



**PROTEZIONE CIVILE**  
 Presidenza del Consiglio dei Ministri  
 Dipartimento della Protezione Civile



CONFERENZA DELLE REGIONI E  
 DELLE PROVINCE AUTONOME

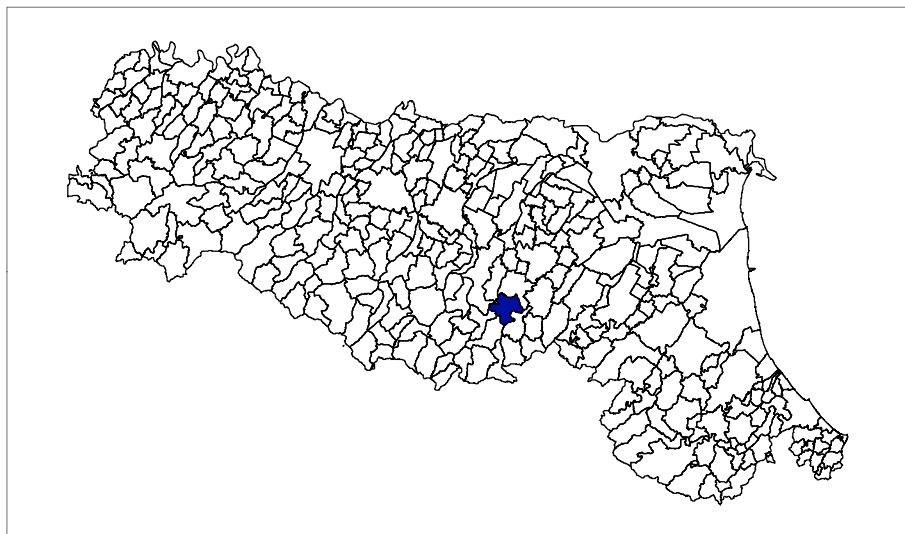
Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n.77

# MICROZONAZIONE SISMICA

## Modellazione e caratterizzazione geologico sismica e geotecnica

### Relazione Tecnica Illustrativa

**Regione Emilia-Romagna**  
**Comune di Marzabotto**



<p>Regione Emilia Romagna</p> <p><i>Studio realizzato con il contributo di cui all'OCDPC 344/2016 DET ER 8757/2017.</i></p> <p><i>Coordinamento della Regione Emilia-Romagna - Servizio Geologico Luca Martelli</i></p>	<p>Soggetto realizzatore</p> <p>Studio Geologico CENTROGEO</p> <p><i>Progetto:</i> Gian Pietro Mazzetti</p> <p><i>Collaboratori:</i> Stefano Gilli Mauro Mazzetti Camilla Mazzetti</p>	<p>Amministrazione comunale</p> <p><i>Sindaco:</i> Valentina Cuppi</p> <p><i>Responsabile Settore Servizi al Territorio:</i> Marco Teglia</p> <table border="1" data-bbox="1023 2018 1481 2107"> <tr> <td data-bbox="1023 2018 1254 2107"> <p>Data Febbraio 2021</p> </td> <td data-bbox="1254 2018 1481 2107"></td> </tr> </table>	<p>Data Febbraio 2021</p>	
<p>Data Febbraio 2021</p>				

# ANALISI GEOLOGICO TECNICA E MICROZONAZIONE SISMICA DI II° E III° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO DEL TERRITORIO DI MARZABOTTO

---

## INDICE

---

1. INTRODUZIONE.....	1
1.1. INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO .....	2
2. METODOLOGIA D'INDAGINE.....	5
3. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE .....	7
3.1. Pericolosità sismica – Definizione del moto di riferimento.....	13
4. ASSETTO GEOLOGICO STRUTTURALE .....	15
4.1. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.....	24
4.2. DEPOSITI CONTINENTALI.....	26
5. MODELLAZIONE SISMICA.....	28
5.1. CARATTERISTICHE STRUTTURALI E SISMOTETTONICHE.....	28
5.2. INQUADRAMENTO SISMOTETTONICO.....	28
5.3. ATTIVITÀ TETTONICA.....	31
6. INTERPRETAZIONE ED INCERTEZZE /METODOLOGIA DI ELABORAZIONE E RISULTATI .....	33
6.1. MICROTREMORI CON LA TECNICA HVSR .....	33
6.2. PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE ATTIVA/PASSIVA MASW /RE.MI.....	34
7. PRIMO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO.....	36
7.1. CARTA DELLE INDAGINI .....	36
7.2. CARTA GEOLOGICO TECNICA .....	37
7.3. CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI DEL TERRENO .....	39
7.4. MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA O DELLE AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI .....	41
7.4.1. Sintesi modello litostratigrafico .....	64
8. SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO.....	65
8.1. CARTA DELLE NUOVE INDAGINI .....	69
8.2. CARTA DELLE VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO S (VS) .....	69
8.3. CARTA DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE – MICROZONAZIONE SISMICA .....	70
8.4. Carta dei fattori di amplificazione dell'accelerazione massima orizzontale F.a.P.G.A. ....	72
8.5. Carta dei fattori di amplificazione di intensità di Housner in termini di velocità nell'intervallo FH $0,1 < T < 0,5$ sec.....	73
8.6. Carta dei fattori di amplificazione di intensità di Housner in termini di velocità nell'intervallo FH $0,5 < T < 1,0$ sec.....	73
8.7. Carta dei fattori di amplificazione in termini accelerazione nell'intervallo FA $0,1 < T < 0,5$ sec.....	74
8.8. Carta dei fattori di amplificazione in termini di accelerazione nell'intervallo FA $0,4 < T < 0,8$ sec.....	75
8.9. Carta dei fattori di amplificazione in termini di accelerazione nell'intervallo FA $0,7 < T < 1,1$ sec.....	76
8.10. LIVELLO DI PERICOLOSITA' SISMICA $H_{SM}$ .....	76
8.11. Carta del livello di pericolosità nell'intervallo $H_{SM}$ : $0,1 < T < 0,5$ sec.....	77
8.12. RISENTIMENTO SISMICO - PERIODO FONDAMENTALE DI VIBRAZIONE PER MACRO-TIPOLOGIE DI FABBRICATI .....	78
9. TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO.....	79
9.1. Definizione degli input sismici .....	79
9.2. Comportamento non lineare dei terreni .....	81
9.3. SCUOLA MATERNA LAMA DI RENO.....	83
9.3.1. Caratterizzazione geomorfologico – stratigrafica .....	83
9.3.2. Caratteristiche geotecniche di insieme.....	83
9.3.3. Parametrizzazione sismica.....	84
9.3.4. Microzonazione sismica – risposta sismica locale 1D.....	84
9.4. ZONA SCUOLA MATERNA PIAN DI VENOLA.....	86
9.4.1. Caratterizzazione geomorfologico – stratigrafica .....	86
9.4.2. Caratteristiche geotecniche di insieme.....	86
9.4.3. Parametrizzazione sismica.....	86
9.4.4. Microzonazione sismica – risposta sismica locale 1D.....	87
9.5. ZONA SCUOLA MATERNA PIOPPE DI SALVARO.....	89
9.5.1. Caratterizzazione geomorfologico – stratigrafica .....	89

9.5.2.	Caratteristiche geotecniche di insieme.....	89
9.5.3.	Parametrizzazione sismica.....	89
9.5.4.	Microzonazione sismica – risposta sismica locale 1D.....	90
MICROZONAZIONE SISMICA – RISPOSTA SISMICA LOCALE 2D.....		91
9.6.	ZONA MUNICIPIO – BIBLIOTECA – SCUOLE MEDIE .....	93
9.6.1.	Caratterizzazione geomorfologico – stratigrafica .....	93
9.6.2.	Caratteristiche geotecniche di insieme.....	94
9.6.3.	Sezione litotecnico sismica.....	94
9.6.4.	Spettri Output.....	96
10.	CONFRONTO CON I DANNI DEGLI EVENTI PASSATI .....	103
11.	BIBLIOGRAFIA.....	104

### ELABORATI

Tav. 1.1	Carta delle indagini pregresse e nuove	1:10.000
Tav. 1.1.1 – 1.1.7	Carta delle indagini pregresse e nuove	1:2.000
Tav. 1.2	Carta geologica	1:10.000
Tav. 1.3	Carta geologico - tecnica	1:10.000
Tav. 1.3.1	Sezioni geologiche	1:5.000
Tav. 1.3.2	Sezione litosismica profilo 2D	1:1.000/1:500
Tav. 1.4	Carta delle frequenze naturali dei terreni	1:5.000
Tav. 1.5	Velocità delle onde di taglio Vsh	1:5.000
Tav. 1.6	Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS)	1:5.000
Tav. 2.1	Carta delle indagini di nuova esecuzione	1:5.000
Tav. 2.2	Carta MS livello 2-3 - FA PGA	1:5.000
Tav. 2.3	Carta MS livello 2-3 - FH 0,1-0,5 sec	1:5.000
Tav. 2.4	Carta MS livello 2-3 - FH 0,5–1 sec	1:5.000
Tav. 2.5	Carta MS livello 2-3 - FA 0,1–0,5 sec	1:5.000
Tav. 2.6	Carta MS livello 2-3 - FA 0,4–0,8 sec	1:5.000
Tav. 2.7	Carta MS livello 2-3 - FA 0,7–1,1 sec	1:5.000
Tav. 2.8	Carta MS livello 2-3 - HSM 0,1–0,5 sec	1:5.000
Tav. 3.1	Carta ubicazione punti di verifica RSL con codice di calcolo	1:2.000
Tav. 3.2	Carta MS livello 3 - FA PGA	1:2.000
Tav. 3.3	Carta MS livello 3 - FH 0,1-0,5 sec	1:2.000
Tav. 3.4	Carta MS livello 3 - FH 0,5–1 sec	1:2.000
Tav. 3.5	Carta MS livello 3 - FA 0,1–0,5 sec	1:2.000
Tav. 3.6	Carta MS livello 3 - FA 0,4–0,8 sec	1:2.000
Tav. 3.7	Carta MS livello 3 - FA 0,7–1,1 sec	1:2.000
Tav. 3.8	Carta MS livello 3 - HSM 0,1–0,5 sec	1:2.000
Tav. 3.9	Carta MS livello 3 - HSM 0,4–0,8 sec	1:2.000
Tav. 3.10	Carta MS livello 3 - HSM 0,7–1,1 sec	1:2.000

### ALLEGATI

Indagini geognostiche e geofisiche di nuova esecuzione  
Indagini geognostiche e geofisiche pregresse

## 1. INTRODUZIONE

L'individuazione del grado di sicurezza in rapporto al comportamento dei terreni durante un evento sismico e dei conseguenti possibili effetti locali, del territorio comunale di Marzabotto (BO) è stata sviluppata mediante analisi di caratterizzazione e modellazione geologico – tecnica e della pericolosità sismica di base – azione sismica.

Tale disamina, finalizzata alla mitigazione del rischio sismico, è stata indirizzata alle valutazioni delle possibilità delle scelte d'uso del territorio insediato, di previsto sviluppo e delle fasce interessate dalle principali infrastrutture, del grado di vulnerabilità sismica del patrimonio edilizio esistente e di edifici di interesse rilevante, delle aree urbanizzate.

Le analisi sono state eseguite in ottemperanza ai dettati delle leggi nazionali, in riferimento al D.M. 11/03/88, circ. LL.PP. N° 30483 del 24/09/88; L.R. RER N° 20 del 24/03/2000, Delibera della Giunta Regionale dell'Emilia Romagna n° 630/2019 “Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale ed urbanistica” e DGR n°1238 /2020 “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”.

In rapporto a quanto richiesto dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli nella redazione delle analisi, elaborazioni, restituzioni cartografiche è stato fatto riferimento alla DGR 630/2019 e degli standard di rappresentazione ed archiviazione informatica 4.1.

In funzione di quanto sopra esposto le analisi elaborazioni e cartografie precedentemente realizzate per la microzonazione sismica di II livello del territorio comunale di Marzabotto, BO, del 2014 – 2016 (*Centrogeo*), validato RER – DPCIV. 07/2016, sono state rielaborate ed adeguate ai criteri della DGR 630/2010 e standard 4.1.

La microzonazione sismica di III° livello, realizzata con il contributo di cui all'OCDCPC 344/2016, è stata sviluppata in coordinamento con il Servizio Geologico Sismico e dei Suoli Dr. Luca Martelli, della **Regione Emilia Romagna**, l'analisi della Condizione Limite per l'Emergenza è stata elaborata in coordinamento con Ing. Maria Romani della **Regione Emilia Romagna**.

Le valutazioni per la riduzione del rischio sismico e delle scelte d'uso urbanistiche, sono state svolte in riferimento alle condizioni geologico strutturali, di risentimento sismico, delle tipologie dei processi morfogenetici, dell'estensione degli ambiti territoriali urbanizzati e delle zone di possibile sviluppo, principali insediamenti esistenti.

L'analisi della pericolosità sismica dell'area del Comune di Marzabotto è stata sviluppata mediante la realizzazione delle carte di approfondimento sismico di primo livello per l'individuazione degli ambiti suscettibili di effetti locali in caso di sollecitazione sismica; delle carte di approfondimento sismico di secondo livello, per la definizione dei Fattori di Amplificazione correlati allo scuotimento sismico atteso al suolo, in riferimento alle indicazioni contenute nella sopracitata DGR 630/2019, “I.C.M.S.” indirizzi del Dipartimento della Protezione Civile e Conferenza delle Regioni e Province Autonome (Gruppo di lavoro MS, 2008); analisi e cartografie di III° livello di approfondimento con valutazioni della risposta sismica locale con codice di calcolo 1D per fabbricati di uso strategico, scuole, e 2D per la fascia

di territorio alla quale appartengono l'edificio sede comunale di Marzabotto, la Biblioteca e Scuole Medie.

Detti elaborati oltre a rappresentare uno strumento base di indirizzo per le scelte urbanistiche in zone a riconosciuta minore pericolosità sismica e valutazioni delle eventuali priorità di intervento per l'adeguamento/messa in sicurezza sismica del patrimonio edilizio esistente per le analisi di MS2, definiscono le condizioni della pericolosità sismica con metodo approfondito delle zone di locale MS3.

Le elaborazioni cartografiche eseguite sono pertanto significativamente rappresentative per gli utilizzi ai fini della pianificazione a scala comunale e per le valutazioni del grado di sicurezza dei manufatti in essere in rapporto alle sollecitazioni sismiche che li possono interessare.

Tali analisi sono state sviluppate mediante rilevamenti ed indagini direttamente effettuati che hanno integrato ed approfondito quelle precedentemente eseguite nel contesto delle analisi del P.T.C.P. di Bologna visualizzati negli elaborati cartografici di *Variante in materia di Riduzione del Rischio Sismico: Carta delle Aree Suscettibili di Effetti Locali (Tav. 2cIV – 2cV, 2cII)*; delle analisi e tavole della *Microzonazione di Secondo Livello del territorio comunale di Marzabotto 2016, Centrogeo - Dr. Geol. Gian Pietro Mazzetti*, dell'aggiornamento al 2019 della *Cartografia Inventario delle Frane e Archivio Storico delle Frane Regione Emilia Romagna*.

Le analisi di microzonazione sismica, sono state eseguite su commissione dell'**Unione dei comuni dell'Appennino Bolognese**: CIG: Z151FAC08A – Progetto n°867, coordinatore dell'Area 3: *Dr. Ing. Emilio Pedone*.

La microzonazione sismica del territorio di Marzabotto, realizzata con il contributo di cui all'O.C.D.P.C. 344/2016, è stata sviluppata in coordinamento con il Servizio Geologico, Sismico e dei suoli, *Dr. Luca Martelli, Ing. Maria Romani, della Regione Emilia Romagna, Settore Servizi al Territorio del Comune di Marzabotto – Responsabile Dr. Marco Teglia*.

Le rilevazioni in sito ed elaborazioni sono state effettuate da Dr. M. Boccaletti, M. Mazzetti, Dr. S. Gilli, Dr. G.P. Mazzetti, dello studio Geologico *Centrogeo*, Correggio.

Le elaborazioni GIS sono state eseguite da Dr. Stefano Gilli.

### **1.1. INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO**

Il territorio comunale di Marzabotto si sviluppa su una superficie di circa 74,53 kmq.

