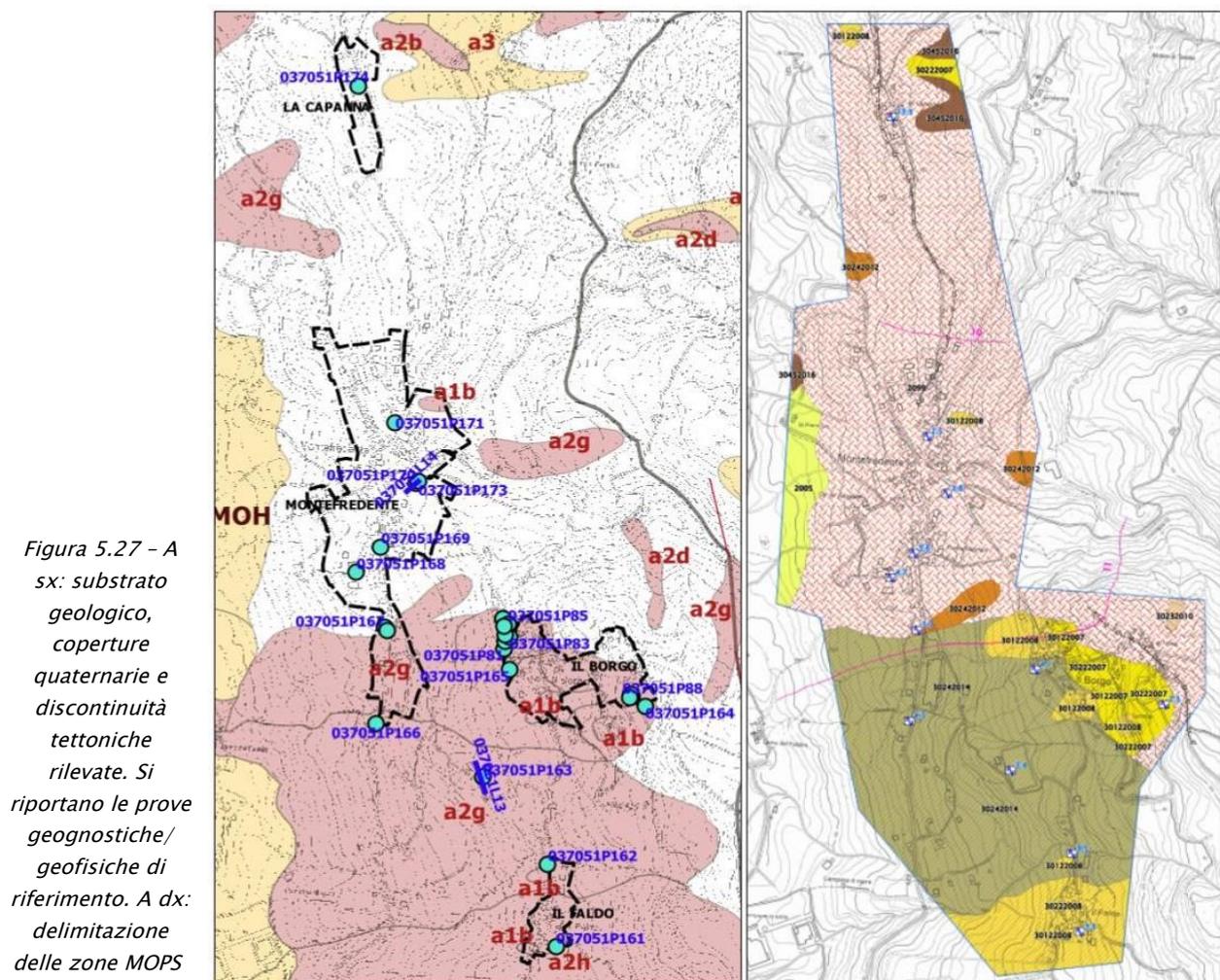


Figura 5.27 - A sx: substrato geologico, coperture quaternarie e discontinuità tettoniche rilevate. Si riportano le prove geognostiche/geofisiche di riferimento. A dx: delimitazione delle zone MOPS

Morfologicamente, i toponimi “Il Faldo” e “La Capanna” ricadono su versanti, mentre Montefredente e il toponimo “La Capanna”, ricadono in aree di crinale. I rilievi sono caratterizzati da substrato roccioso con alternanze di livelli lapidei/arenacei e pelitici attribuiti alla Formazione di Monghidoro (MOH).

La cartografia geologica RER rileva nei versanti circostanti “La Capanna” diffuse forme di dissesto (prevalentemente di tipologia complessa e depositi di versante. Frane quiescenti complesse e depositi di versante si rilevano nei pendii fino a Montefredente, tuttavia senza lambire i perimetri dell'area urbanizzata fino al settore più meridionale della frazione, dove si rilevano ampie forme di dissesto di versante complesse quiescenti che interessano anche gran parte degli abitati “il Borgo” e “il Faldo”. Questi ultimi due toponimi sono interessati anche da frane attive di scivolamento di limitata estensione che coinvolgono depositi già attribuiti a più ampi franamenti quiescenti (figura 5.27).

Le indagini disponibili (DPSH; MASW; HVSAR) risultano sufficientemente distribuite ed evidenziano che:

1. presso il toponimo “La Capanna” e fino al settore più centro-settentrionale di Montefredente, le registrazioni HVSAR disponibili riscontrano amplificazioni spettrali H/V ad alte frequenze (10;1÷13,3 Hz) associabili a coperture “soffici” (bedrock molto alterato?) di spessore fino a 4÷5 metri;
2. il settore centro-meridionale dell'abitato di Montefredente è caratterizzato da coperture (depositi di versante e/o bedrock molto alterato?) di maggior spessore, fino a circa 10 metri (figura 5.28), con registrazioni HVSAR che rilevano massime amplificazioni H/V a frequenze medio-alte (3,8÷5,6 Hz). Il sottostante substrato MOH risulta tuttavia scarsamente rigido fino ad almeno 30 metri di profondità (Vs comprese tra 350÷500 m/s);

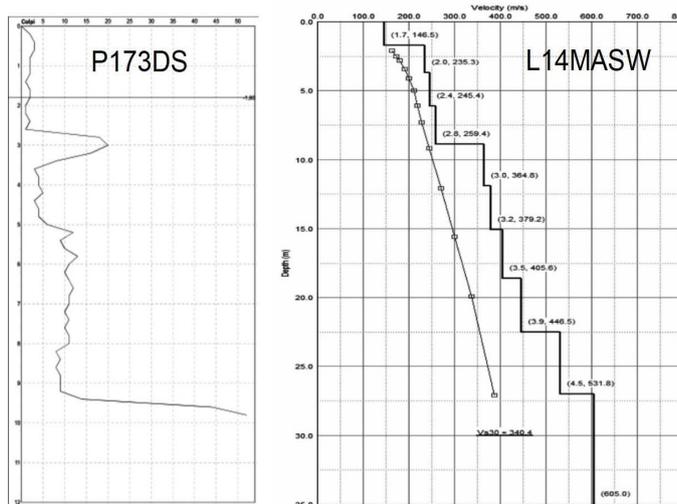
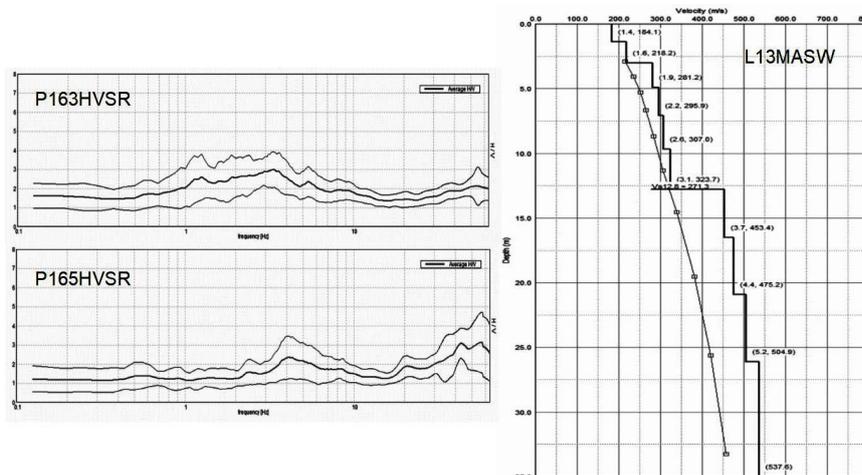


Figura 5.28- Penetrometria DPSH e MASW (modello sismostratigrafico) eseguite presso Montefredente

3. nel settore più meridionale dell'abitato di Montefredente, e inoltre presso i toponimi “il Faldo” e “il Borgo” (solo parte dell'abitato occidentale), sono rilevati depositi frana quiescente complessa, scarsamente rigidi, fino a spessori di 13÷15 metri (figura 5.29);