Il limite settentrionale si estende, in direttrice ovest – est, dalle pendici nord occidentali del Monte del Poggio e settentrionali del Monte Torrenera, prosegue successivamente in corrispondenza delle località di Poggio Calvane e Belvedere, ove flette in direzione sud est sino a raggiungere l'asta fluviale del Rio Dossone ed asseconda la stessa sino alla confluenza con il corso del Fiume Reno.

Successivamente il confine comunale prosegue verso nord est lungo l'alveo di detto fiume sino alla confluenza tra quest'ultimo e il Torrente Setta che delimita il confine orientale del Comune di Marzabotto che si allunga in direzione sud verso la località di Lama di Setta; in corrispondenza di quest'ultima flette in direzione est e successivamente sud, sovrapponendosi inizialmente al corso del Rio Carbonaro ed assumendo poi, andamento irregolare tra le località le Fosse, Casarole di Sotto sino alla S.P. 59 in prossimità dell'abitato di Cà Nova.

Da tale località, il limite meridionale del territorio comunale, da est verso ovest, procede irregolarmente tra le località Cà de Berti e Ronzano di Sopra, oltrepassando la stretta vallecchia del Rio Stavaccio; in corrispondenza di Ronzano di sopra, il confine devia rapidamente verso sud ovest in direzione di Valdiana e quindi a sud verso le pendici orientali del Monte Sole. Successivamente, il confine si dirige a sud est al toponimo Cerpiane, transitando a nord di Cà di Germino e Le Murazze, ove incontra il corso del Torrente Setta che segue in direzione sud ovest sino a lambire l'abitato di Rioveggio.

Da quest'ultimo il limite comunale si indirizza, verso nord ovest, sino alle pendici occidentali del Monte Termine, in corrispondenza del quale flette in direttrice nord su crinali secondari, oltrepassando la località Cà di Sotto; in prossimità di tale abitato, il confine si orienta ad ovest, seguendo il corso del Fiume Reno sino a Pioppe di Salvaro ed oltrepassata la stessa prosegue in direttrice nord ovest, risalendo l'alveo del Rio Cornacchio sino al toponimo: Spirito; a settentrione di questo il limite assume un andamento irregolare, sviluppandosi in direzione ovest – nord ovest sino a Monte Radicchio e poi a Strada Vallarma. Da tale località il confine flette in direttrice nord, transitando progressivamente tra Vaglie di Sotto e Torre Bianca e raggiungendo le pendici occidentali del Monte Castellaccio, da qui si dirige ad est sovrapponendosi circa al corso del Rio delle Versallane sino a Molino Mazzagatti.

Successivamente il limite comunale risale verso nord, seguendo l'alveo del Rio dei Baloni e poi in verso nord ovest, quello del Rio Alessandri sino a Cà de Magnani e Cà di Bove; superate dette località assume direttrice nord est orientandosi alle pendici del Monte Tramonto sino a Poggio Castellarso e poi devia a nord verso Prà Marzano (ad est dell'abitato di Borra). Da qui, assume andamento spiccatamente irregolare, con direttrice media sud ovest – nord est, transitando in corrispondenza delle località Bottega e Pianelli, raggiungendo le pendici nord occidentali del suddetto Monte del Poggio e quindi il limite settentrionale del territorio comunale.

Il Comune di Marzabotto (BO) ricade nelle tavole 237 NE MARZABOTTO, 237 NO SAVIGNO, 237 SO VERGATO, appartenenti al F° BOLOGNA N° 87.

La zona in analisi appartiene alle sezioni della Carta Tecnica Regione Emilia Romagna:

*MONTEPASTORE N° 237020*

*SASSO MARCONI OVEST N° 237030*

*BADOLO N° 237040*

*VEDEGHETO N° 237060*

*MARZABOTTO N° 237070*

*VADO N° 237080*

*RIOVEGGIO N° 237110*

Il territorio comunale ha geometria sub romboidale con lato maggiore al confine orientale, ed è delimitato

- dai meridiani
  - 669.500 ad ovest
  - 682.000 ad est

- dai paralleli
  - 4906000 a sud
  - 4917000 a nord.

Dal punto di vista altimetrico i terreni sono compresi tra 100/150 e 700/720 m slm; le quote relative minori, tra 100/150 m slm, contraddistinguono la fascia di fondovalle del F. Reno mentre quelle che caratterizzano i principali rilievi corrispondono ai 711 ÷ 694 m slm di M. Luminasio e M. Radicchio nella zona centro occidentale; le altitudini equivalgono a 668 ÷ 632 ÷ 613 m slm a Monte Sole – M. Caprara – M. Abele nel settore centro meridionale, si attestano a 708 m slm in corrispondenza della cima a nord di Medelena nella zona nord occidentale e corrispondono a 457 – 427 m slm a M. Giovine – M. Baco nel settore nord orientale.

Tali quote collocano il territorio in esame nella fascia collinare, del medio appennino bolognese, con altitudini medie comprese tra 200/300 ÷ 600/700 m slm,

Analizzando l'andamento delle curve di livello si osserva che i terreni hanno altimetria minore nella fascia centrale del territorio estesa sud nord, che asseconda l'andamento del F. Reno, dove è mediamente compresa circa tra 100 e 170 m e presenta morfologie a blanda pendenza; a tale settore appartengono il capoluogo con quote medie di 130 e 170 m slm ed i principali insediamenti urbanizzati Lama di Reno, Pian di Venola, Sibano, Pioppe di Salvaro, che si attestano rispettivamente a quote medie di 110/115/145 m slm, 140/150 m slm, 145/170 m slm, 150/170 m slm; analoghe caratteristiche contraddistinguono fascia al confine orientale in corrispondenza della confluenza del T. Setta al F. Reno nella zona di Sirano, con quote medie 135/150 m slm.

Il territorio di Marzabotto è costituito da un'estesa placca formata la litozone prevalentemente arenacee ad assetto sinforme.

La presenza di tipi rocciosi a diverso grado di erodibilità, unitamente agli assetti strutturali, ha determinato aspetti del passaggio a pronunciata differenziazione, caratterizzati da morfologie discretamente vivaci nei settori occidentali e meridionali costituiti da tipi rocciosi competenti; questi ultimi per processi erosivi di tipo selettivo hanno determinato forme che disegnano il territorio con aspetti rupestri, con presenza di pendii con acclività di 40° ÷ 50° omogeneamente diffusi in tutta l'area comunale. Tali versanti prevalgono tendenzialmente nei settori occidentale, centro orientale, sud orientale, dove i rilievi sono principalmente costituiti da litotipi arenacei e nelle zone settentrionali formate da litozone arenacee- conglomeratico arenacee.

Detti aspetti oltre al grado di erodibilità delle rocce, del loro assetto strutturale e presenza di faglie, conseguono ai processi di incisione che si sono sviluppati successivamente al *Wurm*, durante il quale il territorio a cui appartiene Marzabotto, in funzione delle quote medie 400/600/700 m slm, era caratterizzato da ambiente morfoclimatico periglaciale.

Le zone contraddistinte da assetti a bassa acclività, correlate in prevalenza a depositi alluvionali, si riscontrano nel settore centrale nella fascia allungata sud nord costituita dall'asta e depositi alluvionali del F. Reno. Sono inoltre presenti zone del territorio nelle quali le modeste pendenze sono correlabili ad una minore competenza dei termini litologici affioranti come nella fascia centro orientale dove sono presenti litozone marnose – marnoso argillose.

Analoghe morfologie a bassa acclività contraddistinguono il settore occidentale centrale ai lati del T. Venola, e meridionale orientale, tra Rodella – Alareda – Albergana – Rivabella – Cancola, correlate alla prevalente presenza di depositi eluvio – colluviali e di accumuli di frana quiescente ed in evoluzione.

Le rimanenti aree a bassa pendenza di maggior estensione, riconducibili a litozone a grado di consistenza relativo inferiore e zone di accumuli di frana quiescenti o attivi, si osservano nella fascia centrale orientale estesa ovest est circa tra Ronzano – Teggia – Pariano – Monzale, nella zona centrale occidentale estesa ovest est con andamento assecondante l'asta del T. Venola.

Sono inoltre rilevabili zone a bassa acclività connesse alla presenza di depositi di versante eluvio – colluviali nel settore sud occidentale tra Pioppe di Salvaro – Sibano – Trabbo e zona centro meridionale in destra del F. Reno, Albareta – Campidello – Sperticano, nell'area settentrionale orientale, ad est del sopracitato fiume, tra Lama di Reno – M. Giovine – Stanzano ed al bordo orientale tra C. Bergomini e Sibano.

## **2. METODOLOGIA D'INDAGINE**

L'analisi delle condizioni territoriali si è attuata mediante un rilevamento geologico – geomorfologico tecnico, direttamente eseguito sia in precedenza per la redazione delle analisi di MS2 che in seconda fase per le zone di locale approfondimento di MS3, rispettivamente restituiti in base cartografica in scala 1:5.000 e 1:2.000, che nelle zone di interesse degli sviluppi e quelle oggetto di MS3 hanno integrato a zone la Carta Geologica R.E.R., pubblicata dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli Regione Emilia Romagna.

Per quanto riguarda la sequenza litologico stratigrafica si è fatto riferimento alle classificazioni riportate nella Cartografia Geologica progetto CARG: Regione Emilia Romagna – Servizio Geologico d'Italia.

L'analisi d'insieme delle condizioni di stabilità degli ambiti territoriali sede dei principali insediamenti urbanizzati, di quelli oggetto delle possibili direttrici di sviluppo edificatorio e dei principali assi infrastrutturali, si è redatta in riferimento alle caratteristiche delle forme e processi e del dissesto identificate nella Carta dell'Inventario delle Frane RER aggiornata al 2019, carte delle aree suscettibili di effetti locali PTCP della Provincia di Bologna. Le disamine relative alle suddette zone per le analisi di MS2, sono state integrate dai parametri geomeccanici desunti da indagini geognostiche: sondaggi meccanici, prove penetrometriche e prospezioni geofisiche a rifrazione. effettuate da AA. VV. nel territorio.

Per le analisi di MS2 i sopraelencati dati sono stati implementati da n° 57 prospezioni geofisiche a rifrazione Re.Mi./MASW effettuate con metodo doppia acquisizione dei segnali sismici ed elaborate con procedura integrata restituendo i parametri in singole verticali, n° 57 verticali a stazione singola di acquisizione microtremori 23 delle quali restituite con profilo verticale delle velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio.

Per le analisi di MS3 sono state eseguite ulteriori 9 prospezioni Re.Mi./MASW, 9 verticali a stazione singola HVSR, 2 profili in tomografia elettrica 2D, 3 profili in tomografia sismica 2D.



Nelle elaborazioni di MS2 le sopra descritte informazioni, hanno consentito la definizione della caratterizzazione geotecnica d'insieme delle unità litologiche presenti nell'area comunale e di valutare, unitamente all'analisi dell'assetto topografico delle basi CTR E.R. in scala 1:5.000, lo spessore di massima dei terreni che formano le coperture quaternarie; l'elaborazione della carta delle pendenze, in funzione dei dislivelli topografici, ha permesso di individuare le parti del territorio nelle quali gli effetti morfologici possono influenzare il moto sismico in superficie.

Tali dati hanno costituito la documentazione base per la microzonazione sismica degli ambiti territoriali a densità edificatoria maggiore e delle zone oggetto delle direttrici di sviluppo, degli ambiti di previsto nuovo insediamento, da riqualificare, da trasformare, principali infrastrutture.

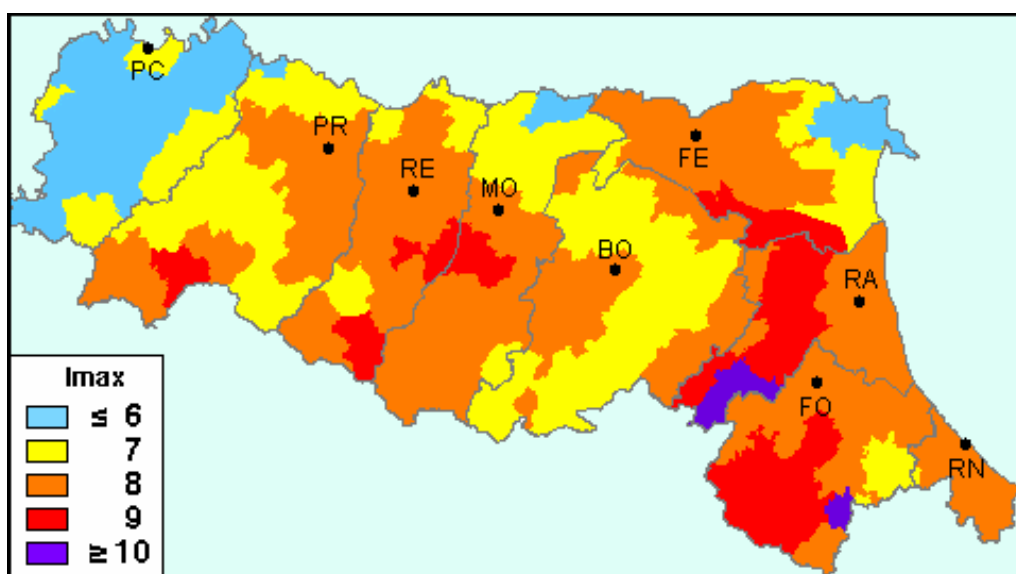
Le ulteriori prospezioni per le analisi di MS3, unitamente ad indagini geognostiche prove penetrometriche statiche CPT. Rm e prove penetrometriche dinamiche superpesanti DPSH, effettuate da AA.VV. negli ambiti immediatamente adiacenti alle aree oggetto dei locali approfondimenti di III° livello hanno consentito la stima della caratterizzazione geotecnica di insieme dei siti e lo sviluppo delle analisi di risposta sismica locale mediante codice di calcolo 1D e codice di calcolo 2D.

Alle rilevazioni di campagna ed elaborazioni cartografiche hanno collaborato *Dr. M. Boccaletti, M. Mazzetti, Dr. S. Gilli, Dr. G.P. Mazzetti, Centrogeo Survey S.n.c.*

### 3. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

La sismicità del territorio è prevalentemente correlata a meccanismi focali estensivi ed estensivo trascorrenti nelle strutture superficiali (primi 15 km); nelle zone sorgente di media profondità (15 ÷ 35 km) e subordinatamente profondi (≥35 km) è connessa a meccanismi focali compressivi e compressivo trascorrenti.