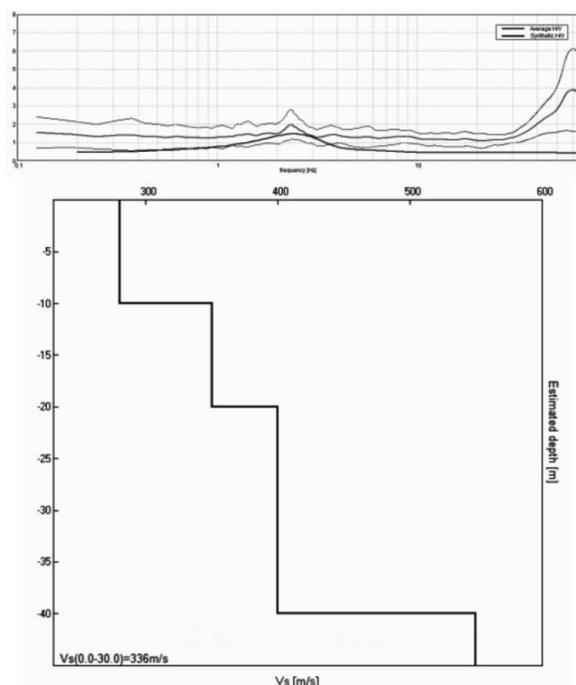
4. l'abitato più orientale del toponimo “il Borgo” è anch'esso incluso in aree di franamento quiescente complesso con coperture stimate fino a circa 10 metri (su bedrock alterato). Sono rilevate alcune frane di scivolamento recenti di minore ampiezza che hanno interessato tali coperture.

Figura 5.29 – Regrazioni HVSR (P163) e MASW (modello sismostratigrafico) eseguite presso Montefredente e “il Borgo” (P165)



Il settore di crinale di “il Borgo”, è caratterizzato da antiche zone di coronamento di frane e tuttavia il bedrock MOH, seppure alterato (V_{s30} approssimabile a 350 m/s) risulta sub affiorante (figura 5.30). Le prove DPSH disponibili (P88; P89; P90) si arrestano per rifiuto a -2 metri circa.

Figura 5.29 – Regrazioni HVSR (P163) e MASW (modello sismostratigrafico) eseguite presso Montefredente e “il Borgo” (P165)



5.13 Castel dell'Alpi – Ca dei Falchetti

Le due frazioni ricadono su versanti caratterizzati da substrato roccioso con alternanze di livelli lapidei/arenacei e pelitici attribuiti alla Formazione di Monghidoro (MOH). La cartografia geologica RER rileva forme di dissesto quiescenti (per scivolamento e complesse) che intersecano i settori più settentrionali dei due abitati (figura 5.30).

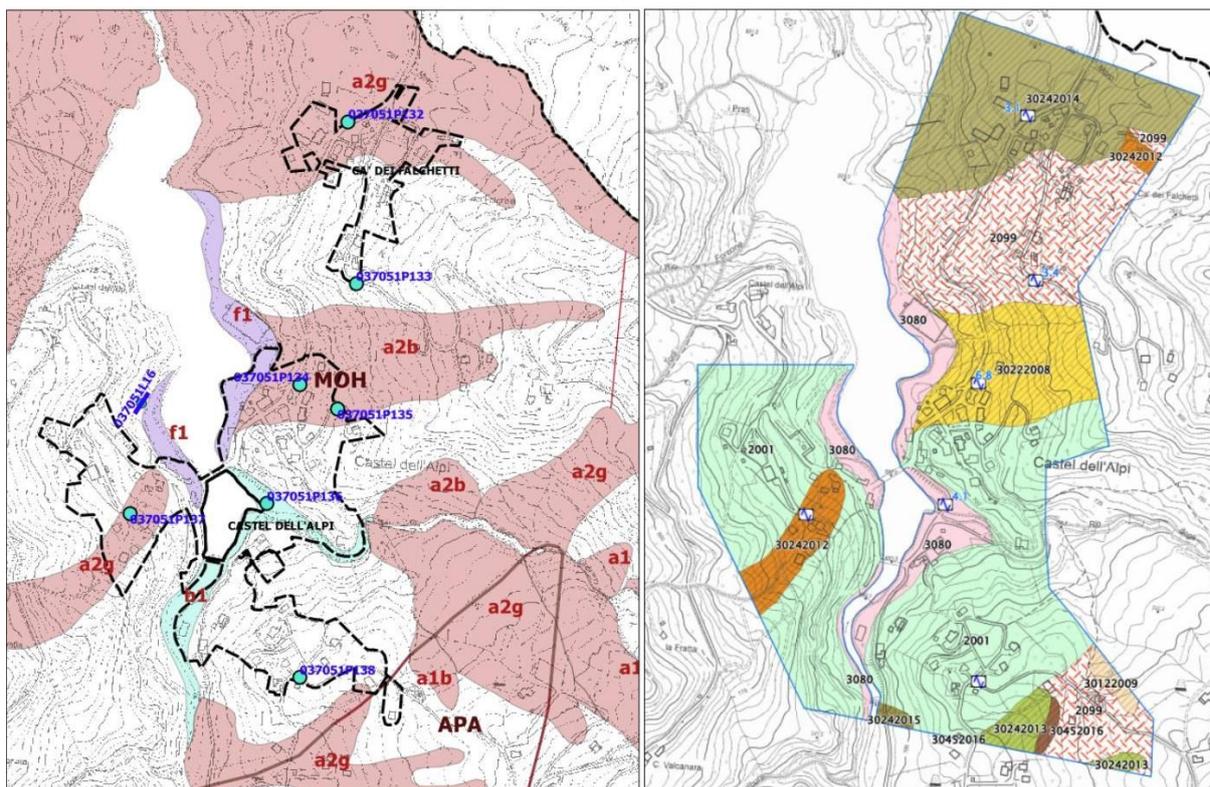


Figura 5.30- A sx: substrato geologico, coperture quaternarie e discontinuità tettoniche rilevate. Si riportano le prove geognostiche/geofisiche di riferimento. A dx: delimitazione delle zone MOPS

Le giaciture eterogenee (con strati anche rovesciati) evidenziano le significative deformazioni tettoniche che hanno coinvolto il bedrock locale.

Castel dell'Alpi si sviluppa nei pendii al piede dell'omonimo lago formatosi dallo sbarramento del torrente Savena per franamenti avvenuti nel 1951. per questa frazione, le indagini disponibili (DPSH; MASW; HVSr) evidenziano per il bedrock “non rigido” affiorante nei versanti una Vs approssimabile a 400 m/s, con registrazioni HVSr prive di amplificazioni (figura 5.31). Occorre evidenziare come in prossimità dell'invaso è stata cautelativamente definita una “zona di attenzione” per cedimenti differenziali, giustificata dalla presenza di depositi alluvionali in evoluzione e/o depositi palustri di spessore e caratteristiche meccaniche presumibilmente scadenti. Il settore settentrionale della frazione (nel versante destro), ricade su depositi di frana quiescente per scivolamento: le indagini disponibili (HVSr; DPSH) evidenziano spessori delle coperture amplificabili fino a circa 5÷7 metri, con amplificazioni H/V elevate riscontrate a circa 5,8 Hz (figura 5.32).

Per la frazione Ca dei Falchetti, le indagini disponibili (HVSr) consentono di stimare lo spessore delle coperture di frana (sulle quali si sinedia l'abitato) fino a circa 15÷17 metri (figura 5.33).

Figura 5.31-
Registrazioni HVSR e
stendimento MASW
(modello
sismostratigrafico)
eseguite a Castel
dell'Alpi

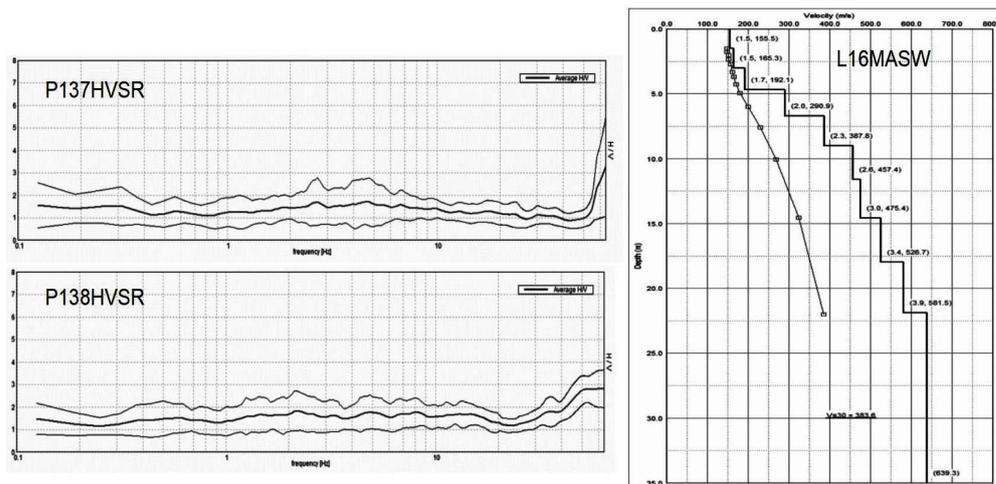


Figura 5.32- Registrazione HVSR e DPSH eseguite a Castel dell'Alpi

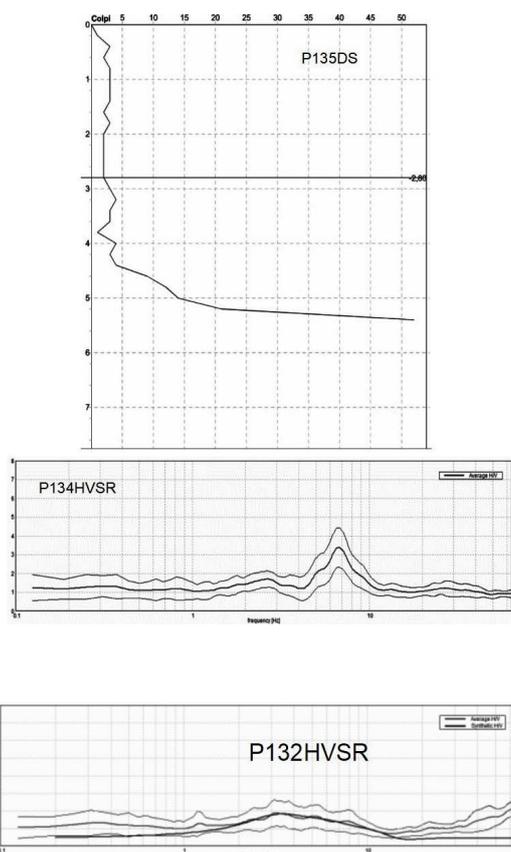
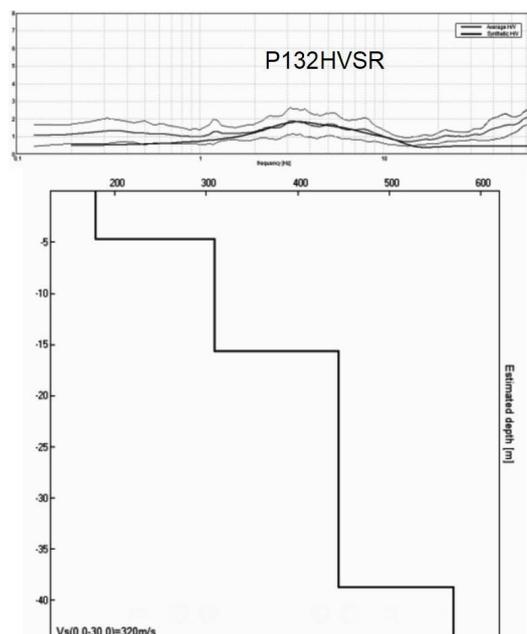


Figura 5.33- Registrazione HVSR e modello sismostratigrafico rappresentativo di Ca dei Falchetti



5.14 Pian del Voglio – Piano delle Ginestre (La Calcinata)

L'abitato di Pian del Voglio si insedia su versanti in destra idrografica del torrente Setta, caratterizzati da substrato roccioso con alternanze di livelli lapidei/arenacei e pelitici attribuiti alla Formazione di Monghidoro (MOH), mentre il settore orientale del Piano delle Ginestre (toponimo “Calcinata”) è caratterizzato da bedrock argillitico intensamente tettonizzato (Argilliti variegati con calcari – AVC).

La cartografia geologica RER evidenzia come ampi settori orientali e occidentali di questo abitato e del toponimo “La Calcinata” risultino sviluppati su estese frane quiescenti per scivolamento in blocco (figura 5.34).

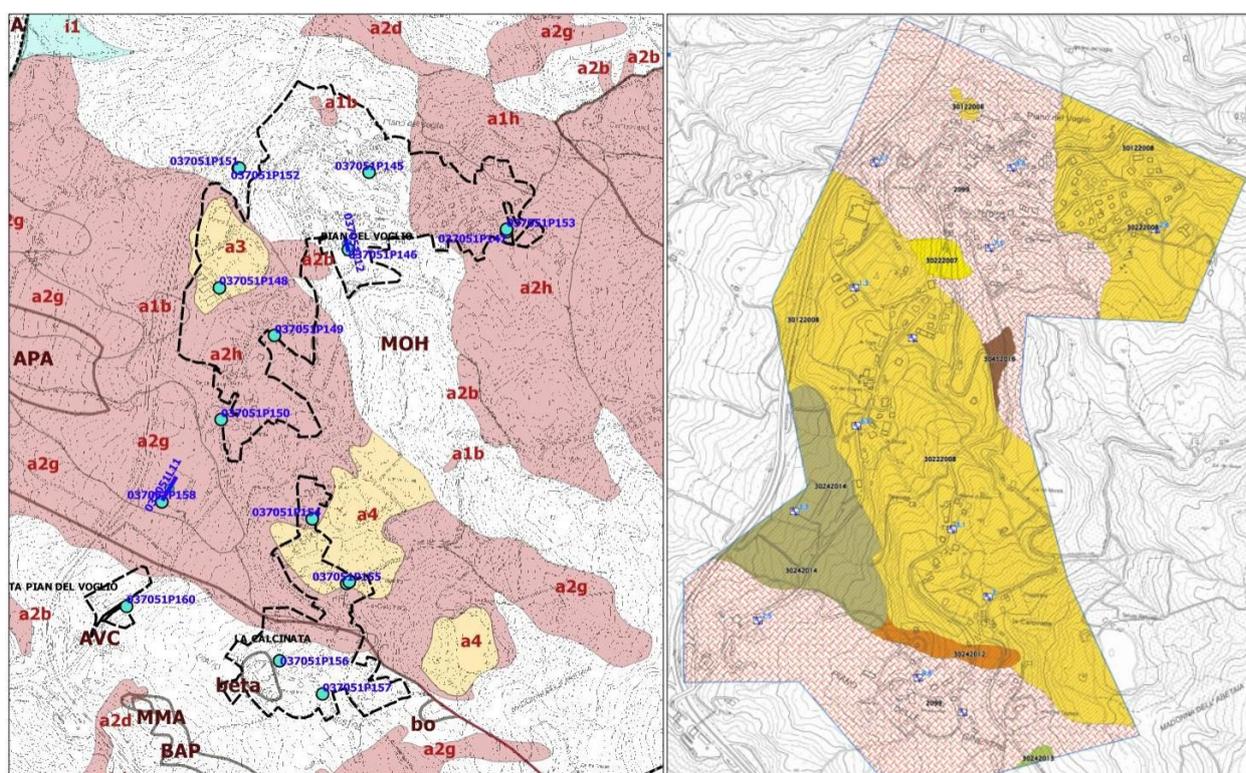


Figura 5.34 – A sx: substrato geologico, coperture quaternarie e discontinuità tettoniche rilevate. Si riportano le prove geognostiche/geofisiche di riferimento. A dx: delimitazione delle zone MOPS

Per Pian del Voglio, le indagini disponibili (DPSH e soprattutto gli stendimenti MASW e le registrazioni HVSR) hanno evidenziato diffuse coperture amplificabili, in parte riconducibili ai depositi di frana e in parte riconducibili a substrato affiorante molto alterato. Nel settore orientale di Pian del voglio, le coperture presentano spessori fino a circa 10 metri (figura 5.35), mentre in tutto il settore occidentale del versante e della stessa frazione le coperture (depositi di frana) si sono considerati spessori fino a circa 25÷27 m (con Vs25 approssimabili a 250 m/s), visto che le registrazioni HVSR hanno evidenziano significativi massimi spettrali H/V a medie frequenze, e prevalentemente a 3,1 ÷ 3,3 Hz (figura 5.36).

Il settore orientale del Piano delle Ginestre (toponimo “Calcinata”), è caratterizzato da bedrock argillitico intensamente tettonizzato AVC con Vs30 stimata pari a 340÷360 m/s (figura 5.37).