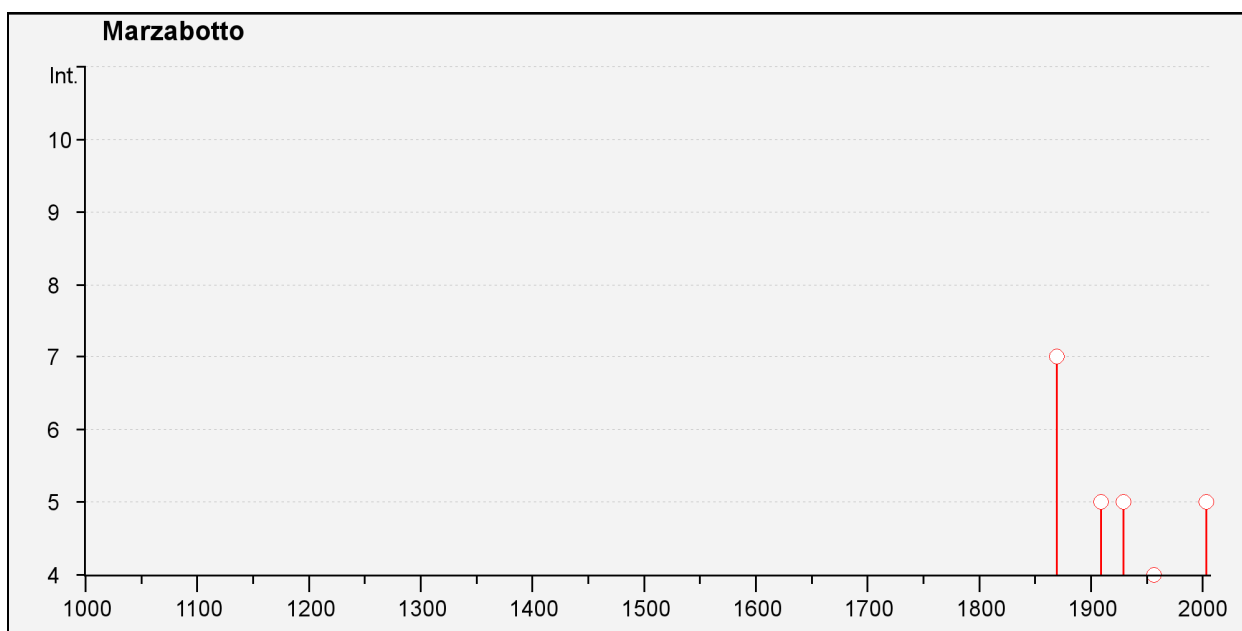
Nell'ambito in cui ricade il territorio comunale di Marzabotto (BO) il catalogo delle massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani, valutate a partire dalla banca dati macrosismici del GNDT e dai dati del Catalogo dei Forti Terremoti in Italia di INGV/SGA, elaborato per il Dipartimento della Protezione Civile (D. Molin, M. Stucchi e G. Valensise, 1996) documenta eventi sismici giungenti al 6° grado della Scala Mercalli – Cancani – Sieberg, con magnitudo massima corrispondente ad  $M_e = 5,5 \div 6$ , come evidenziato nella seguente figura:



Nell'area a cui appartiene il territorio di Marzabotto, BO e dei comuni contermini, il Database Macrosismico DBMI15 utilizzato per la compilazione del catalogo parametrico CPTI15 (a cura di Rovida A., Locati M., Camassi R., Loli B., Gasperini P. (eds), 2016. CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>) documenta gli eventi sismici di seguito riportati:

Storia sismica di Marzabotto  
Numero di eventi: 7

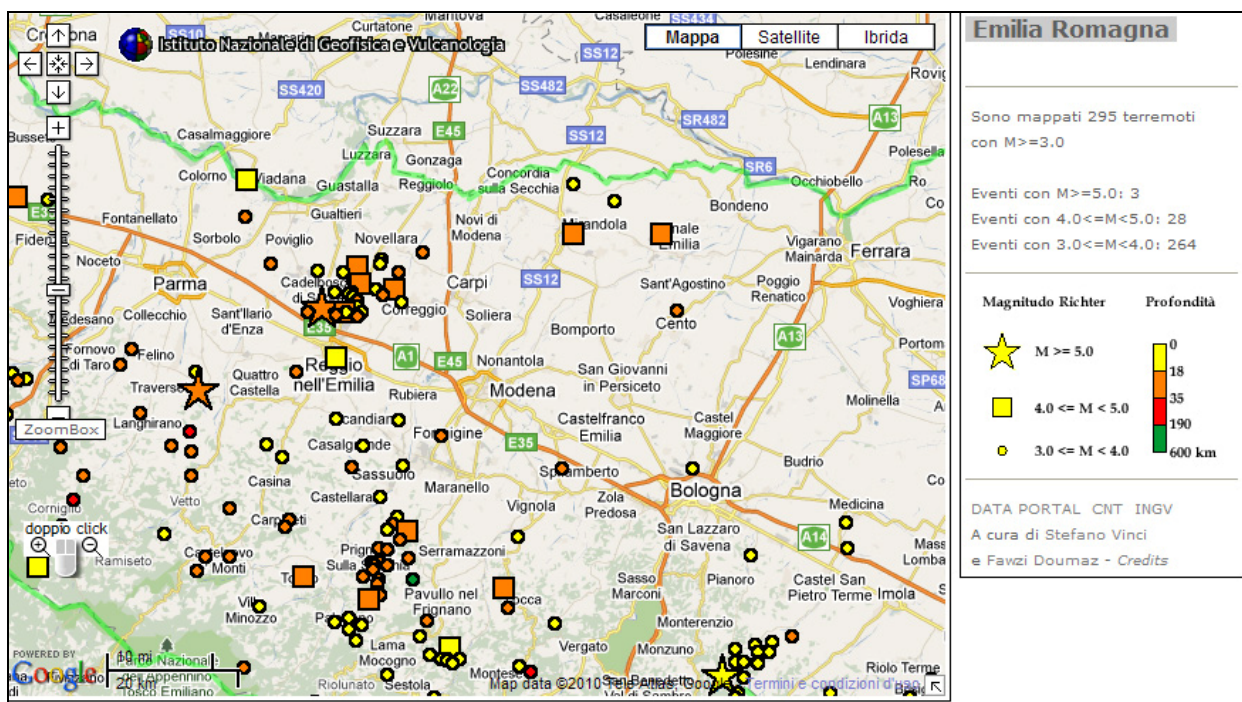
Effetti	In occasione del terremoto del:				
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io	Mw
7	<a href="#">1869 06 25 13:58</a>	Media valle del Reno	18	7-8	5.42 ±0.48
5	<a href="#">1909 01 13 00:45</a>	BASSA PADANA	799	6-7	5.53 ±0.09
5	<a href="#">1929 04 20 01:09</a>	Bolognese	109	7	5.34 ±0.13
4	<a href="#">1956 04 26 03:00</a>	Appennino tosco-emiliano	75	6	4.77 ±0.14
NF	<a href="#">1986 12 06 17:07</a>	BONDENO	604	6	4.61 ±0.10
NF	<a href="#">1992 04 17 11:59</a>	Montevoglio	56	4-5	4.32 ±0.18
5	<a href="#">2003 09 14 21:42</a>	Appennino bolognese	133	6	5.29 ±0.09



*Dove:  $I_0$  ed  $M_w$  = Intensità e Momento sismico epicentrale;  $I[MCS]$  = Intensità sismica percepita  
 $D$ =Danno di entità non precisabile (indicativamente  $I[MCS]>6$ )  
 $F$ =avvertito (presumibilmente senza danni)  $NF$ =non avvertito  $NR$ =non segnalato*

Dalle tabelle e dai grafici sopra esposti possono essere tratte le seguenti osservazioni:

- la storia sismica di Marzabotto ed al suo intorno ha una moderata testimonianza ed estensione temporale; il primo evento documentato risale al 1830 (Alto Reno – Vergato) la maggior parte risulta catalogata da fine 1800 e tutto il 1900)
- la sismicità è di tipo medio – medio elevato con intensità massime percepite in territorio di Marzabotto equivalenti  $I_s = 7$ , corrispondenti a magnitudo stimate in  $M_e = 5,43$ .
- le massime intensità sismiche sono correlate a sismi di media intensità sismica avvenuti nell'area tra M. Caprara – Monte Sole e/o verificatisi a distanze di 10/15 km (Zocca – San Benedetto del Querceto); sono inoltre documentati nel raggio di 30 km shock sismici superficiali di medio bassa magnitudo  $M_w=4,0\div 4,6$  che hanno contribuito in modo meno rilevante.



*Epicentri dei principali terremoti ( $M > 3$ ) rilevati da INGV tra il 1981 ed il 2006 nell'intorno dell'area di interesse*

**1.1.1.1 Risentimenti sismici locali**

La documentazione sugli eventi sismici che hanno indotto effetti nel territorio di Marzabotto nei periodi precedenti al 1830, probabilmente correlate alla poco diffusa presenza di edifici di importanza rilevante ed alla prevalente attenzione agli effetti dei terremoti che hanno interessato la città di Bologna, è praticamente nulla (catalogo parametrico CPTI15 – DBMI15).

Fa eccezione a ciò l'evento documentato nel catalogo dei forti terremoti in Italia (CFTI–2020) che testimonia un sisma con magnitudo equivalente  $M_e=5,6$  il 6 febbraio 1455, avvenuto nella media valle del Reno (Pian di Venola) *E. Guidoboni – A. Comastri, 2005*, che causò il crollo di molte case e panico nella popolazione, con molte repliche in un'ora, per il quale non sono localizzati specificatamente gli effetti più gravi; testimonianze di danni a molte chiese, crolli di comignoli e parti di muri sono documentati per il sisma del 20/12/1455 con  $M_e=4,9$  nella media valle del F. Reno in prossimità della località Borghetti (*E. Guidoboni – A. Comastri; 2005*).

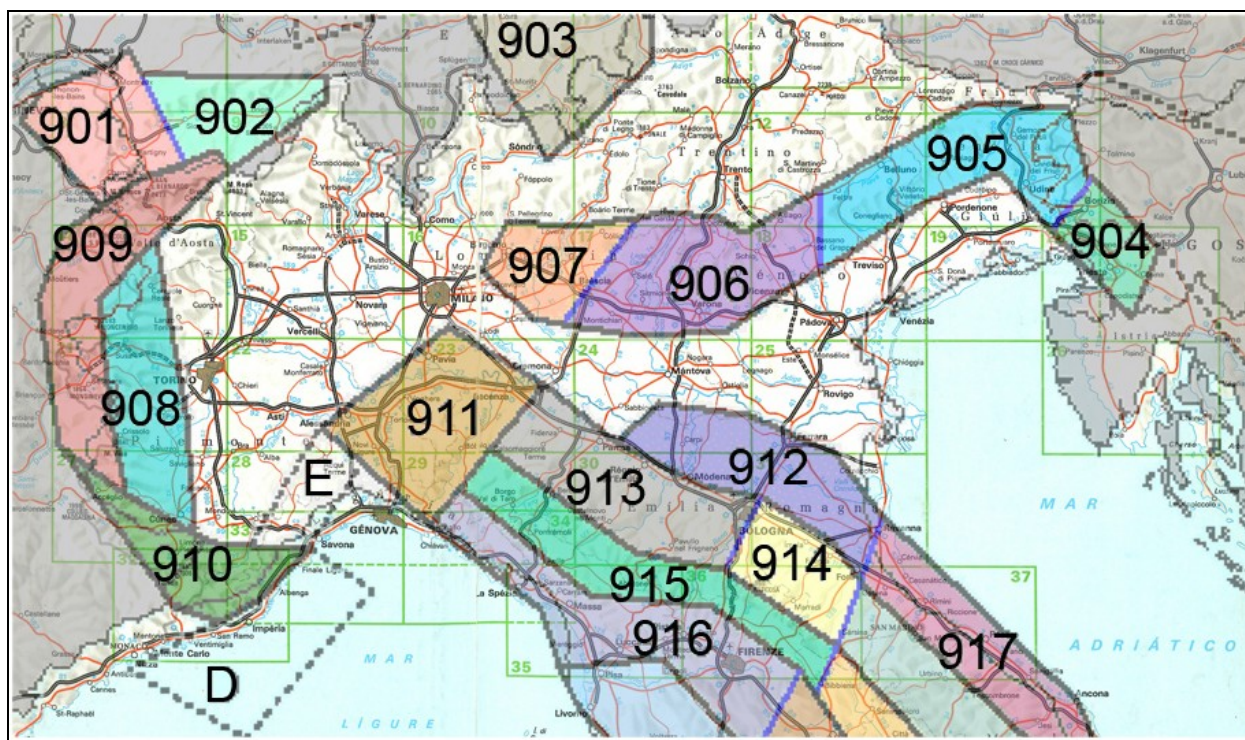
Nei periodi successivi al 1850 il catalogo CPTI 15 documenta un evento sismico che ha indotto effetti con  $I=7-8$  con  $M_e=5,4$  avvenuto il 25/06/1869 con epicentro circa 1 km a nord di Molinello, Vergato.

In tempi seguenti la fine del 1800 sono documentati sismi che hanno indotto effetti con  $I=5$  nel 1929 – 2003 ad eccezione del terremoto del 11/05/1962 con  $M_e=5,4$  che in territorio di Marzabotto ha generato effetti  $I=7$  ed in quello di Vergato effetti  $I=7-8$ ; per gli eventi sismici avvenuti successivamente, tra i quali quello del 26/06/1956 che ha indotto  $I = 4$  non è documentato siano stati causati danni o lesioni significative ai fabbricati.

### 1.1.1.2 Zone Sorgente

La zonazione sismica del territorio nazionale, che identifica le zone sorgente a caratteristiche sismiche omogenee, elaborata da I.N.G.V. (2003), attribuisce l'area comunale di Marzabotto al settore sud orientale della zona sismogenetica 913, ambito di dominio dell'Appennino Emiliano Romagnolo, distante circa 17 km dal bordo nord occidentale della zona sismogenetica 914 (Forlivese) ed equidistante (circa 22 km) da bordo settentrionale della zona sismogenetica 915, costituita del dominio della Garfagnana – Mugello e 18/20 km dal limite meridionale della zona sismogenetica 912 formata dal dominio delle Pieghe Emiliano Romagnole e Ferraresi.

La fascia 913 è caratterizzata dalla parte frontale delle pieghe in compressione dell'arco appenninico contraddistinta da terremoti storici che raramente hanno raggiunto valori di magnitudo elevati:  $M > 5,5$ .



Zonazione sismogenetica ZS9 (INGV, 2004)

Dalla documentazione della storia sismica sopra esposta si evince che il territorio di Marzabotto e le zone circostanti: Vergato, Sasso Marconi, Zocca, Monzuno, Grizzana Morandi, Savignano, Monte San Pietro, sono principalmente interessati dai meccanismi focali che si originano nella fascia delle strutture del medio appennino, risente inoltre della sismicità della fascia del lineamento frontale pedeappenninico e di quella della Garfagnana.

ZS	4.76	4.99	5.22	5.45	5.68	5.91	6.14	6.37	6.6
912	12	9	6	7	2	2	0	0	0
913	26	13	11	6	4	1	0	0	0
914	21	14	11	6	3	4	0	0	1
915	31	17	19	1	4	2	1	0	1

Distribuzione degli eventi sismici per classi di magnitudo per le zone 912, 913, 914 e 915 (INGV, 2004)

Gli epicentri sismici verificatisi nell'area che circoscrive i territori di Marzabotto e Vergato per un raggio di 20/25 km si sono originati per la percentuale maggiore nei primi 10/15 km del sottosuolo ed evidenziano un'attività sismogenetica principalmente di tipo superficiale; la distribuzione degli ipocentri focali che si generano tra -15 e -25 km dal piano campagna, è contraddistinta da percentuale relativa minore.

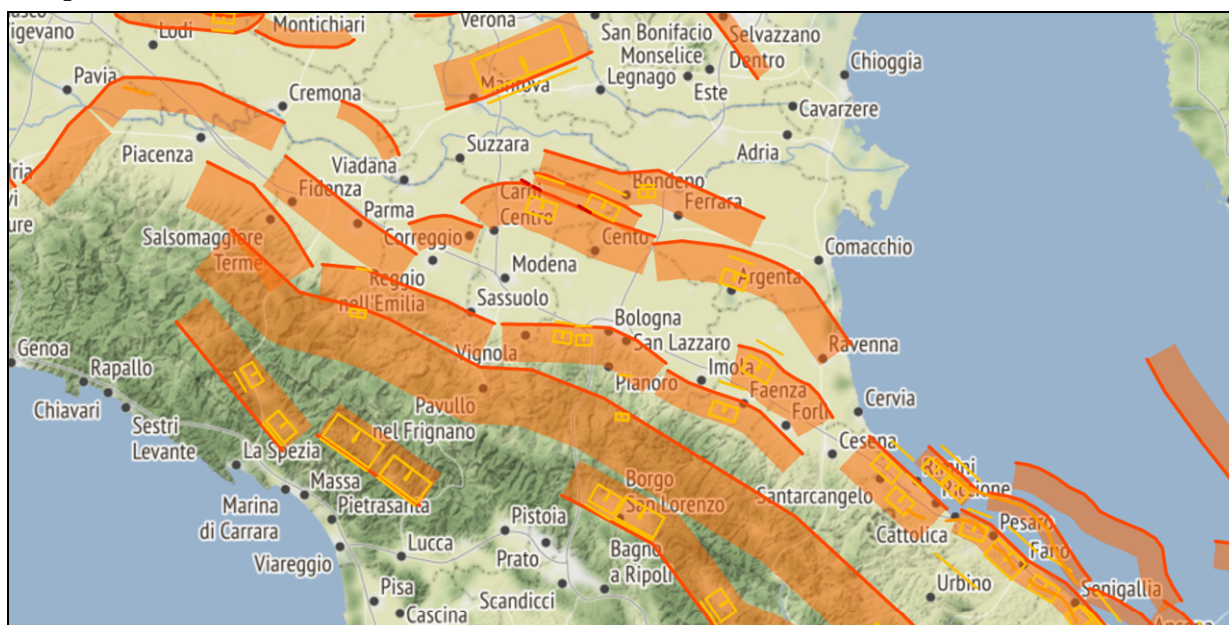
Detti fuochi nel conterminare territorio dell'appennino settentrionale modenese si estendono in una fascia a direzione sud ovest–nord est, circa secondo l'allineamento Palagano – Moncerrato – Nirano, caratterizzata da sismi di media magnitudo: Mw 4,0 ÷ 4,3.