Figura 5.35- Penetrometria DPSH e stendimento MASW (modello sismostratigrafico) eseguite a Pian del Voglio

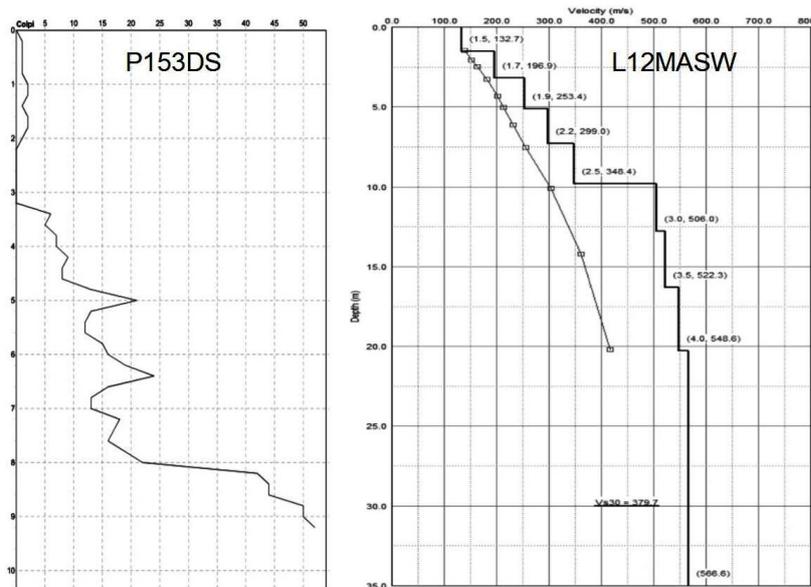


Figura 5.36- Regrazioni HVSR eseguite nel settore occidentale di Pian del Voglio e modello sismostratigrafici elaborati

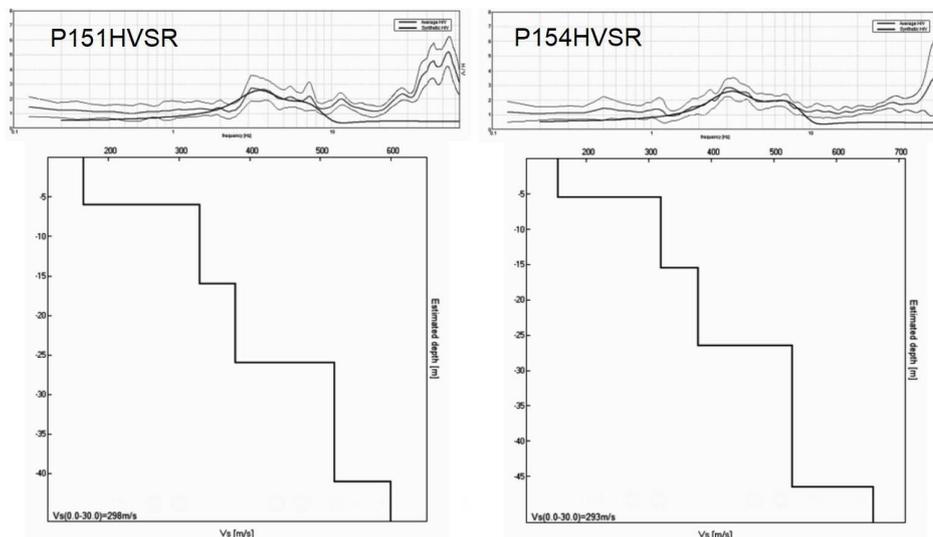
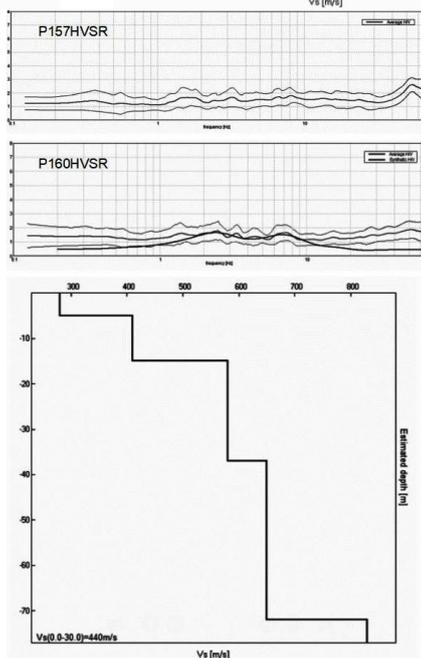


Figura 5.36- Regrazioni HVSR eseguite presso Piano delle Ginestre



5.15 Pian di Balestra

L'abitato presso Pian di Balestra è situato in rilievi caratterizzati da substrato roccioso con alternanze di livelli lapidei/arenacei e pelitici (Formazione di Monte Venere – MOV). La cartografia geologica RER riporta forme di dissesto di versante quiescente (prevalentemente di tipologia complessa), che intersecano anche il perimetro urbanizzato.

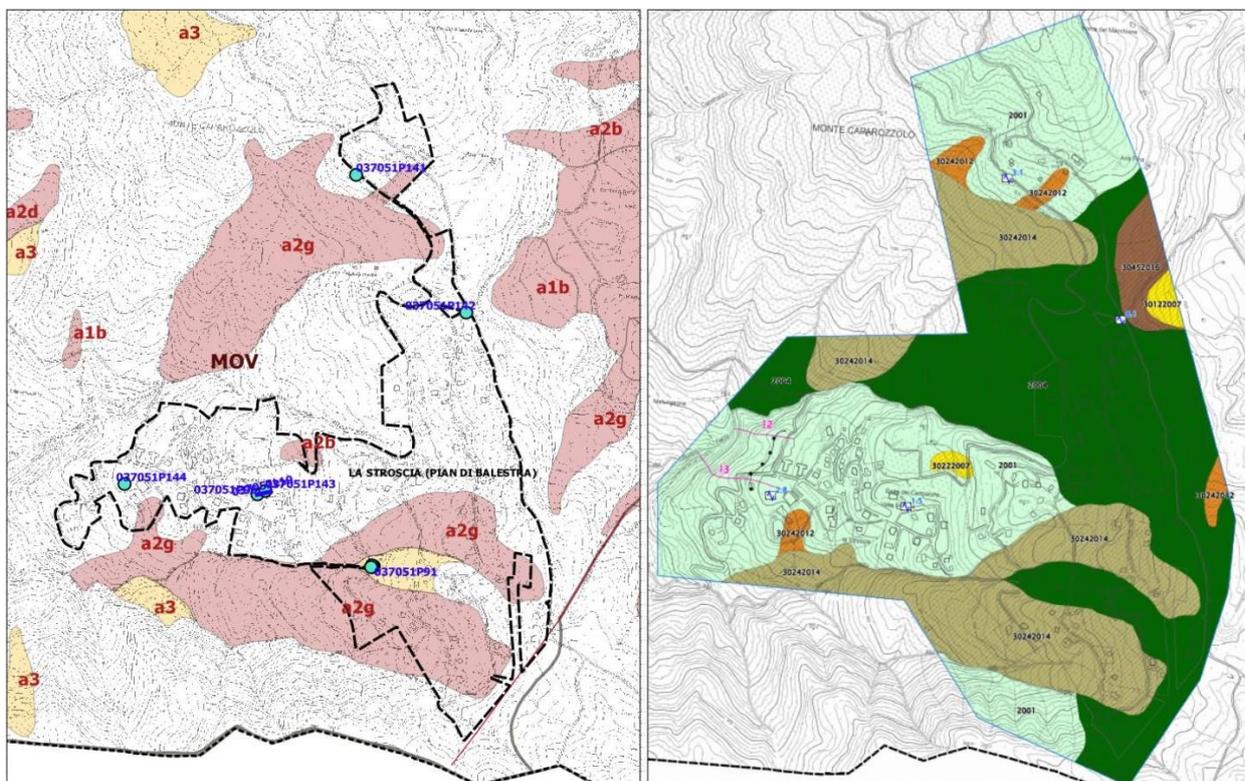


Figura 5.37 – A sx: substrato geologico, coperture quaternarie e discontinuità tettoniche rilevate. Si riportano le prove geognostiche/geofisiche di riferimento. A dx: delimitazione delle zone MOPS

Le indagini (DPSH; MASW; HVSR) di repertorio e di nuova esecuzione hanno riscontrato che:

1. i settori settentrionali e centro-occidentale dell'areale studiato sono caratterizzati da substrato roccioso MOV affiorante (con V_{s30} approssimabile a 500 m/s) e/o coperture di modesto spessore. Le registrazioni HVSR non evidenziano amplificazioni spettrali H/V (figura 5.38);
2. la restante porzione di areale studiato è invece caratterizzato da diffusa presenza di coperture “soffici” ampicabili di modesto spessore (fino a 5÷7 metri), prevalentemente riconducibili a disfacimento superficiale del bedrock e a depositi di frana (figura 5.39).