#### 1.1.1.3 Zone sismogenetiche – DISS 3.2.1

La parte meridionale del territorio di Marzabotto appartiene alla zona sorgente sismogenetica composita ITCS027 Bore – Montefeltro – Fabriano – Laga estesa in direzione nord ovest – sud est circa da Solignano/Castelnuovo Monti a Pavullo nel Frignano – Vergato – Bagno di Romagna–Fabriano–Montorio al Varano. Detta fascia è caratterizzata da meccanismi compressivi che si originano tra -12 e -22 km del sottosuolo ai quali è attribuita una magnitudo massima Mw=6,2.

Gli epicentri principali della zona in oggetto sono individuati a distanze maggiori di 30 – 35 km ad eccezione della zona sorgente individuale ITCS 027 – Loiano.

Quest'ultima localizzata circa 16/18 km ad est–sudest di Marzabotto capoluogo, classificata in seguito all'evento sismico del 14/09/2003, è caratterizzata da ipocentri tra -16 e -19 km dal piano campagna, Mw=5,3 ed è contraddistinta da meccanismi focali compressivi – compressivo trascorrenti.



### 1.1.1.4 Classificazione sismica

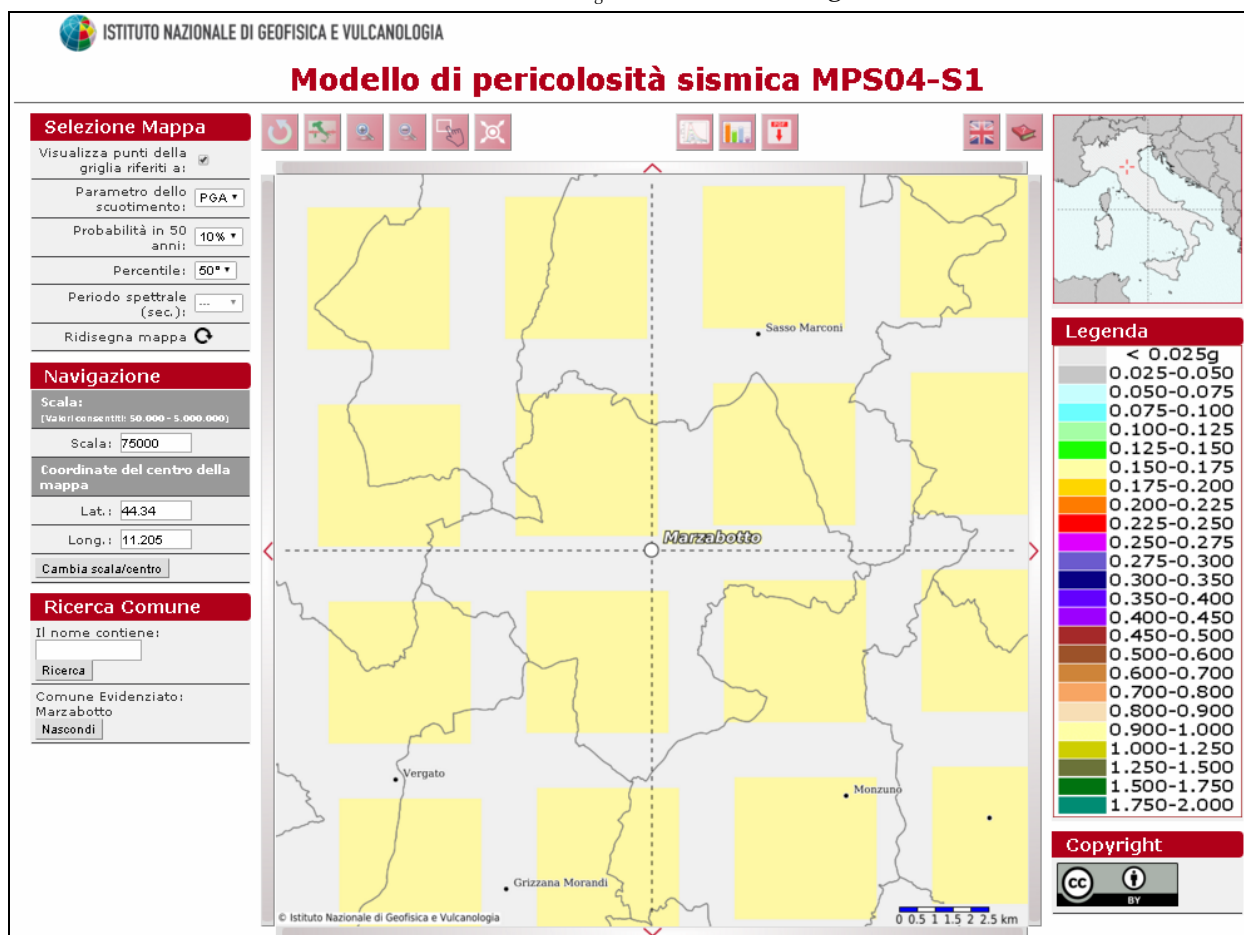
La riclassificazione sismica del territorio nazionale OPCM 3274/2003, NTC 17/01/2018 attribuisce il Comune di Marzabotto, alla zona 3 con grado di sismicità equivalente ai precedenti ambiti S6.

In riferimento ai dati nell'allegato A4 della Delibera della Giunta Regionale Emilia Romagna n° 630/2019, alla zona sismogenetica del territorio comunale di Marzabotto compete un valore dell'accelerazione orizzontale media dello spettro di risposta elastico, corrispondente a:

$$\text{Marzabotto } a_{\text{ref}} = 0,161 \text{ g}$$

La Carta della Pericolosità Sismica del territorio nazionale (INGV-DPC 2004-2006, Progetto esse1) riportante il valore dell'accelerazione orizzontale massima "ag" su suolo di riferimento che ha la probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, corrispondente ad un periodo di ritorno di 475 anni, assunto come riferimento dalla normativa sismica vigente, per il territorio del comune di Marzabotto, risulta compresa tra:

$$\text{Marzabotto } a_g = 0,150 \div 0,175 \text{ g}$$



Accelerazione di riferimento ag con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (INGV-DPC 2004-2006)

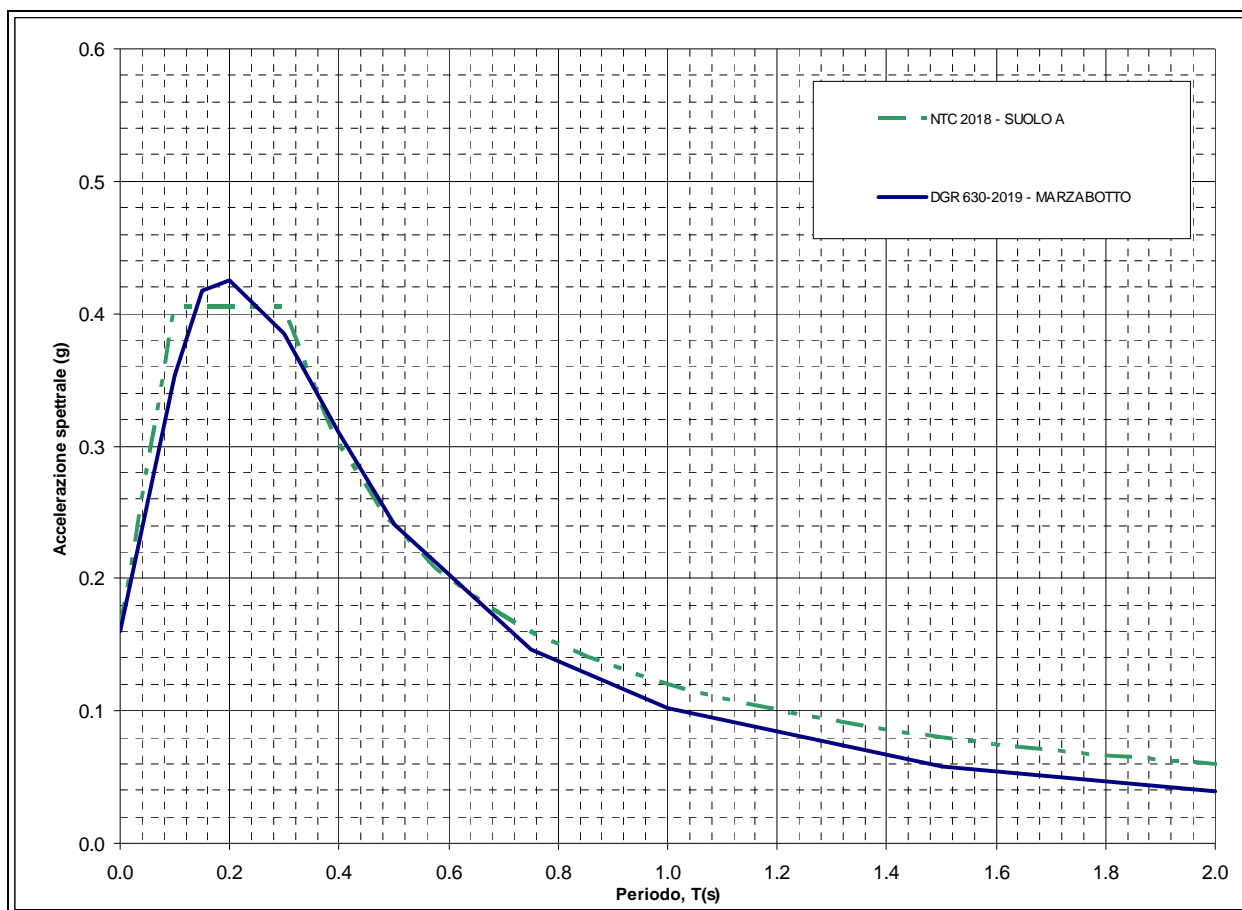
Tali valori, a livello territoriale aumentano in direzione sud e sud est.

Le fonti storiche suggeriscono una ripetuta attività nel corso dell'Olocene.

### 3.1. Pericolosità sismica – Definizione del moto di riferimento

La PGA per un periodo di ritorno di 475 anni riportata nelle mappe di pericolosità sismica di INGV (Meletti C., Montaldo V., 2007. Stime di pericolosità sismica per diverse probabilità di superamento in 50 anni: valori di ag. Progetto DPC-INGV S1, Deliverable D2, <http://esse1.mi.ingv.it/d2.html>) varia nell'intervallo 0,150÷0,175 g. Tali dati sono stati utilizzati dalla Regione Emilia Romagna per la redazione dei tabulati contenuti nella Delibera della Giunta Regionale n° 2193/2015 e successiva n° 630/2019, “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica”.

Mediante i dettami di detta delibera è stato costruito lo spettro di riferimento a probabilità uniforme per il comune di Marzabotto, evidenziato nella seguente figura, dove è confrontato con lo spettro elastico in superficie per sottosuolo di categoria A (DM 17-01-2018) riferito al medesimo comune.



Spettri di risposta a probabilità uniforme, pari al 10% di almeno una eccedenza in 50 anni per Marzabotto. Smorzamento pari al 5%. Con linea blu viene riportato lo spettro costruito con i parametri riportati nella delibera della Giunta Regionale ER n°630-2019, mentre con linea verde tratteggiata è riportato lo spettro elastico di risposta per suolo A determinato secondo i dettami delle NTC 2018.

In riferimento a tale spettro, in funzione dei valori di VHS che competono alle unità litostratigrafiche che costituiscono le varie parti del territorio comunale, sono state determinate le amplificazioni in superficie, in funzione dei valori dei fattori di amplificazione in termini di



accelerazione  $F_A$  e termini di velocità  $F_H$ , dell'accelerazione di gravità  $F_{PGA}$ , secondo i parametri esposti nelle tabelle dell'Allegato A2.1 della D.G.R. 1238/2020-630/2019; in funzione dei parametri in termini di accelerazione e della griglia ASI - INGV, sono stati determinati i valori di  $H_{SM}$ .

Nelle zone nelle quali sono stati effettuati gli approfondimenti di Microzonazione di III livello, in base agli accelerogrammi disponibili per il territorio di Marzabotto, sono stati determinati i fattori di amplificazione mediante elaborazioni con codice di calcolo.

Ai fini delle successive determinazioni è stato considerato lo spettro di risposta a probabilità uniforme proposto dalla Regione Emilia Romagna (DGR 630/2019).

## 4. ASSETTO GEOLOGICO STRUTTURALE

Il territorio comunale di Marzabotto (BO) appartiene al foglio 237 SASSO MARCONI della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000.

Le complessità ed articolazioni del quadro geologico del territorio appenninico Bolognese sono, in prima approssimazione, comunque riconducibili ad alcuni elementi principali di condivisa interpretazione nella documentazione scientifica in materia.

Per le descrizioni dei modelli di seguito sinteticamente riportati si vedano le note illustrative del foglio CARG 237 Sasso Marconi (*F. Panini, G. Bettelli et alii*; 2002).

Il territorio in analisi appartiene al versante padano dell'Appennino Settentrionale, nel quale l'assetto geologico e morfologico è determinato dalla sovrapposizione di falde tettoniche.

L'area comunale e le zone ad essa circostanti sono geologicamente attribuibili essenzialmente alle Unità alloctone, Liguri e Subliguri (*Bettelli et alii*), alla Successione Epiligure (*Ricci Lucchi e Ori 1985; Bettelli et alii, 1989*) (*Decandia e Elter, 1972; Elter e Marroni, 1992*) ed alla Successione Neogenico-Quaternaria del Margine Appenninico Padano.

Le Unità Liguri esterne che sovrascorrono e si giustappongono alle Unità Subliguri, che a loro volta hanno sovrascorso la Falda Toscana, sono contraddistinte dall'assenza di testimonianze del substrato oceanico sul quale si sono depositate e successivamente scollate durante la fase orogenica appenninica. In tale complesso si rinvencono isolate testimonianze, incluse tettonicamente e per fenomeni sedimentari, del sopracitato substrato che sono rappresentate da locali masse costituite da gabbri, graniti, breccie poligeniche, lembi basaltici o ofiolitici non presenti in territorio di Marzabotto ma osservabili nelle zone adiacenti: Grizzana Morandi – Vergato.

I processi tettonici che hanno coinvolto l'appennino settentrionale hanno scomposto i vari domini paleogeografici impilando e giustapponendo gli stessi in modo complesso, nel periodo che va dal *Cretaceo* all'attuale, sviluppandosi in due fasi. La prima di queste ha prodotto pieghe isoclinali compresse nelle liguridi interne, che sono state ulteriormente ripiegate nella seconda fase che ha ancor più riaccurciato le preesistenti strutture. Le fasi liguridi hanno determinato la chiusura del preesistente oceano ligure e con l'impilamento delle successioni dei domini liguri si sono generati bacini marini minori nei quali si sono depositate le successioni delle sequenze epiligruri.

Le unità litologiche liguri mostrano una deformazione interna molto maggiore rispetto a quanto osservabile nelle formazioni della sovrastante Successione Epiligure. In particolare la litozona delle Argille Varicolori presenta un grado di deformazione al punto che, probabilmente per il comportamento duttile dei litotipi argilloso – marnosi che la compongono, la stratificazione risulta quasi completamente cancellata.

I complessi rapporti tettonici e le ridotte dimensioni degli affioramenti di litozone delle Subliguri inglobati nelle unità liguri, in localizzate zone sono individuati come melanges tettonici (*Bettelli et alii; 1989a*).

Le successioni epiligruri che sovrastano e sigillano, in modo non continuo, le unità liguri, si sono deposte in corrispondenza di aree relativamente meno profonde, nelle quali processi

tettonici ne hanno obliterato i rapporti della originaria sovrapposizione stratigrafica per tettonica disgiuntiva neogenica quaternaria.

Tali processi hanno costituito una complessa struttura a sinclinali ed anticlinali, più o meno asimmetriche, ad asse appenninico con faglie inverse embricate in direzione settentrionale, che formano la cerniera di saldatura tra la catena appenninica e la regione delle pieghe e thrust sepolti della Pianura Padana, denominata: Lineamento Frontale Appenninico.

Dette azioni tettoniche nelle fasce più settentrionali hanno coinvolto anche i depositi quaternari continentali pleistocenici.

Le strutture compressive e le superfici di sovrascorrimento della Coltre Alloctona, Successione Epiligure e del Margine Appenninico, sono dislocate da faglie disgiuntive subverticali con direzione sia appenninica che antiappenninica. L'età di queste ultime è dunque almeno post *-Pliocene inferiore*.

Tali strutture disgiuntive si presentano spesso come zone di intensa fatturazione, talora senza rigetti importanti alla scala cartografica. I rigetti riconoscibili lungo tali superfici presentano sia componenti verticali che orizzontali.

Dette linee recenti hanno decisamente influenzato anche le geometrie del reticolo idrografico.

Nel territorio di Marzabotto tali processi deformativi hanno determinato, per la placca prevalentemente arenacea della Successione Epiligure, un assetto a brachisinclinale con asse ovest – est con immersione orientale.

## **SUCCESSIONE STRATIGRAFICA**

Le unità litostratigrafiche che costituiscono la fascia del medio appennino bolognese al quale appartiene il territorio di Marzabotto, sono attribuite, dall'alto in basso in senso stratigrafico, a:

- **Depositi Quaternari Continentali**
- **Successione Neogenica- Quaternaria del margine appenninico padano**
- **Successione Epiligure**
- **Dominio ligure**
  - ***Successioni della Val Rossenna***
  - ***Formazione Pre Flysch ad Elmintoidi***

Di queste, di seguito schematicamente elencate, le prime sono costituite da depositi continentali superficiali recenti e medio recenti di varia età e posizione stratigrafica dell'*Olocene* e *Pleistocene Superiore*. Dette unità sono formate da materiali granulometria variabile dai limi argillosi a sabbie – sabbie ghiaiose ai massi, con assetto sedimentario da assente (frane) a grossolanamente gradato (depositi alluvionali) che rivestono a zone, in discordanza e modo discontinuo, il substrato roccioso.

Le sequenze più recenti: Successione Neogenico Quaternaria, sono costituite da depositi alluvionali del sistema AES, sabbie e areniti poco cementate, conglomerati a bassa cementazione ed alternanze arenacee-calcarenitiche e livelli pelitici.

Le sequenze della Successione Epiligure, sono costituite in percentuali circa equivalenti da litozone marnoso argillose e ad alternanze arenaceo – arenaceo pelitiche – marnoso silicee, a grado di consistenza meccanica medio – medio elevato, e da unità argilloso – argillitiche, intensamente tettonizzate e con caratteristiche di resistenza meccanica di grado basso, tendenzialmente prevalenti.

Le successioni e formazioni del Dominio Ligure sono principalmente costituite da torbiditi arenaceo calcaree – calcareo marnose a medio – medio basso grado di resistenza meccanica, e da argilliti – alternanze arenitico pelitiche con prevalenza delle peliti, a basso grado di resistenza meccanica.

Le unità litostratigrafiche presenti nel territorio Comunale di Marzabotto sono schematicamente riassunte, dall'alto verso il basso in senso stratigrafico, come di seguito esposto.

## **SUCCESSIONE NEOGENICA – QUATERNARIA DEL MARGINE APPENNINICO PADANO**

### ***SUBSINTEMA DI RAVENNA (AES8) (Olocene età radiometrica della base: 14.000-11.000 anni)***

Limi sabbiosi e limi argillosi negli apparati dei torrenti minori o ghiaie in lenti entro limi, subordinate ghiaie e ghiaie sabbiose in quelli dei torrenti e fiumi principali.

#### ***AES8a – UNITA' DI MODENA (Post-VI secolo dC.)***

Depositi ghiaiosi sabbiosi medio fini – limoso sabbiosi; corrisponde al primo ordine rispetto all'alveo dei terrazzi nelle zone intravallive.

### ***SUBSINTEMA DI VILLA VERUCCHIO (AES7) (Pleistocene sup)***

Depositi prevalentemente ghiaiosi e ghiaioso-sabbiosi in ambiente intravallivo e allo sbocco dei corsi d'acqua in pianura; lateralmente limi prevalenti con subordinate ghiaie e sabbie.

### ***FORMAZIONE DI MONTE ADONE – MEMBRO DELLE GANZOLE (ADO2) (Piacenziano – Calabriano?)***

Arenarie fini e subordinate peliti sabbiose bioturbate, in strati da medi a molto spessi a geometria tabulare, cuneiforme e concava.

### ***FORMAZIONE DI MONTE ADONE – MEMBRO DI MONTE DELLE FORMICHE (ADO1) (Piacenziano – Calabriano?)***

Arenarie e subordinati conglomerati a stratificazione da media a molto spessa.

### ***FORMAZIONE DI MONTERUMICI – MEMBRO DI CA' DI MAZZA (RUM2) (Zancleano)***

Argille, spesso sabbiose e sabbie in strati da sottili a molto spessi, con intercalazioni di ghiaie e conglomerati in strati spessi e molto spessi.

### ***FORMAZIONE DI MONTERUMICI – MEMBRO DI SCASCOLI (RUM1) (Zancleano)***

Conglomerati in strati spessi e molto spessi, fino a banchi, a geometria tabulare e lenticolare, in genere mal definiti.

**SUCCESSIONE EPILIGURE****FORMAZIONE DEL TERMINA (TER)** (*Serravalliano sommitale – Messiniano inf*)

Marne e marne argillose grigio scure a stratificazione spesso indistinta; subordinate arenarie fini, bioturbate e locali strati millimetrici di argille bituminose con resti di pesci.

**LENTE ARENACEO-PELITICA (TERap)** (*Serravalliano sommitale – Messiniano inf*)

Corpo lenticolare costituito da arenarie risedimentate passanti a peliti marnose in strati da sottili a medi.

**FORMAZIONE DI CIGARELLO (CIG)** (*Langhiano p.p. – Serravalliano*)

Marne siltose e sabbiose, talora argillose, sottilmente stratificate, bioturbate e fossilifere, grigie, grigio scure o beige se alterate.

**MEMBRO DI MONTE LUMINASIO (CIG2)** (*Langhiano– Serravalliano*)

Arenarie fini e medie, localmente biocalcareni e litoareniti grossolane e microconglomeratiche, alternate a peliti siltose grigie, in strati tabulari da sottili a molto spessi.

**MEMBRO DI MONTALTO NUOVO (CIG1)** (*Langhiano inf*)

Alternanze di arenarie finissime bioturbate e peliti marnoso-sabbiose, in strati da sottilissimi a spessi.

**FORMAZIONE DI PANTANO (PAT)** (*Burdigaliano sup – Langhiano inf*)

Areniti siltose fini e finissime, grigie, alternate a peliti marnose e siltose grigio-chiare a stratificazione mal distinguibile per bioturbazione.

**MEMBRO DI CALVENZANO (PAT3)** (*Burdigaliano sup – Langhiano inf*)

Areniti ibride da medie a fini, localmente grossolane in strati da medi a molto spessi, alternate ad arenarie siltose e siltiti marnose grigiastre.

**FORMAZIONE DI CONTIGNACO (CTG)** (*Acquitano – Burdigaliano inf*)

Marne siltose, siltiti o arenarie risedimentate fini, a contenuto siliceo, in strati sottili e medi, di colore grigio – verdognolo con patine manganesifere di alterazione.

**BRECCHE ARGILLOSE DELLA VAL TIEPIDO - CANOSSA (MVT)** (*Acquitano*)

Brecche argillose poligeniche a matrice argillosa prevalentemente grigia, con clasti eterometrici di calciliti, calcari marnosi, marne, siltiti e arenarie, a stratificazione mal distinguibile.

**FORMAZIONE DI ANTOGNOLA (ANT)** (*Chattiano – Burdigaliano Inf?*)

Marne e marne argillose, grigio- verdognole, a luoghi siltose, con rada presenza di sottili strati arenacei a grana fine.

**MEMBRO DI ANCONELLA (ANT4)** (*Chattiano? – Burdigaliano Inf?*)

Areniti arcose grigio-giallastre da molto grossolane a fini, risedimentate, con subordinate peliti nerastre e marne argillose grigio verdi; stratificazione tabulare da media a molto spessa o massiva per amalgamazione.

**MEMBRO DI ANCONELLA – LITOFACIES ARENACEO PELITICA (ANT4a)**

(*Chattiano? – Burdigaliano Inf?*)

Litozona arenaceo-pelitica con strati da medi a molto spessi, tabulari.

**FORMAZIONE DI RANZANO - MEMBRO DI ALBERGANA (RAN4)** (*Rupeliano medio -sup.*)

Alternanze pelitico-arenacee in strati generalmente da molto sottili a medi costituiti da feldspatoareniti fini passanti a peliti grigie.

**LITAZONA PELITICA (RAN4a)** (*Rupeliano medio -sup.*)

Peliti grigio scure.

**MARNE DI MONTEPIANO (MMP)** (*Bartoniano – Rupeliano inf.*)

Argille marnose e marne rosse, rosate, grigio chiaro e verdognole, recanti sottili strati di arenarie fini, siltiti nerastre e calcari marnosi.

**FORMAZIONE DI LOIANO (LOI)** (*Luteziano Terminale - Priaboniano*)

Arenarie arcose risedimentate da fini a molto grossolane, di colore grigio-biancastro, a luoghi microrcongomeratiche in strati da medi a spessi, gradati, talora amalgamati, con peliti scure e rare brecce e conglomerati.

**LITOZONA ARENACEO PELITICA (LOIap)** (*Luteziano Terminale - Priaboniano*)

Alternanze arenaceo-pelitiche.

**MEMBRO DI RIO GIORDANO (LOI1)** (*Luteziano sommitale*)

Argille marnoso-siltose verdastre, grigio scure o localmente rossastre, a stratificazione mal distinta.

**BRECCE ARGILLOSE DI BAISO (BAI)** (*Luteziano sup. - Bartoniano*)

Brecce sedimentarie poligeniche a prevalente matrice argillosa grigia, recanti inclusi eterometrici ed eterogenei di varie unità liguri.

**MEMBRO DI PIAN DI SETTA (BAI2)** (*Luteziano sup. - Bartoniano*)

Brecce poligeniche a matrice argillosa grigia recante clasti eterometrici di calcilutiti grigio chiare e arenarie fini; materiale in prevalenza proveniente da APA, presenza di inclusi metrici di LOI1 o MMP.

**MEMBRO DELLA VAL FOSSA (BAI1)** (*Luteziano sup. - Bartoniano*)

Brecce poligeniche a matrice argillosa grigio scura e nerastra con clasti eterometrici di peliti, calcilutiti e arenarie; materiale in prevalenza proveniente da AVV, SCB e AVS.

**DOMINIO LIGURE**

## SUCCESSIONE DELLA VAL ROSSENNA

**FORMAZIONE DI MONTE VENERE (MOV)** (*Campaniano sup. - Maastrichtiano sup.*)

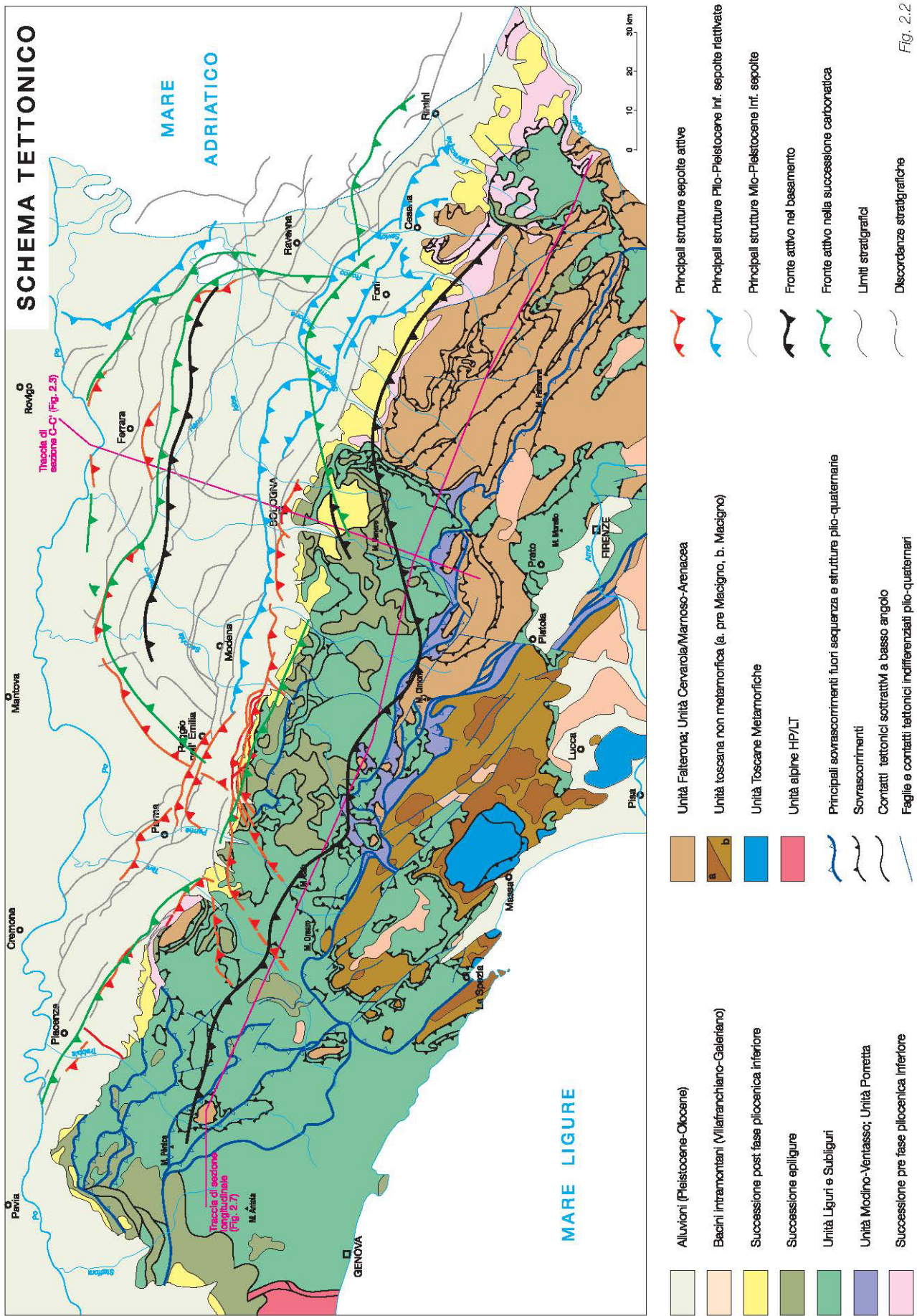
Alternanze torbiditiche calcareo- marnose a base finemente detritica e di colore grigio chiaro con al tetto intervalli di sottili e medi livelli di argilliti scure o nerastre.

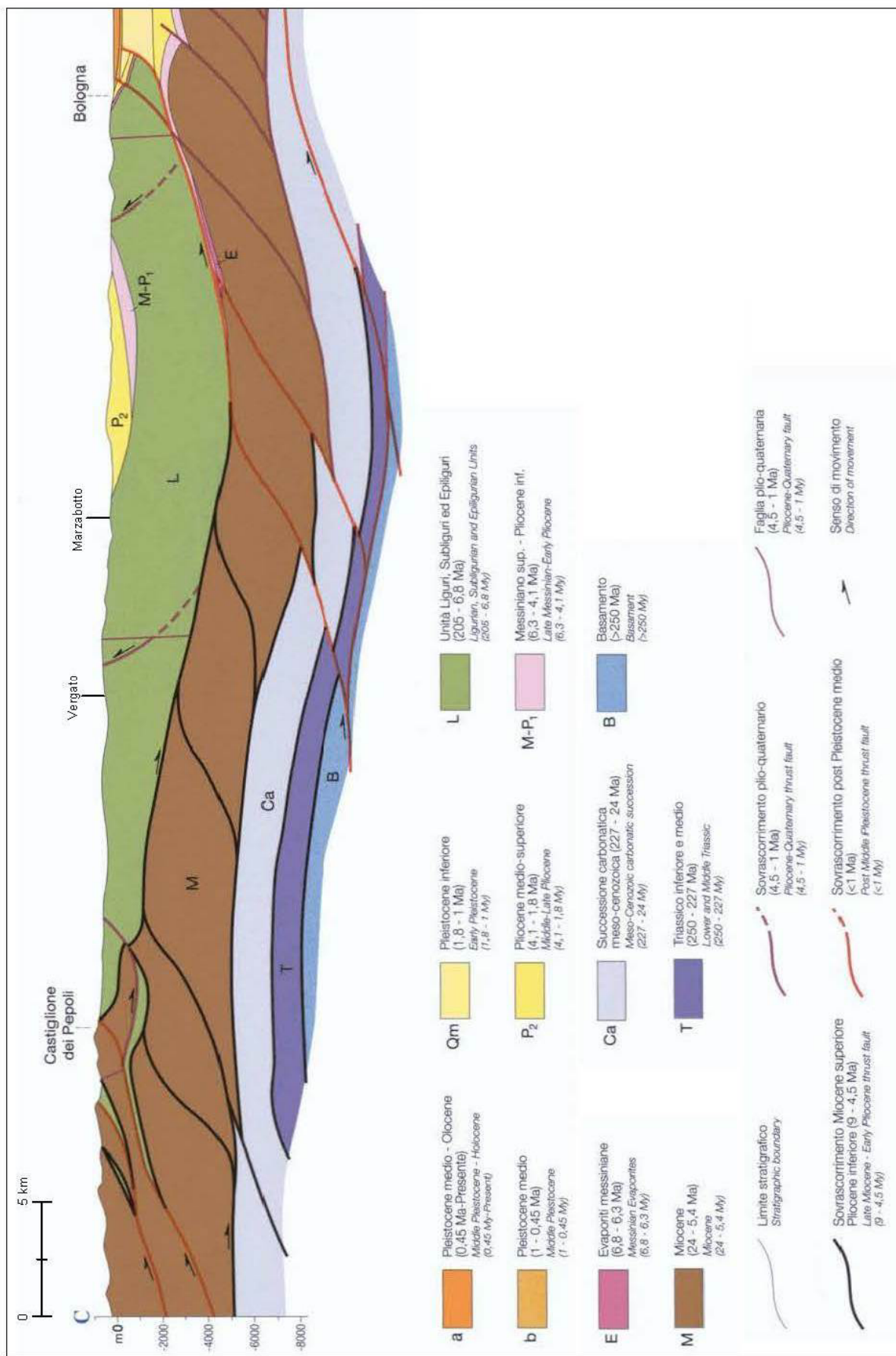
## FORMAZIONI PRE-FLYSCH AD ELMINTOIDI

**ARGILLE VARICOLORI DI CASSIO (AVV)** (*Cenomaniano - Campaniano sup.*)

Argille e argilliti rosse, rosate, nerastre e verdi fissili, sottilmente stratificate, spesso caotiche per intensa tettonizzazione, con subordinate intercalazioni di arenarie risedimentate, calcilutiti silicee e marne calcaree.

CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA







UNITÀ CRONOSTRATIGRAFICHE		ETÀ Ma	SCALA CRONOSTRATIGRAFICA Ma
QUATERNARIO CONTINENTALE	SUPERSISTEMA EMILIANO ROMAGNOLO	~0.12	PLEISTOCENE SUPERIORE - OLOCENE 0.125
	SISTEMA EMILIANO ROMAGNOLO SUPERIORE		
QUATERNARIO MARINO	SISTEMA EMILIANO ROMAGNOLO INFERIORE	-0.35-0.45	PLEISTOCENE MEDIO
	SUBSISTEMA EMILIANO ROMAGNOLO INFERIORE		
QUATERNARIO MARINO	SUPERSISTEMA DEL QUATERNARIO MARINO	-0.65	-0.89
	SISTEMA QUATERNARIO MARINO 3'		
QUATERNARIO MARINO	SUBSISTEMA QUATERNARIO MARINO 3'	~0.8	PLEISTOCENE INFERIORE
	SISTEMA QUATERNARIO MARINO 2		
QUATERNARIO MARINO	SISTEMA QUATERNARIO MARINO 1	-1.0	1.72
	SUPERSISTEMA DEL PLOCIENE MEDIO-SUPERIORE		
P2	SUPERSISTEMA MEDIO SUPERIORE DEL PLOCIENE	-2.2	PLOCIENE MEDIO - SUPERIORE
	ALLUVIONI / QUATERNARIO MARINO E SABBIE DI ASTI		
P2	SUPERSISTEMA MEDIO SUPERIORE DEL PLOCIENE	-3.3-3.6	PLOCIENE INFERIORE 3.55 MICCENE
	ALLUVIONI / QUATERNARIO MARINO E SABBIE DI ASTI		

Da: G. Di Dio, 1998  
parz. Modi:

ANNI	PERIODI GEOLOGICI	PERIODI STORICI	CIVILTÀ E CULTURE
1.000	STORIA	ALTO MEDIO	Età Cristiana (1.000) Età Carolingia (800-900) Età Romanica-Lombarda (1000-1100) Età Romanobizantina (1100)
1700			
1800	PROTOSTORIA	ETÀ FERREA	Età Spuria Età Arcaica Età Arcaica Età Villanoviana Età Etrusca e Chiusa
1900			
2.000	PROTOSTORIA	ETÀ DEL FERRO	Civiltà Etrusca L. 100-1000 Villanoviana L. 1000-1000
3.000			
3.500	PROTOSTORIA	ETÀ DEL BRONZO	Protobizantina (1.000-1000) Cultura della terracotta Cultura adriatica (1.000-1.000) Cultura di Poggio (1.700-1.000)
4.000			
4.500	PROTOSTORIA	ETÀ DEL RAME	Cultura di Montebello (2.000-1.000) Cultura del valle adriatica Cultura di Fiorano L. 2.000-1.000
5.000			
5.500	PROTOSTORIA	ETÀ DEL PIOMBO	Cultura della Lapina (2.000-2.000) Cultura del vall' e basso adriatico (2.000-2.000) Cultura di Fiorano L. 2.000-1.000
6.000			
6.500	PROTOSTORIA	ETÀ DEL RAME	a. Invasione protostorica neolitica
7.000			
7.500	PROTOSTORIA	ETÀ DEL RAME	a. Invasione protostorica neolitica
8.000			
8.500	PROTOSTORIA	ETÀ DEL RAME	a. Invasione protostorica neolitica
9.000			
9.500	PROTOSTORIA	ETÀ DEL RAME	a. Invasione protostorica neolitica
10.000			
10.500	PROTOSTORIA	ETÀ DEL RAME	a. Invasione protostorica neolitica
11.000			
11.500	PROTOSTORIA	ETÀ DEL RAME	a. Invasione protostorica neolitica
12.000			
12.500	PROTOSTORIA	ETÀ DEL RAME	a. Invasione protostorica neolitica
13.000			
13.500	PROTOSTORIA	ETÀ DEL RAME	a. Invasione protostorica neolitica
14.000			
14.500	PROTOSTORIA	ETÀ DEL RAME	a. Invasione protostorica neolitica
15.000			
15.500	PROTOSTORIA	ETÀ DEL RAME	a. Invasione protostorica neolitica
16.000			
16.500	PROTOSTORIA	ETÀ DEL RAME	a. Invasione protostorica neolitica
17.000			
17.500	PROTOSTORIA	ETÀ DEL RAME	a. Invasione protostorica neolitica
18.000			
18.500	PROTOSTORIA	ETÀ DEL RAME	a. Invasione protostorica neolitica
19.000			
19.500	PROTOSTORIA	ETÀ DEL RAME	a. Invasione protostorica neolitica
20.000			
20.500	PROTOSTORIA	ETÀ DEL RAME	a. Invasione protostorica neolitica
21.000			
21.500	PROTOSTORIA	ETÀ DEL RAME	a. Invasione protostorica neolitica
22.000			
22.500	PROTOSTORIA	ETÀ DEL RAME	a. Invasione protostorica neolitica
23.000			
23.500	PROTOSTORIA	ETÀ DEL RAME	a. Invasione protostorica neolitica
24.000			
24.500	PROTOSTORIA	ETÀ DEL RAME	a. Invasione protostorica neolitica
25.000			
25.500	PROTOSTORIA	ETÀ DEL RAME	a. Invasione protostorica neolitica
26.000			
26.500	PROTOSTORIA	ETÀ DEL RAME	a. Invasione protostorica neolitica
27.000			
27.500	PROTOSTORIA	ETÀ DEL RAME	a. Invasione protostorica neolitica
28.000			
28.500	PROTOSTORIA	ETÀ DEL RAME	a. Invasione protostorica neolitica
29.000			
29.500	PROTOSTORIA	ETÀ DEL RAME	a. Invasione protostorica neolitica
30.000			
30.500	PROTOSTORIA	ETÀ DEL RAME	a. Invasione protostorica neolitica
31.000			
31.500	PROTOSTORIA	ETÀ DEL RAME	a. Invasione protostorica neolitica
32.000			
32.500	PROTOSTORIA	ETÀ DEL RAME	a. Invasione protostorica neolitica
33.000			
33.500	PROTOSTORIA	ETÀ DEL RAME	a. Invasione protostorica neolitica
34.000			
34.500	PROTOSTORIA	ETÀ DEL RAME	a. Invasione protostorica neolitica
35.000			
35.500	PROTOSTORIA	ETÀ DEL RAME	a. Invasione protostorica neolitica
36.000			
36.500	PROTOSTORIA	ETÀ DEL RAME	a. Invasione protostorica neolitica
37.000			
37.500	PROTOSTORIA	ETÀ DEL RAME	a. Invasione protostorica neolitica
38.000			
38.500	PROTOSTORIA	ETÀ DEL RAME	a. Invasione protostorica neolitica
39.000			
39.500	PROTOSTORIA	ETÀ DEL RAME	a. Invasione protostorica neolitica
40.000			

Da: AA. VV. Prov. RE, 1989

SCALA GEO-CRONOMETRICA IN MA		SCALA CRONOSTRATIGRAFICA	
EPOCHES		ETÀ STANDARD	
0	PLEISTOCENE	1.7	CALABRIANO
5	PLIOCENE	2.8	PIACENZIANO
		4.2	TABIANIANO
		6.6	MESSINIANO
10	MIOCENE SUPERIORE	11.5	TORTONIANO
15	MIOCENE MEDIO	15.5	SERRAVALLIANO
		16.5	LANGHIANO
20	MIOCENE INFERIORE	22.5	BURDIGALIANO
		24	AQUITANIANO
25	OLIGOCENE SUPERIORE		CATTIANO
30	OLIGOCENE INFERIORE	32	RUPELIANO
35	EOCENE SUPERIORE	40	PRIABONIANO
		44	BARTONIANO
40	EOCENE MEDIO	49	LUTEZIANO
45	EOCENE INFERIORE	53.5	YPRESIANO
50	PALEOCENE SUPERIORE	60	THANETIANO
55	PALEOCENE INFERIORE	65	DANIANO

UNITA' DELLA SCALA STANDARD								
DATAZIONI IN Ma	EON	ERE	ERAZI	PERIODI	EPOCHES	ETÀ		
				SISTEMI	SERIE	PIANI		
1.8	CENozoico	TERTIARIA	CENozoico	QUATERNARIO	OLOCENE	VERSILIANO		
				PLEISTOCENE	TIRRENIANO			
					MILAZZIANO			
					SICILIANO			
					EMILIANO			
					CALABRIANO			
5				NEOGENE	PLIOCENE	PIACENZIANO		
					MIOCENE	ZANCLEANO		
						MESSINIANO		
						TORTONIANO		
						SERRAVALLIANO		
						LANGHIANO		
						BURDIGALIANO		
						AQUITANIANO		
24				PALEOGENE	OLIGOCENE	CATTIANO		
					EOCENE	RUPELIANO		
37						PRIABONIANO		
						LUTEZIANO		
						YPRESIANO		
53.5					PALEOCENE	THANETIANO		
						MONTIANO		
						DANIANO		
65				MESozoico	MESozoico	CRETACICO	SENO- NIANO	MAASTRICHTIANO
								CAMPANIANO
			SANTONIANO					
			CONIACIANO					
			TURONIANO					
			CENOMANIANO					
			ALBIANO					
			APTIANO					
			BARREMIANO					
			HAUTERIVIANO					
			VALANGINIANO					
			BERRIASIANO					
143	RZOOZOICO	RZOOZOICO	GIURASSICO	MALM	OXFORDIANO			
					DOGGER			
					CALLOYIANO			
					BATHONIANO			
					BAJOCIANO			
					AALEMIANO			
					TOARCIANO			
					PLIENS-BACHIANO			
					SINE-MURIANO			
					HETTANGIANO			
212	ZOOZOICO	ZOOZOICO	TRIASSICO	superiore	RETICO			
					NORICO			
					CARNICO			
					LADINICO			
					ANISICO			
					inferiore			
247	PILCOZOICO	PILCOZOICO	PERMIANO	superiore	TATARIANO			
					KAZANIANO			
					KUNGURIANO			
					ARTINSKIANO			
289	LCOZOICO	LCOZOICO	CARBONIFERO	SILESIANO	ORENBURGIANO			
					GZELIANO			
					MOSCOWIANO			
					BASHKIRIANO			
					SERPUKHOVIANO			
					DINANTIANO			
					superiore			
					FAMENIANO			
367	COZOICO	COZOICO	DEVONIANO	medio	GIVETIANO			
					EIFELIANO			
					EMSIANO			
					inferiore			
416	OZOICO	OZOICO	SILURIANO	superiore	SIEGEMANO			
					GEDINIANO			
					PRIDOLIANO			
					LUDLOVIANO			
445	ICZOICO	ICZOICO	ORDOVICIANO	inferiore	WENLOCKIANO			
					LLANDOVERIANO			
					VALENTIANO			
					ASHGILLIANO			
					CARADOCIANO			
					superiore			
			LLANDELIANO					
			LLANVIRNIANO					
			ARENIGIANO					
			SKIDDAVIANO					
			TREMADOCIANO					
509	OZOICO	OZOICO	CAMBRIANO	superiore				
					medio			
					inferiore			

Da: P.R. Vail, 1977  
parz. mod.

#### **4.1. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO**

Il territorio di Marzabotto appartiene alla fascia collinare e del medio appennino e ricade nel bacino idrografico del F. Reno

Da un punto di vista geomorfologico e della geologia del quaternario in generale, sono state riconosciute e descritte, per le zone del crinale e sub crinale appenninico, forme e depositi attribuibili alle glaciazioni pleistoceniche; per le zone del medio appennino ed alta collina sono state individuate forme e processi correlati ad ambiente periglaciale (M. Panizza e F. Mantovani, 1974, conca di Pavullo; A. Colombetti, placca di Zocca - Castel d'Aiano, 1975; G.P. Mazzetti, 1978, 2018, sinclinale di Carpineti).

A detta fascia seguono nelle aree più prossime alla pianura litozone costituite da sedimenti marini marginali del *Quaternario* antico-medio e depositi fluviali terrazzati del *Quaternario* medio-recente, continentale, (Sintema Emiliano Romagnolo Superiore, rappresentato nel territorio di Marzabotto dai Subsintemi AES8a/8-AES 7).

Il tipo di drenaggio che si rileva a scala territoriale nel settore di appennino in esame denota un elevato grado di influenza dei sistemi di frattura e delle caratteristiche litotecniche come indicano i percorsi del F. Reno e T. Setta tra Sibano e Marzabotto, Lama di Reno e Casetta, tra Lama di Setta - Monzale e nei pressi di Sirano, che incidono litotipi arenacei più resistenti all'erosione rispetto alle adiacenti litozone marnose - marnoso argillose; a tali condizioni si sono sommati effetti di fattori tettonici (antecedenza) come indica il tracciato del F. Reno tra Pian di Venola - Capoluogo - Lama di Reno.

Il territorio di Marzabotto, per quanto riguarda le fasce morfostrutturali dell'Appennino appartiene alle strutture del medio appennino costituito dalle Unità Liguri e Successioni Epiliguri ed in subordine alla fascia delle strutture marginali (*Marchetti, Papani, et Alii; G.S.U.E.G.; 1978*).

La prima di dette fasce presenta un assetto strutturale complicato e scompaginato. Si osservano infatti sinclinali più o meno asimmetriche, talvolta coricate e/o rovesciate con vergenze a N-NE, che si raccordano ad anticlinali strizzate e profondamente erose.

Analoghe condizioni sono presenti anche nella seconda unità strutturale nella quale si riscontrano inoltre importanti linee di faglia subverticali che hanno sollevato le formazioni liguri, sulle quali si sono deposte in discordanza le unità marine del margine dell'avanfossa appenninica padana, Formazioni di Monterumici e Monte Adone, che in genere presentano assetti a sinclinali ed anticlinali più o meno asimmetriche, con assi a direzione appenninica, che costituiscono il Lineamento Frontale Pedeappenninico.

Le morfologie della zona in oggetto presentano aspetti diversi in funzione sia delle caratteristiche di resistenza all'erosione che degli assetti strutturali. Si osserva infatti una netta prevalenza di versanti contraddistinti da pendenze tra 20° ÷ 40° e non di rado tra 40° e 60°, costituiti da formazioni prevalentemente arenacee arenitiche e marnoso - siltoso sabbiose, correlate sia all'assetto strutturale che al minor grado di erodibilità delle stesse, rispetto alle litozone marnoso argillose - argillitico argillose. Queste ultime caratterizzano i settori centrale occidentale e centro orientale nei quali le pendenze sono generalmente compresse tra 10 e 20° e minori di 10° in corrispondenza del fondovalle del T. Venola nella zona occidentale.