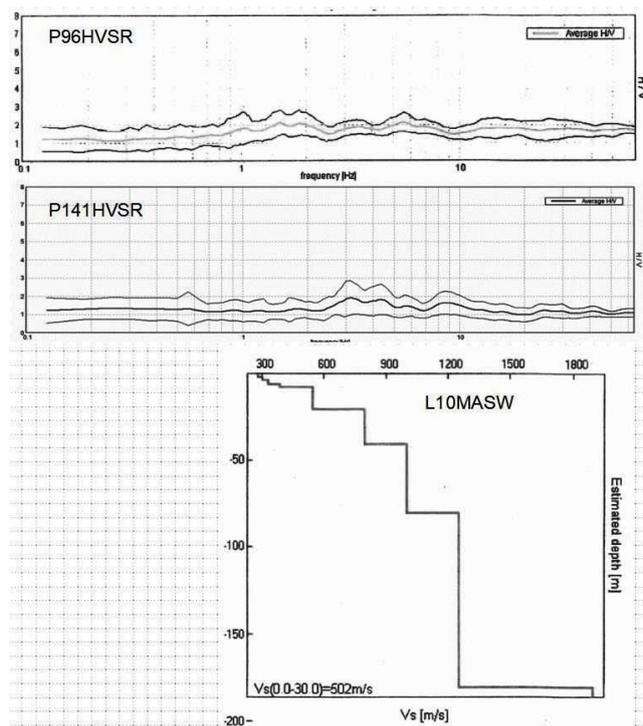


Figura 5.38- Regrazioni HVSr eseguite presso Pian di Balestra

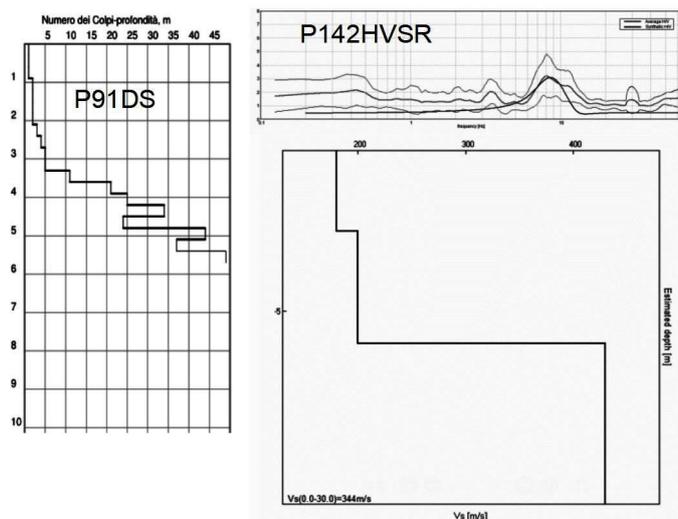


Figura 5.39- Penetrometria DPSH e registrazione HVSr (con modello sismostratigrafico) eseguite presso Pian di Balestra

5.16 Ca' dei Borelli

Il toponimo è situato in pendio con rilievi caratterizzati da substrato roccioso con alternanze di livelli lapidei/arenacei e pelitici attribuiti alla Formazione di Monghidoro (MOH). La cartografia geologica RER riporta giaciture eterogenee nella stratificazione del bedrock, evidenziando le significative deformazioni tettoniche che hanno coinvolto il bedrock locale. La cartografia riporta diffuse forme di dissesto di versante e in particolare l'abitato è collocato in depositi di frana per scivolamento in blocco (figura 5.40).

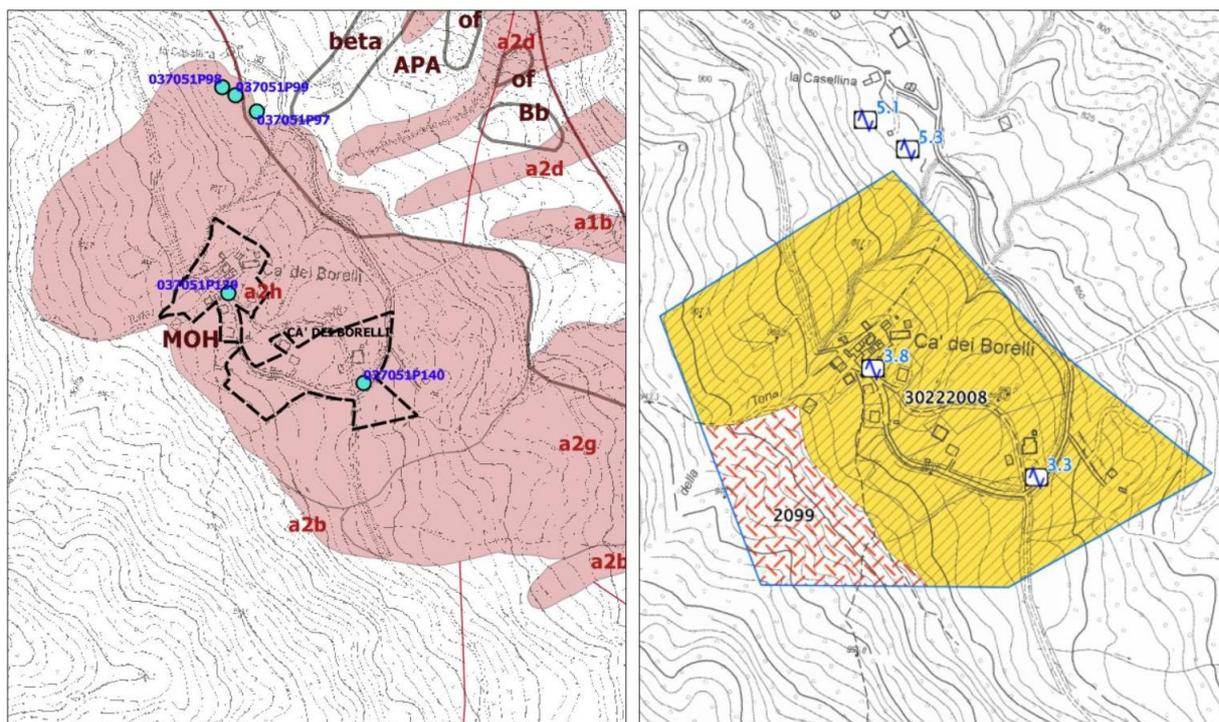


Figura 5.40 – A sx: substrato geologico, coperture quaternarie e discontinuità tettoniche rilevate. Si riportano le prove geognostiche/geofisiche di riferimento. A dx: delimitazione delle zone MOPS

Per questo areale di studio sono disponibili prove penetrometriche CPT e registrazioni HVSR. I dati delle prove CPT evidenziano coperture fino a circa 10 metri, tuttavia le registrazioni HVSR riscontrano amplificazioni spettrali significative anche a frequenze medie (3,3÷3,8 Hz) con modellazioni sismostratigrafiche che indicano coperture amplificabili fino a 25÷27 metri con V_s equivalente approssimabile a 250 m/s (figura 5.41).

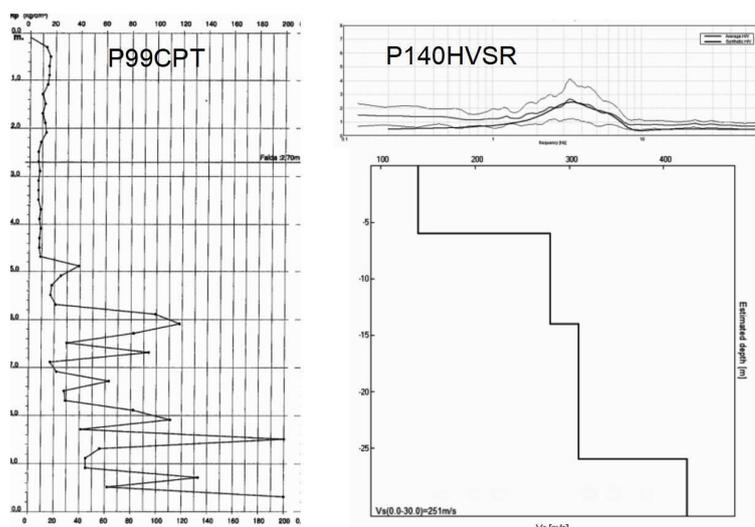


Figura 5.41- Penetrometria CPT e registrazione HVSR (con modello sismostratigrafico) eseguite presso Ca' dei Borelli

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.4.1), 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 San Benedetto Val di Sambro, 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 Sintesi illustrativa delle MOPS

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 7 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.
2001	Zona 1 – Substrato affiorante non rigido. Litotipi prevalenti: rocce costituite da alternanze di livelli lapidei e livelli pelitici (MOH/MOV).
2002	Zona 2 – Coperture alluvionali fini su bedrock non rigido in parte alterato (MOH/MOV). Spessore medio coperture: 5 metri.
2003	Zona 3 – Coperture alluvionali fini su bedrock non rigido in parte alterato (MOH). Spessore medio coperture: 10 metri.
2004	Zona 4 – Depositi di versante e/o eluvi-colluvi su bedrock non rigido in parte alterato (MOV). Spessore medio coperture: 5 metri.
2005	Zona 5 – Depositi di versante e/o eluvi-colluvi su bedrock in parte fratturato o detensionato (MOH/MOV). Spessore medio coperture: 10 metri.
2006	Zona 6 – Coperture eoliche su bedrock in parte fratturato o detensionato (MOV). Spessore medio coperture: 10 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:

2007	ZA_FR 7 (3012/3022) – Zona di prevalente distacco per frana di scorrimento nel bedrock lapideo-pelitico, con spessori medi <3 metri.	2013	ZA_FR 13 (3024) – Zona di prevalente distacco per frana complessa nelle argilliti tettonizzate (scagliose), con spessori medi <3 metri.
2008	ZA_FR 8 (3012/3022) – Zona di prevalente accumulo per frana di scorrimento derivato da bedrock lapideo-pelitico, con spessori medi compresi tra 5 e 15 metri.	2014	ZA_FR 14 (3014/3024) – Zona di prevalente accumulo per frana complessa derivato da bedrock lapideo-pelitico, con spessori medi compresi tra 5 e 15 metri.
2009	ZA_FR 9 (3012) – Zona di prevalente accumulo per frana di scorrimento derivato da argilliti tettonizzate (scagliose), con spessori medi di 5 metri.	2015	ZA_FR 15 (3024) – Zona di prevalente accumulo per frana complessa derivato da argilliti tettonizzate (scagliose), con spessori medi <3 metri.
2010	ZA_FR 10 (3013/3023) – Zona di prevalente distacco per colata nel bedrock lapideo-pelitico, con spessori medi <3 metri.	2016	ZA_FR 16 (3045) – Zona di potenziale evoluzione di frana.
2011	ZA_FR 11 (3013/3023) – Zona di prevalente accumulo per colata derivato da bedrock lapideo-pelitico, con spessori medi compresi tra 5 e 10 metri.	3080	ZA_CD – Zona di attenzione per cedimenti differenziali nei depositi fini palustri.
2012	ZA_FR 12 (3014/3024) – Zona di prevalente distacco per frana complessa nel bedrock lapideo-pelitico, con spessori medi <3 metri.		

- 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.

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; V_sH ; $VS30$) 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 Monteacuto Vallese e San Rocco

ZONA (MOPS)	LOCALITA'	VS/SPESSORI	FA PGA	SA1	SA2	SA3	SI1	SI2	NOTE
2099	Territorio vasto (crinale)	VSH10=250	2,0	1,9	1,5	1,4	1,9	1,4	In zone di cresta sono stati ulteriormente calcolati FA topografici (da 1,1 a 1,2)

Tabella 7.2 Ripoli

ZONA (MOPS)	LOCALITA'	VS/SPESSORI	FA PGA	SA1	SA2	SA3	SI1	SI2	NOTE
2005	Aree sparse	VSH10=250	2,0	1,9	1,5	1,4	1,9	1,4	In zone di versante sono stati ulteriormente calcolati FA topografici (da 1,1 a 1,2)
2099	Zona di versante	VS30=400	1,8	1,7	1,6	1,4	1,7	1,5	

Tabella 7.3 Santa Maria Maddalena

ZONA (MOPS)	LOCALITA'	VS/SPESSORI	FA PGA	SA1	SA2	SA3	SI1	SI2	NOTE
2002	Fondovalle Setta sud	VSH5=250	1,6	1,5	1,4	1,3	1,5	1,4	
2003	Fondovalle Setta nord	VSH10=250	2,0	1,9	1,5	1,4	1,9	1,4	
2099	Serrucce	VSH5=250	1,6	1,5	1,4	1,3	1,5	1,4	

Tabella 7.4 Sant'Andrea

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

Tabella 7.5 Molino Nuovo e San Martino

ZONA (MOPS)	LOCALITA'	VS/SPESSORI	FA PGA	SA1	SA2	SA3	SI1	SI2	NOTE
2002	Fondovalle Sambro	VSH5=250	1,6	1,5	1,4	1,3	1,5	1,4	
2099	Versante Molino Nuovo - San Martino	VSH5=250	1,6	1,5	1,4	1,3	1,5	1,4	

Tabella 7.6 Capoluogo

ZONA (MOPS)	LOCALITA'	VS/SPESSORI	FA PGA	SA1	SA2	SA3	SI1	SI2	NOTE
2005	Via Belvedere	VSH10=200	2,2	2,3	1,8	1,5	2,3	1,6	
2006	Zona campo sportivo e scuole	VSH10=200	2,2	2,3	1,8	1,5	2,3	1,6	
2099	Territorio vasto	VSH10=250	2,0	1,9	1,5	1,4	1,9	1,4	In zone di cresta sono stati ulteriormente calcolati FA topografici (da 1,1 a 1,2)

Tabella 7.7 Villa Cedrecchia

ZONA (MOPS)	LOCALITA'	VS/SPESSORI	FA PGA	SA1	SA2	SA3	SI1	SI2	NOTE
2099	Aree sparse	VS30=450	1,6	1,6	1,5	1,3	1,6	1,4	

Tabella 7.8 Cedrecchia

ZONA	LOCALITA'	VS/SPESSORI	FA	SA1	SA2	SA3	SI1	SI2	NOTE
------	-----------	-------------	----	-----	-----	-----	-----	-----	------

(MOPS)			PGA							
2099	Territorio vasto	VSH10=200	2,2	2,3	1,8	1,5	2,3	1,6	In zone di cucuzzolo sono stati ulteriormente calcolati FA topografici (da 1,1 a 1,4)	
	Cucuzzolo	VS30=400	1,8	1,7	1,6	1,4	1,7	1,5		

Tabella 7.9 Madonna dei Fornelli e Zaccanesca

ZONA (MOPS)	LOCALITA'	VS/SPESSORI	FA PGA	SA1	SA2	SA3	SI1	SI2	NOTE
2099	Crinale Madonna dei Fornelli	VS30=400	1,8	1,7	1,6	1,4	1,7	1,5	In zone di cresta sono stati ulteriormente calcolati FA topografici (1,1)
	Territorio vasto Madonna dei Fornelli - Zaccanesca	VSH5=200	2,0	1,8	1,4	1,3	1,7	1,4	

Tabella 7.10 Qualto

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

Tabella 7.11 Montefredente – Il Borgo – Il Faldo – La Capanna

ZONA (MOPS)	LOCALITA'	VS/SPESSORI	FA PGA	SA1	SA2	SA3	SI1	SI2	NOTE
2005	Versante ovest Montefredente	VSH10=200	2,2	2,3	1,8	1,5	2,3	1,6	
2099	La Capanna (crinale)	VSH5=200	2,0	1,8	1,4	1,3	1,7	1,4	In zone di cresta sono stati ulteriormente calcolati FA topografici (da 1,1 a 1,2)
	Montefredente	VSH10=200	2,2	2,3	1,8	1,5	2,3	1,6	
	Il Borgo (crinale)	VS30=350	1,9	1,9	1,7	1,4	1,9	1,5	

Tabella 7.12 Castel dell'Alpi – Cà dei Falchetti

ZONA (MOPS)	LOCALITA'	VS/SPESSORI	FA PGA	SA1	SA2	SA3	SI1	SI2	NOTE
2001	Castel dell'Alpi	VS30=400	1,8	1,7	1,6	1,4	1,7	1,5	
2099	Cà dei Falchetti	VSH15=250	2,1	2,2	1,9	1,5	2,3	1,6	
	Versante sud Castel dell'Alpi	VSH5=150	2,3	2,2	1,6	1,4	2,1	1,4	

Tabella 7.13 Pian del Voglio – Piano delle Ginestre (La Calcinata)

ZONA (MOPS)	LOCALITA'	VS/SPESSORI	FA PGA	SA1	SA2	SA3	SI1	SI2	NOTE
2099	Pian del Voglio	VSH10=250	2,0	1,9	1,5	1,4	1,9	1,4	
	Versante ovest Pian del Voglio	VSH25=300	2,0	2,2	2,0	1,5	2,3	1,7	
	Piano delle Ginestre	VS30=450	1,6	1,6	1,5	1,3	1,6	1,4	

Tabella 7.14 Pian di Balestra

ZONA (MOPS)	LOCALITA'	VS/SPESSORI	FA PGA	SA1	SA2	SA3	SI1	SI2	NOTE
2001	Val Serena – Pian di Balestra nord	VS30=500	1,4	1,4	1,4	1,3	1,4	1,4	In zone di versante sono stati ulteriormente calcolati FA topografici (da 1,1 a 1,2)
2004	Pian di Balestra	VSH5=200	2,0	1,8	1,4	1,3	1,7	1,4	

Tabella 7.15 Cà dei Borelli

ZONA (MOPS)	LOCALITA'	VS/SPESSORI	FA PGA	SA1	SA2	SA3	SI1	SI2	NOTE
2099	Versante	VSH25=250	2,1	2,3	2,7	1,9	2,5	2,3	

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. 4.1 (CTMS, 2015) della protezione Civile. Tuttavia, sono aree ove vengono richiesti ulteriori approfondimenti (livello 3).

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

Per il calcolo dei fattori di amplificazione semplificati (che andranno tuttavia confermati con studi di approfondimento di livello 3), si è dunque considerato il contesto litostratigrafico e sismico locale e stimato lo spessore di sedimento rimaneggiato compatibile con la presunta profondità del piano di taglio/scivolamento della frana. Più in generale e soprattutto nel caso di frane di modesta estensione oppure nelle zone di possibile evoluzione del dissesto, si è spesso considerato come intervallo maggiormente amplificabile la profondità delle eventuali coperture e/o il bedrock alterato del circostante versante stabile, visto che il piano di taglio dovrebbe verosimilmente interessare solamente tale spessore. 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).

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

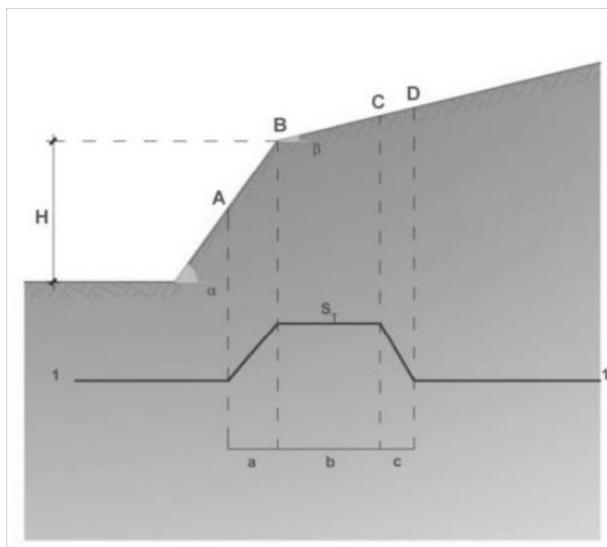


Figura 7.1 – Schema geometrico per il calcolo degli effetti della topografia (cfr. DGR 630/2015)

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

dove:

b = valore minimo tra 20α e $(H+10)/4$

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

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

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

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

Le analisi morfologiche hanno evidenziato possibilità di amplificazione topografica in settori del principale crinale presso gli abitati di Grizzana, Collina, Ponte (Rocchetta Mattei), Collina di Savignano e Campolo. Occorre precisare che in alcuni casi le aree di interferenza sono state estrapolate in modo più cautelativo, cioè comprendendo l'intera cresta e/o cucuzzolo, in ragione del contesto morfologico riscontrabile. Gli esiti di ST sono dunque compresi tra 1,1 e 1,4.

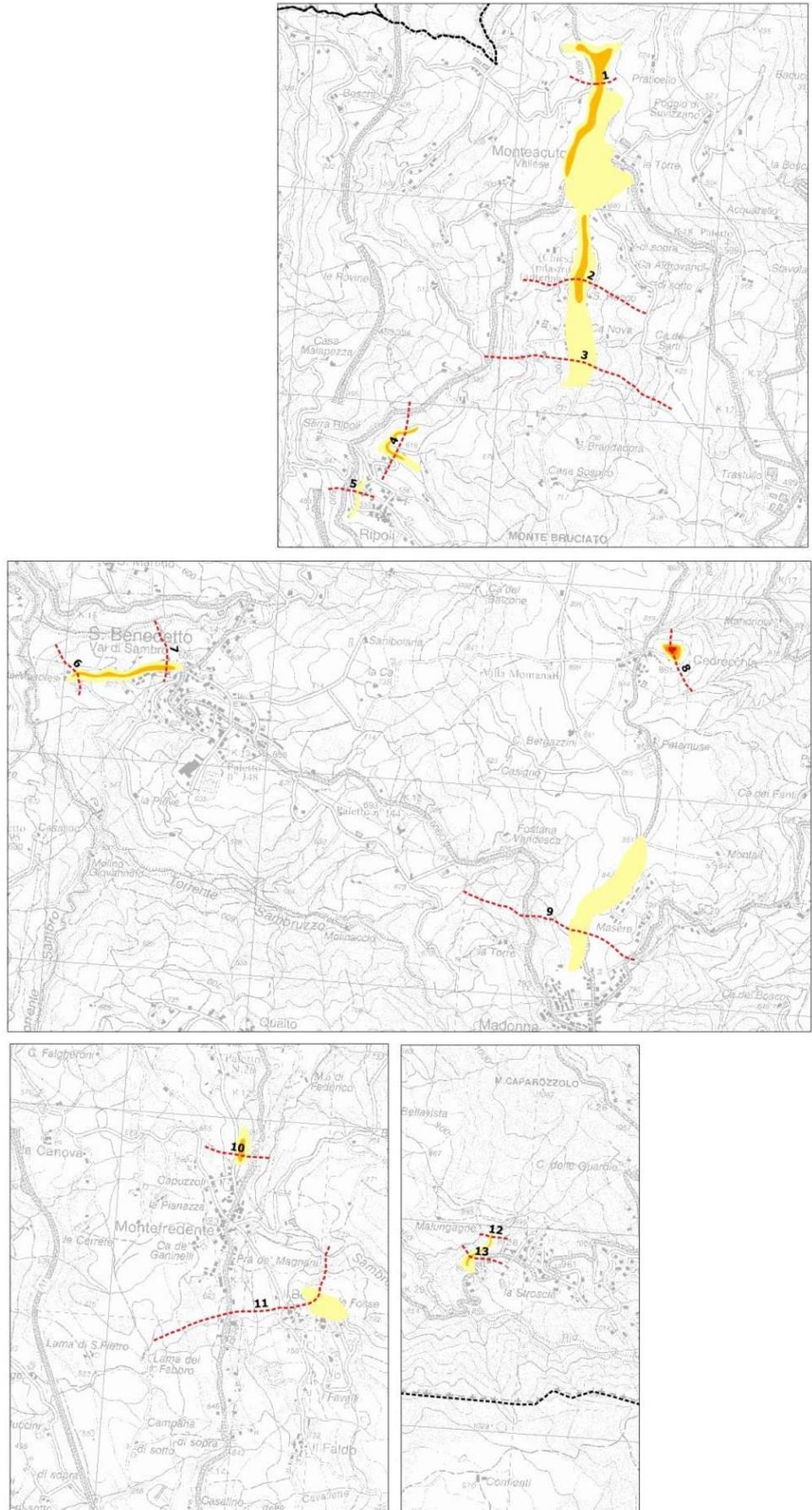


Figura 7.2 –
Localizzazione delle
sezioni topografiche di
riferimento e
delimitazione delle zone
di amplificazione ST
calcolate

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).

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 San Benedetto Val di Sambro, 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.4.1), 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.4.1). 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; 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

 <p>GM</p>	<p>Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo – argine/barre/canali (es)</p>	 <p>ML</p>	<p>Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità – eluvi/colluvi (ec), terrazzo fluviale (tf)</p>
 <p>GC</p>	<p>Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla – conoide alluvionale (ca)</p>	 <p>PT</p>	<p>Torbe ed altre terre fortemente organiche – depositi lacustri (lc)</p>

Substrato geologico

 <p>LP</p>	<p>Lapideo</p>	 <p>SFGR</p>	<p>Coesivo sovraconsolidato stratificato fratturato o detensionato</p>
 <p>ALS</p>	<p>Alternanza di litotipi stratificato</p>	 <p>SFALS</p>	<p>Alternanza di litotipi stratificato fratturato o detensionato</p>
 <p>SFCO</p>	<p>Coesivo sovraconsolidato fratturato o detensionato</p>		

Figura 8.1 – Stralcio della legenda della Tavola 2c – Carta geologico-tecnica: si riportano le classi geotecniche USCS/AGI che caratterizzano il sottosuolo del territorio studiato di San Benedetto Val di Sambro

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.