Analoghe caratteristiche di bassa acclività si riscontrano nell'areale meridionale centrale a sud di M. Caprara, nella quale le minori pendenze:  $10/20^\circ$ , sono collegate, oltre che alla natura litologica delle rocce affioranti, al grado di fratturazione delle litozone arenacee correlato alla presenza della Linea della Val di Setta.

In relazione alle paleoforme del territorio, sono individuabili lembi di superfici terrazzate in tratti di versante a blanda inclinazione, minore di  $8^\circ \div 10^\circ$ , attualmente in posizioni morfologiche più rilevate rispetto alle aree ad esse latistanti. Tali aree costituiscono zone ad altopiano, topograficamente tra loro correlabili, delimitate da scarpate di incisione di 50–75/100 m che indicano un'accentuata fase di erosione/sollevamento recente: fine *Pleistocene sup.* – *Olocene*.

Nella zona in esame la paleosuperficie di maggior estensione si osserva ad ovest del Comune di Marzabotto nell'area tra Tolè e Montepastore, dove il ripiano morfologico è terrazzato di 100 m.

Nel territorio di Marzabotto dette superfici evidenziano modeste estensioni areali e quelle più significative, presenti nella zona centro settentrionale, si osservano alla piana a sud di Medelena, a La Costa, tra Lago di Montarsio – Montebello, tra Gabinello – Casigno di Venola – il Covo, nella parte centro meridionale occidentale tra Faggiolo e Colleguarda, in prossimità di Aravecchia, nel settore orientale in corrispondenza di Teggia, di Colulla di Sotto, San Martino, nella zona di M. Abele – M. Caprara – M. Sole.

Di dette morfologie quelle che attestano alle quote relative più elevate 500-650 m slm, in funzione delle loro conformazioni, sono probabilmente riconducibili a processi correlabili a sistemi morfoclimatici periglaciali (*Wurm*).

Altre forme ereditarie nel territorio sono rappresentate da depositi alluvionali antichi terrazzati (AES7) riscontrabili nelle fasce latistanti il F. Reno nel settore centrale ad a nord di Pioppe di Salvaro e nord est di Sirano nelle quali sono sopraelevate di 40/50 m rispetto all'alveo del F. Reno; sono inoltre presenti depositi alluvionali recenti (AES8a-8) nella zona ai lati del F. Reno e T. Setta, depositi alluvionali in evoluzione e parzialmente stabilizzati in corrispondenza dell'asta di detti assi idrici.

Le degradazioni più recenti, correlate ad ambiente temperato, sono articolate in processi di versante, quali, incisioni fluvio – torrentizie, dissesti superficiali, processi di frana; di questi ultimi quelli di maggior estensione e spessore si rilevano nella zona occidentale meridionale estesa ovest est che asseconda l'andamento del T. Venola; altre fasce di territorio con analoghi accumuli, con dimensioni relative minori, si riscontrano nel settore centro orientale settentrionale tra l'allineamento Ronzano di Sotto – Allocco di Sopra e l'allineamento Panico – Case Murate. Condizioni simili si evidenziano nel settore meridionale orientale compreso tra l'allineamento M. Castellino – M. Caprara – M. Sole e la Serra – Albergana – Aravecchia – Steccola – Cà di Cò – Albareda – Rodella – M. Castellino.

Le azioni erosive di maggior intensità delle acque incanalate si sviluppano in corrispondenza delle aste del F. Reno e del T. Setta che sono delimitati da depositi alluvionali terrazzati con altezze di incisione di  $5/10 \div 15$  m; un'intesa attività di incisione è esercitata anche dal T. Venola, che si estende in una fascia di territorio costituita da rocce prevalentemente argillose.

Le forme e processi che caratterizzano il territorio, derivando da cambiamenti di condizioni climatiche più o meno dissimili da quelle attuali, oggi possono essere attive o non attive. Ciò assume un'importanza fondamentale nelle previsioni d'uso del territorio poiché il tipo di dinamica delle forme in atto nei versanti determina la possibilità o meno di valutare l'edificabilità di aree stimando, in linea di massima, l'incidenza economica degli interventi di messa in sicurezza.

Nell'area comunale di Marzabotto, in prevalenza costituita da litozone arenacee ed arenitiche, i depositi per accumulo di frana attivi e quiescenti non sono molto diffusi come denota l'indice di franosità territoriale corrispondente all'11%.

Tali processi prevalentemente di tipo complesso e di colata, sono localizzati in corrispondenza delle unità litologiche sostanzialmente argillose – argilloso marnose e marnose – marnoso argillose, che formano le fasce estese ovest est, centro occidentale e centro orientale ed il settore meridionale centrale e sud del M. Caprara.

Gli accumuli in evoluzione di maggiore estensione si riscontano in sponda meridionale del T. Venola, nel settore orientale tra Case Murate – La Collina – Collinaccia – Cà Bianca – T. Setta, nella fascia centro orientale tra M. Santa Barbara – Tre Forche – Poggio Conovella – Colulla di Sopra – Valdiana – Ronzano di Sotto – Ignano – Avendola; nella zona meridionale i corpi di frana di maggior estensione si rilevano tra Rivabella – Podella – Il Poggio – Monte Caprara – M. Castellino – Cà di Cò – San Martino – Concola – Pian del Prete; di importanza non secondaria sono i corpi franosi attivi e quiescenti tra Albergana – Casa Ella – Famaticcia – Cadotto.

Sono inoltre presenti accumuli e processi attivi di minore estensione areale e spessore che si localizzano all'intorno delle zone sopra descritte e che si sviluppano essenzialmente nelle stesse tipologie di substrato, argille marnose – marnoso argillose.

#### **4.2. DEPOSITI CONTINENTALI**

I depositi continentali sono diversamente distribuiti sul territorio comunale in funzione delle conformazioni morfologiche e quote altimetriche dello stesso e sono rappresentati da depositi di versante eluvio colluviali e sl, depositi alluvionali, accumuli di frana.

Nella zona occidentale settentrionale i depositi di versante sono scarsamente diffusi e costituiscono coltri di discreta estensione, con spessore  $4/7 \div 10$  m, che generano superfici ad altopiano tra loro morfologicamente ed altimetricamente correlabili. Nel settore nord orientale detti depositi, siti a quote relative inferiori rispetto alle aree ad ovest, presentano una maggior estensione e diffusione relativa. Analoghe condizioni di maggior presenza si riscontrano nelle zone meridionali.

Nella fascia centrale del territorio estesa sud sudovest – nord nordest, che asseconda l'andamento del F. Reno, alla quale appartengono il capoluogo ed i principali insediamenti urbanizzati del comune, sono diffusamente presenti depositi alluvionali terrazzati di terzo e quarto ordine rispetto all'alveo, separati da orli di scarpata con altezze di 10 – 15 m, che nelle zone a sud di Marzabotto, negli ordini superiori (AES7), sono sopraelevati di 40 – 50 m, confermando il rapido approfondimento delle incisioni fluviali negli ultimi 12 – 15.000 anni.

Tali profondità di erosione unitamente a quelle precedentemente esposte riconducibili al periglaciale (Tolè–Montasico–Ara Giovannelli–Vaglie) presentano un elevato grado di corrispondenza che quelle del terrazzamento (100/120 m) dei depositi wurmiani riscontrati in altre zone dell'appennino, Val di Secchia (*G.P. Mazzetti*, 1978, 2006, 2018) Val D' Enza (*M. Cremaschi, M. Bernini, C. Tellini*, 1980), Zocca–Castel D'Aiano (*A. Colombetti*, 1975).

Analoghe condizioni si riscontrano al bordo orientale dell'area comunale, in sponda occidentale del T. Setta, dove nella zona di Sirano i depositi alluvionali di ordine superiore, AES8, con spessori relativi minori: 4/6 m, denotano entità di terrazzamento relative inferiori corrispondenti a 30 – 45 m.

I depositi alluvionali in narrativa sono organizzati in cicli sedimentari costituiti da ghiaie sabbiose – ghiaie embriciate alla base, che passano a sabbie limose e quindi a limi sabbiosi verso l'alto. Tali corpi sedimentari nel settore di fondovalle del F. Reno costituiscono terrazzi con spessori mediamente compresi tra 6/7 e 10/14 m.

Nel settore centro meridionale occidentale, Pian di Venola, sono presenti depositi di conoide alluvionale del T. Venola.

L'attuale alveo del F. Reno è caratterizzato da depositi alluvionali recenti che costituiscono, ai lati del canale fluviale, aree che sono soggette ad inondazione in occasione di piene ordinaria e/o straordinaria, tempi di ritorno di 20 anni.

## **5. MODELLAZIONE SISMICA**

### **5.1. CARATTERISTICHE STRUTTURALI E SISMOTETTONICHE**

Le caratteristiche principali dei tipi rocciosi affioranti nella fascia del medio appennino sono diversità di assetto, stile e comportamento tettonico.

Le unità stratigrafiche presenti nella zona a cui appartiene il territorio di Marzabotto, sono principalmente rappresentate dalle formazioni membri della Successione Epiligure (82,9%) ed in subordine da quelle della Successione Neogenico Quaternaria (9%) e del Dominio Ligure (8%) e Subliguri (0.1%).

Queste ultime si rinvengono esclusivamente all'estremità occidentale centro settentrionale del territorio ed analogamente le Liguri si riscontrano solamente nel settore meridionale occidentale al confine con Vergato; similmente la successione Neogenico Quaternaria è presente nelle zone settentrionali e nord orientali. Le rimanenti parti della superficie comunale, che costituiscono la percentuale rappresentata maggiore, sono costituite dalla Successione Epiligure nella quale sono prevalenti le formazioni arenitiche, marnoso siltoso sabbiose; le subordinate litozone marnoso argillose si rinvengono principalmente nel settore orientale centrale ed in modesta estensione areale al bordo occidentale centrale.

Le unità quaternarie continentali dei depositi di versante, alluvionali ed accumuli di frana, che rappresentano le litozone generalmente più influenzate dal moto sismico, rivestono circa il (25%) della superficie comunale.

Le sopracitate unità tettoniche, differenziate durante la fase ligure, nella quale si è verificato lo scollamento dalle successioni stratigrafiche ad esse sottostanti (Formazioni Pre-Flysch), costituiscono la struttura a thrust in cui si distingue il susseguirsi di anticlinali sovrascorse ed embriciate vergenti a nord e sinclinali generalmente meno deformate con assi ad andamento appenninico. Tali pieghe sono ulteriormente dislocate da faglie dirette, in genere anti appenniniche, che a zone hanno coinvolto anche i depositi delle unità plio - pleistoceniche ed oloceniche.

Detti fattori nella fascia di transizione tra le strutture del margine appenninico, caratterizzato da fasi in sollevamento, e la zona della pianura (dove sono coperte dai depositi quaternari) prevalentemente soggetta a processi subsidenti, hanno generato una fascia di faglie e/o flessure a direzione appenninica, denominata Lineamento Frontale Appenninico nel quale le unità sovrascorse ed embriciate hanno indotto duplicazione delle strutture e coinvolto i depositi pliocenico quaternari.

### **5.2. INQUADRAMENTO SISMOTETTONICO**

L'assetto strutturale delle unità litologiche che formano il territorio di Marzabotto è relativamente meno complesso e scompaginato rispetto ai comuni a sud dello stesso e le prevalenti unità qui affioranti costituiscono l'assetto sinforme di Marzabotto - Vergato che presenta asse orientato ovest/sudovest - est/nordest con immersione ad est.

I termini che formano detta struttura, appartengono alla Successione Epiligure con percentuali prevalenti rappresentate del gruppo Bismantova.

Nella fascia dell'appennino bolognese in oggetto le principali strutture tettoniche sono orientate in direzione appenninica (WNW - ESE) e sono generalmente delimitate a sud ed a nord da sovrascorrimenti e faglie con analoghe direttrici come evidenziano anche le linee tettoniche sepolte presenti a settentrione di Zola Predosa – Casalecchio – S. Lazzaro di Savena. Dette linee sono ulteriormente dislocate da faglie a direttrice antiappenninica.

I complessi tettonici liguri presenti nella zona, sono suddivisi in tre unità stratigrafiche strutturali: Unità Tettonica Cassio, Unità Tettonica Monghidoro, Unità Tettonica Leo.

Quest'ultima, non presente nel territorio di Marzabotto, affiora circa 4 ÷ 5 Km a sud ovest ed ovest in comune di Vergato, in corrispondenza della fascia di faglie transpressive che costituisce la Linea di Vergato (*F. Panini, 2002*), che in sponda orientale del F. Reno, giustappone la Formazione di Pantano alle Argille a Palombini; detta unità non presente come sopra indicato nell'area di Marzabotto, affiora 4-5 km a sud ovest.

L'Unità Tettonica Cassio, Sub unità del Panaro, non affiorante nel territorio di Marzabotto, è rappresentata dalle formazioni pre-flysch e si rinviene 7 ÷ 8 km a nord ovest del comune; è costituita dalle Unità Monghidoro e Samoggia che mediante il sistema di faglie trascorrenti inverse della linea S. Prospero – Rio Gavignano, si giustappone in direzione sud est all'Unità Tettonica di Coscongno, mentre in verso nord ovest sovrascorrono parzialmente l'Unità Tettonica Samoggia.

L' Unità Monghidoro, rinvenibile immediatamente a meridione del confine sud est di Marzabotto, è rappresentata dalle formazioni della Successione della Val Rossena, che mediante la Linea di Riveggio sono a contatto con le formazioni epiliguri; tale linea ha determinato un pronunciato innalzamento al quale è conseguita la completa erosione delle epiliguri sino all'allineamento Riveggio – Monzuno – Loiano.

I depositi epiliguri nel territorio di Marzabotto praticamente sigillano completamente il substrato ligure e costituiscono una placca, prevalentemente arenacea ad assetto sinforme, scomposta da sistemi di faglie inverse e sovrascorrimenti, faglie subverticali ed a prevalente componente trasversale.

Le faglie inverse e sovrascorrimenti hanno direttrice sia appenninica che antiappenninica; le prime sono individuabili a nord i Riola, tra Vergato e Cereglia, tra Marzabotto e Lama di Reno; le antiappenniniche si rilevano ad est di Vergato, tra Monte Venere/Monzuno e Riveggio.

Le faglie sub verticali assumono prevalentemente direttrice appenninica tra Vergato e Marzabotto, ed in percentuale relativa inferiore con orientamento antiappenninico si osservano tra l'allineamento Vergato – Monte Venere e l'allineamento Riola – Rocca di Rottofreno/Castel d'Aiano – Monte Ombraro; analoghe direzioni sono riscontrabili nel settore orientale del territorio circa in corrispondenza del T. Setta e tra quest'ultimo e Marzabotto.

I sistemi trascorrenti hanno orientazioni prevalentemente antiappenninica e quelli principali assecondano l'andamento del F. Reno tra Riola – Vergato – Pioppe di Salvarano; più a settentrione, tra Marzabotto e Lama di Reno, le faglie hanno direzione sud ovest nord est ed analogo orientamento assumono le trascorrenti tra il Pian di Setta – Riveggio – Quercia e



successivamente a quest'ultima proseguono in verso nord est in direzione di Allocco dove detta zona di faglia è intersecata dalla trascorrente delle Linea della Val di Setta che si estende in direzione nord nordovest verso Sasso Marconi.

Nella zona al bordo settentrionale orientale di Marzabotto ed immediatamente a nord ovest dello stesso, mediante faglie sub verticali distensive, le Successioni Epiliguri sono sostituite dalla Successione Neogenico Quaternaria del Margine Padano, le cui formazioni costituiscono una sinclinale asimmetrica con asse antiappenninico.

L'assetto strutturale della zona in esame deriva da una serie di pulsazioni (o crisi) orogenetiche che dal *Cretacico sup - Eocene* ad oggi, hanno contribuito alla formazione della catena appenninica. Tale attività è stata presente anche durante le fasi deposizionali epiliguri come indicano le irregolarità, discontinuità e variazioni di spessore dei membri e formazioni sottiacenti il Gruppo di Bismantova, la presenza di depositi di debris flow all'interno della Formazione di Antognola e la discordanza tra quest'ultima con il sovrastante Gruppo di Bismantova, le variazioni laterali di tale gruppo.