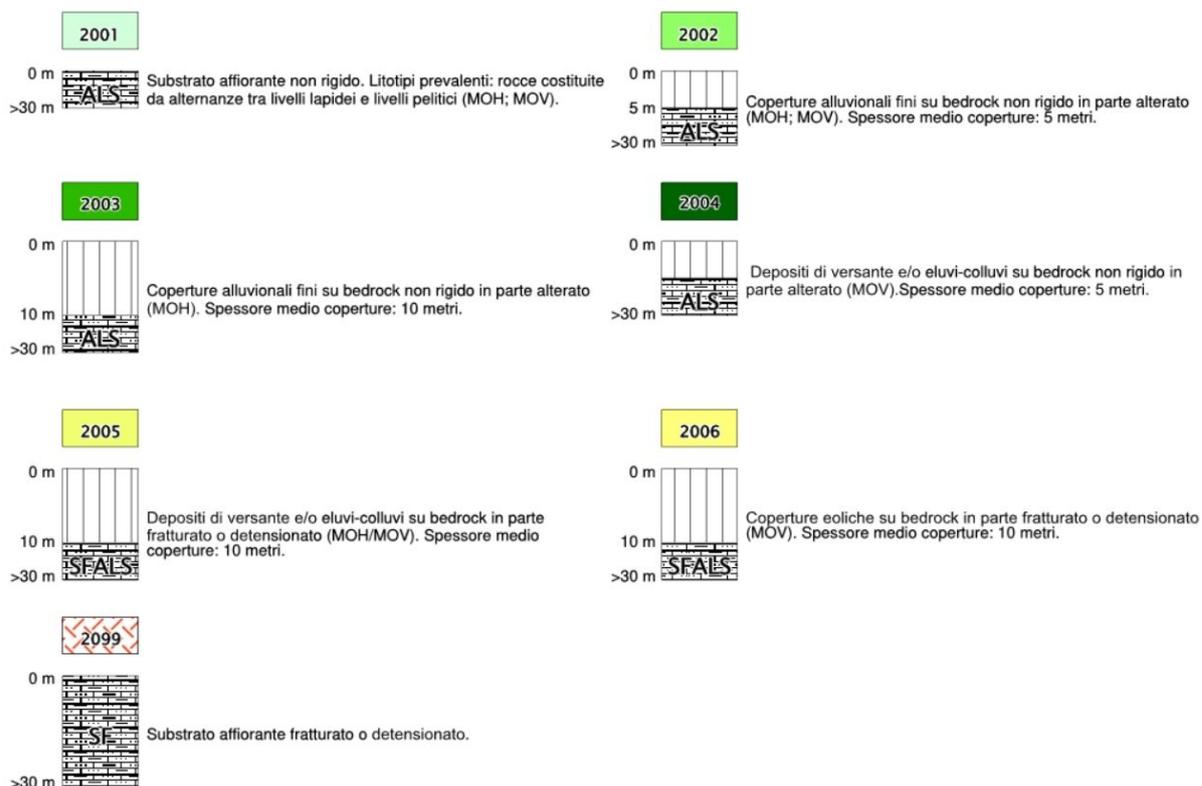
La carta riporta, inoltre, le "forme di superficie e sepolte" (già presenti nella carta geologico-tecnica), i punti di misura di rumore ambientale (con l'indicazione della frequenza fondamentale) e le tracce delle sezioni topografiche realizzate per determinare i fattori di amplificazione "ft".

Rispetto alle diverse litologie distinte nella carta geologico-tecnica, estendendo la valutazione a profondità maggiore, si è cercato di arrivare a delle semplificazioni, accorpendo 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 7 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.

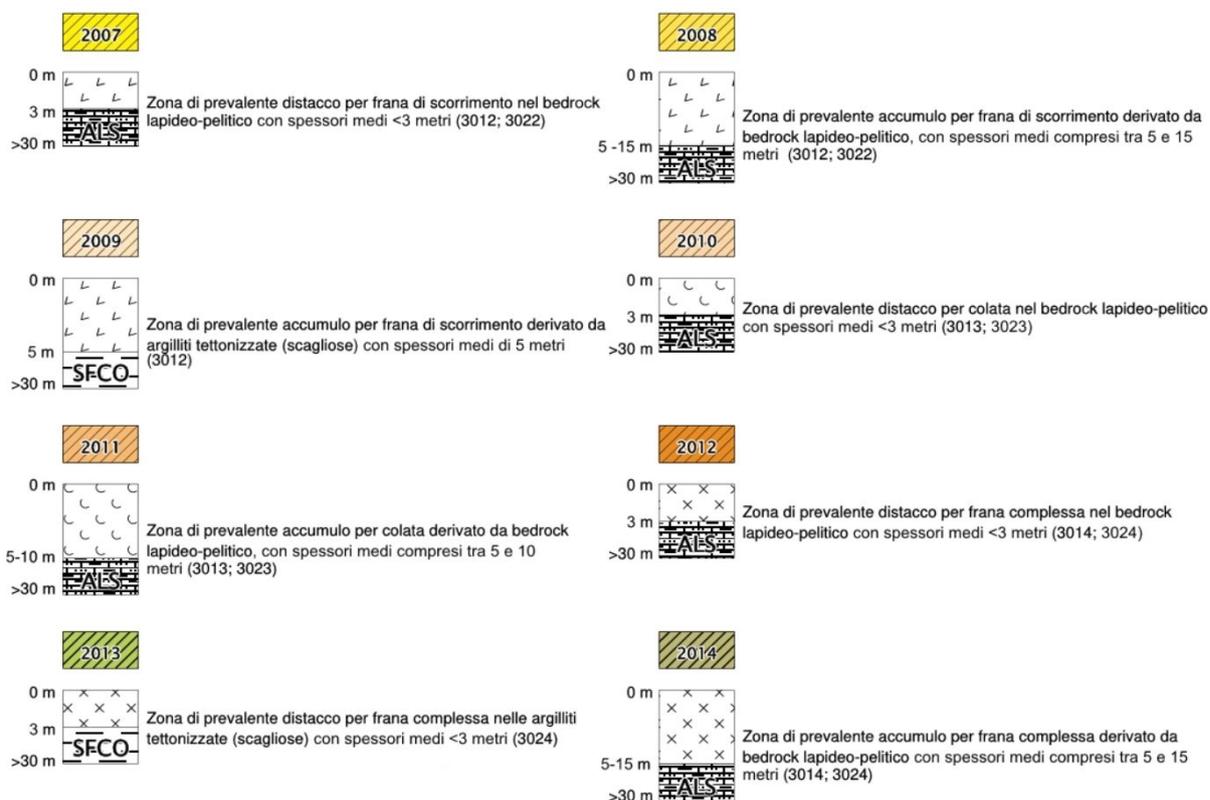
Per una descrizione sintetica di tutte le singole zone di rimanda al precedente paragrafo 7.2.

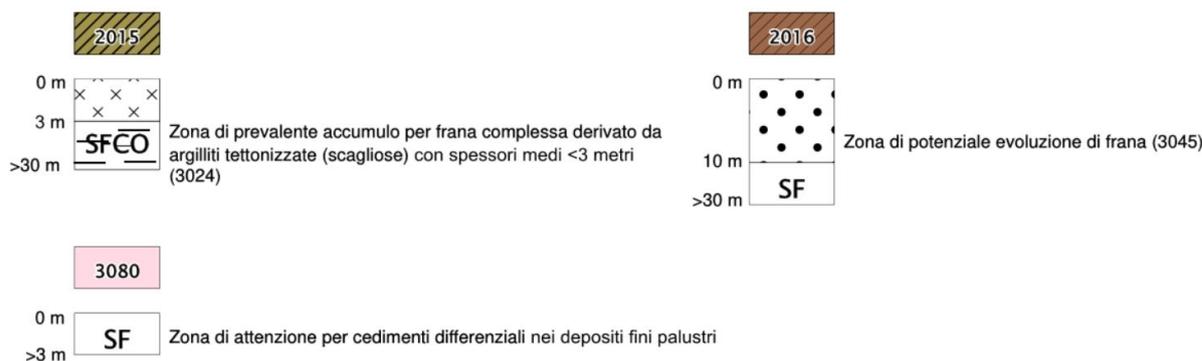
8.5 Carta delle velocità delle onde di taglio S (Tavola 5)

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 .

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 Vs 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 San Benedetto Val di Sambro. 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 le suddivisione del territorio studiato in classi di amplificazione, come previsto dagli Indirizzi della CTMS e come indicato negli Standard di rappresentazione per la microzonazione sismica (v. 4.1). 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 ($PGA/PGA0$));
- ✓ Tavola di microzonazione sismica di livello 2 FA_{SA1} → riporta il fattore di amplificazione FA_{SA} (rapporto di Intensità di spettrale in accelerazione in superficie e al bedrock sismico per periodo compreso tra 0,1 e 0,5 secondi);

- ✓ Tavola di microzonazione sismica di livello 2 FA_{SA2} → riporta il fattore di amplificazione FA SA (rapporto di Intensità di spettrale in accelerazione in superficie e al bedrock sismico per periodo compreso tra 0,4 e 0,8 secondi);
- ✓ Tavola di microzonazione sismica di livello 2 FA_{SA3} → riporta il fattore di amplificazione FA SA (rapporto di Intensità di spettrale in accelerazione in superficie e al bedrock sismico per periodo compreso tra 0,7 e 1,1 secondi);
- ✓ Tavola di microzonazione sismica di livello 2 FA_{SI1} → riporta il fattore di amplificazione FA SI (rapporto di Intensità di Housner in superficie e al bedrock sismico per periodo compreso tra 0,1 e 0,5 secondi);
- ✓ Tavola di microzonazione sismica di livello 2 FA_{SI2} → riporta il fattore di amplificazione FA SI (rapporto di Intensità di Housner in superficie e al bedrock sismico per periodo compreso tra 0,5 e 1,0 secondi).

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 1:10.000 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 4.1. <https://www.centromicrozonationesismica.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) – *CFTI5Med, Catalogo dei Forti Terremoti in Italia (461 a.C.–1997) e nell'area Mediterranea (760 a.C.–1500)*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). doi: <https://doi.org/10.6092/ingv.it-cfti5>.

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., Madiati 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>.