I sollevamenti crostali avvenuti in epoche plio-quaternarie nel territorio comunale sono correlati all'attività del Lineamento Frontale Appenninico costituito da una complessa struttura a superfici di thrust e faglie inverse embriciate vergenti a nord, che in pratica corrispondono al limite tra l'appennino e la pianura.

Gli innalzamenti, ed in generale gli spostamenti crostali avvenuti recentemente (*Pliocene e Quaternario*) nell'area in oggetto, sono individuabili mediante elementi neotettonici lineari (faglie) a sviluppo prevalentemente rettilineo.

L'attribuzione di faglie al periodo plio-quaternario è data da una serie di indicazioni quali "freschezza" degli indizi geomorfologici: scarpate, intense fratturazioni o uncinatura di strati, tratti vallivi rettilinei, gomiti e catture fluviali, franosità accentuate ed allineate, contropendenze, dislocazione di depositi quaternari ecc.

Le principali faglie alle quali sono stati attribuiti caratteri neotettonici (*P.F.G.S.N. 1983*) e faglie e sovrascorrimenti sepolti classificati attivi o riattivatisi (*M. Boccaletti, L. Martelli; 2004 - L. Martelli, Et Alii; 2016*) riconosciute ed individuate nell'area comunale sono:

Linee con caratteri neotettonici

1. Faglia a componente prevalentemente trascorrente, orientata sud nord, circa estesa in direzione a Molinello - Calvaro, assecondante l'andamento del F. Reno, immediatamente a sud ovest del confine comunale di Marzabotto, evidenziata da due gomiti ed andamento rettilineo dell'asta fluviale tra le sopra indicate località.
2. Faglia orientata sud ovest - nord est tra Gardelletta e Allocco, assecondante il tratto del T. Setta al bordo orientale del confine comunale di Marzabotto, proseguendo a sud ovest in direzione di Rioveggio - Pian di Setta evidenziata dall'andamento rettilineo dell'asta torrentizia e due gomiti della stessa tra le località sopra citate.
3. Faglia con direzione sud nord circa secondo l'allineamento Veggia - Rio Torricella - Sibano assecondante l'andamento rettilineo di detto Rio e del F. Reno sino a Sibano - Pian di Venola; tale linea indica correlabilità con la faglia presente più a

settentrione circa secondo l'allineamento Sasso Marconi–Pontecchio Marconi–Casalecchio.

#### Sovrascorrimenti attivi sepolti

4. Fronte di Accavallamento del Basamento sovrascorrimento orientato ovest sudovest – est nordest, compreso tra la Linea del Reno e Linea di Sperticano, rinvenibile tra Marzabotto e Lama di Reno, nella zona nord orientale del territorio comunale, e che si prolunga in direttrice est.  
A meridione di Marzabotto, zone a sud di Riola – M. Venere, si rinviene la fascia principale di detto fronte con analogo andamento WSW-ENE.
5. Fronte di Accavallamento della Successione Carbonatica Meso-Cenozoica, sovrascorrimento di importanza regionale orientato ovest sudovest – est nordest nella zona orientale settentrionale dell'area comunale, rinvenibile circa in direzione Lama di Setta – M. Santa Barbara – M. Adone e che si estende in direzione est nord est.
6. Fronte di sovrascorrimento a direttrice antiappenninica, orientato sudovest – nordest circa secondo l'allineamento Montese – S. Prospero – Trignano, rinvenibile ad ovest dei confini di Vergato – Marzabotto.

#### Faglie mio-plioceniche successivamente riattivate

7. Faglie dirette ad andamento ovest sud ovest – est nord est, tra Marzabotto e Lama di Reno correlabili alla fascia di faglie tra la Linea del Reno e Linea di Luminasio.
8. Faglia a componente prevalentemente trascorrente orientata ovest sud ovest – est nord est, tra Pian di Venola – Marzabotto – Ghisola.
9. Faglia orientata ovest sudovest – est nordest, a nord dell'allineamento M. Santa Barbara – Lama di Setta.
10. Faglia prevalentemente trascorrente orientata ovest nordovest – est sudest, circa secondo allineamento Stanzano – Le Lastre – Tre Marie.
11. Faglia diretta orientata ovest nordovest – est sudest a nord del confine comunale, con andamento sub parallelo all'allineamento Fontana – I Pigni (Sasso Marconi).

### **5.3. ATTIVITÀ TETTONICA**

Le disamine relative alle strutture profonde redatte nell'ambito dell'elaborazione della *Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna (M. Boccaletti, L. Martelli; 2004)* indicano attività della linea del Fronte di Accavallamento della Successione Carbonatica Meso Cenozoica, presente nel sottosuolo del settore nord del territorio comunale), e dello sovrascorrimento presunto antiappenninico Montese – Trignano

Sono inoltre individuate faglie del *Pliocene – Miocene inferiore* riattivate, quali le linee orientate ovest sudovest – est nordest nella zona settentrionale orientale del comune nella zona compresa tra La Linea di Luminasio e Linea di Sperticano, circa tra Lama di Reno – Sirano, tra Pian di Venola – Lama di Setta.

Altre faglie riattivatesi, orientate sud ovest – nord est, sono individuate in prossimità del confine sud orientale tra Quercia e versante sud orientale di M. Sole, ad oriente di detta faglia è identificata una linea con caratteri neotettonici, con andamento sub parallelo a quella precedente, assecondante il tratto di T. Setta tra Gardelletta ed Allocco.

Altre faglie riattivate orientate ovest nordovest – est sudest, sono individuate a nord del confine settentrionale comunale nel settore di transizione tra La Successione Epiligure e la Successione Neogenico Quaternaria del Margine Padano.

La Carta Sismotettonica R.E.R. evidenzia epicentri sismici con magnitudo:  $5 < M < 5,5$  circa 6/7 km a ad ovest sudovest del capoluogo tra Molinello e Monte Radicchio; 9/10 km a nord est di Marzabotto un epicentro con  $5 < M < 5,5$  tra Pianoro e Rastignano; circa 6 km a sud di Riola epicentri con  $4 < M < 5$ , in prossimità di Tolè; 10/11 km ad ovest del capoluogo tra Vimignana e Archetta; 7 km a sud – sudovest di Vergato capoluogo.

Il catalogo CFT oltre all'epicentro tra Molinello e Monte Radicchio riporta un epicentro con  $M_e = 5,6$  nei pressi di Pian di Venola, un epicentro con  $M_e = 4,9$  a circa 2,5/3 km a nord di Sasso Marconi capoluogo.

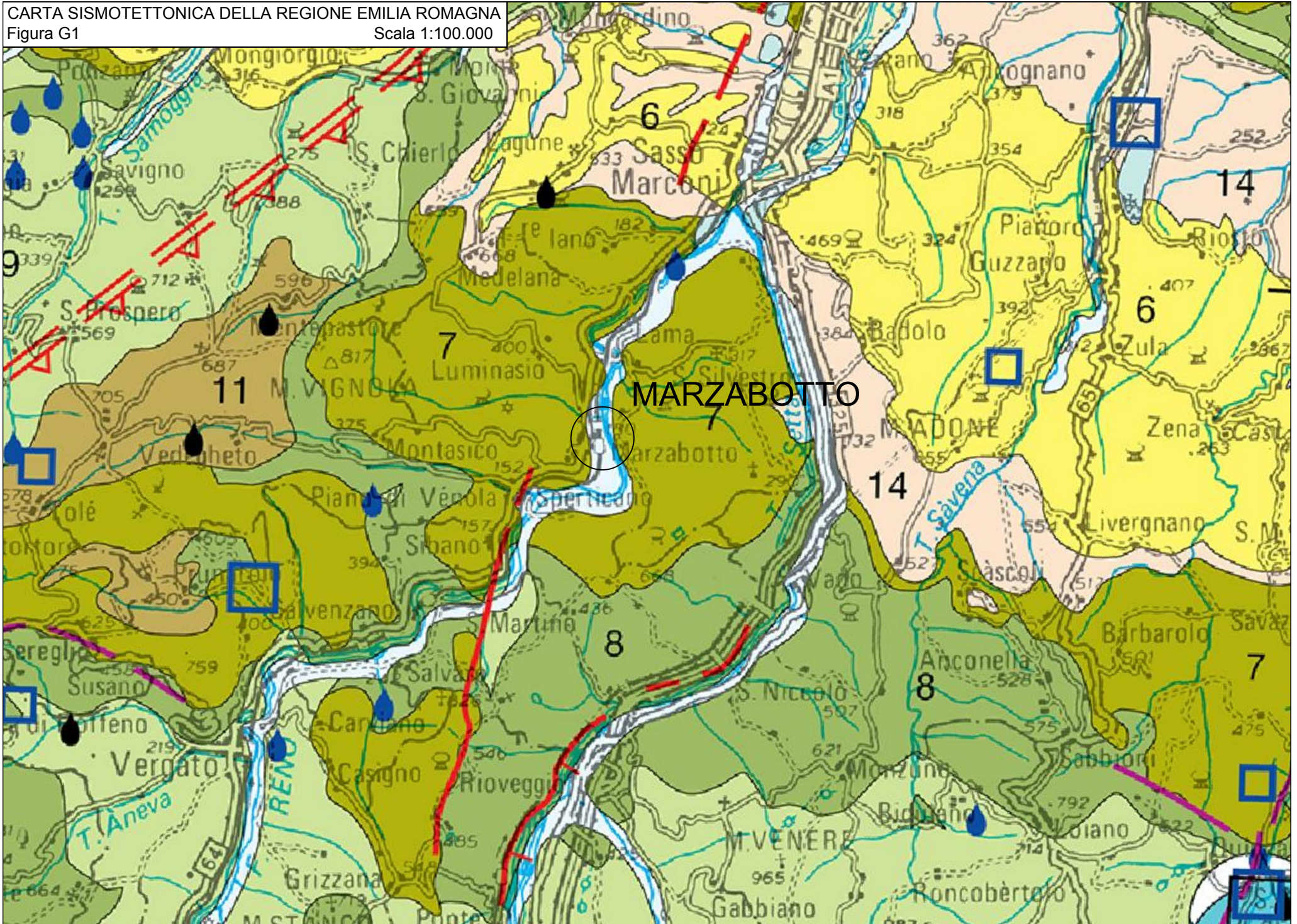
L'attività sismica nell'area in oggetto è prevalentemente correlata alla fascia deformativa del Fronte del Basamento e del Fronte di Accavallamento della Successione Carbonatica ed alle deformazioni del Lineamento del Fronte Appenninico, che si estendono in direttrice ovest nordovest – est sudest.

Un'influenza non trascurabile sulla sismicità nel territorio dell'appennino bolognese – modenese, è correlata all'attività sismogenetica delle zone del Mugello e della Garfagnana nelle quali si sono verificati epicentri sismici con  $M_e = 6,3 \div 6,5$ .

Nel territorio in analisi la sismicità è principalmente connessa all'attività dei processi deformativi che interessano le strutture superficiali nei primi 15 km del sottosuolo, prevalentemente collegate a meccanismi focali a componenti trascorrenti distensive e trascorrenti ed in subordine trascorrenti compressive.

I fuochi generati a media profondità (15 ÷ 25 km) e profondi di (25 ÷ >35 km) sono rappresentati in percentuale relativa sensibilmente inferiore.

CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA  
Figura G1  
Scala 1:100.000



## **6. INTERPRETAZIONE ED INCERTEZZE /METODOLOGIA DI ELABORAZIONE E RISULTATI**

Per determinare le velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio Vs, delle unità litotecniche che costituiscono i primi 40/50 ÷ 60/80 m del sottosuolo, sono state effettuate prospezioni geofisiche a rifrazione con metodo integrato attivo/passivo Multichannel Analysis Surface Waves – Refraction Microtremor Linear Array (MASW / ReMi), mediante stendimenti ad antenna monodimensionale con lunghezza di 46 – 70 m, integrate da verticali puntuali a stazione singola con acquisizione di microtremori con metodo Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr).

Queste ultime sono state sempre eseguite congiuntamente alle prospezioni MASW–Re.Mi. Sono state inoltre effettuate verticali HVSr anche singolarmente in aree dove informazioni geognostiche o acquisizioni delle onde sismiche di taglio con altri metodi che già fornivano informazioni relative alle Vs del substrato roccioso e per le indagini geognostiche affidabili, informazioni sugli spessori della prima unità litotecnica.

Dette indagini, che saranno in maggior dettaglio di seguito elencate, sono state distribuite sul territorio in funzione sia delle finalità di caratterizzazione sismica del capoluogo, degli ambiti urbanizzati e zone suscettibili di urbanizzazione, che delle principali infrastrutture; oltre a queste sono state effettuate ulteriori verticali di acquisizione delle Vs in altri siti al fine di individuare i valori delle velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio dei vari tipi di rocce presenti nell' area di Marzabotto; in rapporto a tale tipo di analisi sono inoltre state esaminate ed utilizzate analoghe prospezioni eseguite in aree di territori comunali adiacenti, nelle quali sono presenti tipi rocciosi con caratteristiche simili/equivalenti a quelle riscontrabili nella zona di Marzabotto.

In funzione delle irregolari geometrie delle aree di impronta degli ambiti edificati e loro superfici, dei differenti tipi rocciosi di substrato, delle estensioni dei depositi di versante e di quelli di fondovalle, dei corpi di frana attivi o quiescenti, le indagini effettuate per le analisi di MS 2 sono state distribuite sugli ambiti interessati dagli sviluppi con interassi tra le verticali di prospezione geofisica mediamente corrispondenti a 0,2/0,3 km e localmente dove gli affioramenti depositi evidenziavano continuità interassi di 0,3/0,4 km.

Nelle aree con analisi di approfondimento di MS 3 mediante le prospezioni geofisiche di nuova esecuzione i punti di indagine hanno coperto le aree con interassi di 100/150 m con un massimo di 180 m nel settore ad oriente del capoluogo in corrispondenza dell'alveo del F. Reno.

In rapporto all'estensione degli sviluppi che comprendono i più significativi insediamenti urbanizzati, dette zone sono state esaminate con un punto per unità di area compresa tra 0,06 e 0,1 kmq

### **6.1. MICROTREMORI CON LA TECNICA HVSR**

Le indagini a stazione singola di acquisizione di microtremori ambientali effettuate in 67 punti, distribuiti negli sviluppi di analisi dell'area comunale con maglia statisticamente rappresentativa, sono state eseguite utilizzando un sismometro GeoBox SARA ad elevata

dinamica (24 bits) attrezzato con velocimetro tridirezionale da 4,5 Hz di frequenza propria ed un'analoga strumentazione TROMINO.

Le acquisizioni sono state effettuate campionando il segnale a 200 Hz per una durata di circa 30/60 minuti.

Tali dati sono stati elaborati con la tecnica HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) utilizzando il programma Grilla.

L'elaborazione dei dati acquisiti ha evidenziato i risultati riportati nelle allegate schede "Indagine HVSR" nelle quali la linea rossa continua in grassetto evidenzia la media delle finestre di calcolo, mentre le linee sottili rappresentano l'intervallo di confidenza al 90% rispetto alla media calcolata.

## **6.2. PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE ATTIVA/PASSIVA MASW /RE.MI.**

Le prospezioni nelle analisi di MS2 sono state effettuate con metodo integrato MASW/Re.Mi. con un sismografo digitale a 24 canali ad elevata dinamica *GEOMETRICS GEODE*, attrezzato con 24 geofoni verticali con frequenza propria di 4,5 Hz, disposti ad interasse di 2-3 m per una lunghezza totale dell'antenna di registrazione dati in ogni stendimento di 46-70 m. Tali indagini sono state implementate da 2 prospezioni MASW in precedenza effettuate da AA.VV.

Nella procedura del "metodo attivo" le onde superficiali sono generate mediante una sorgente impulsiva disposta a piano campagna e sono registrate da uno stendimento lineare costituito ricevitori posti a distanza costante.

Il procedimento del "metodo passivo" presenta caratteristiche geometriche dello stendimento uguali a quelle del sistema attivo ma i ricevitori non registrano le onde superficiali prodotte da una sorgente impulsiva, bensì il rumore di fondo (microtremore) prodotto da sorgenti naturali (vento) e antropiche (traffico, attività industriali).

Le due tecniche esaminano bande spettrali differenti. Il metodo attivo consente di acquisire in modo dettagliato una curva di dispersione nel range di frequenza compreso tra 10 e 40 Hz e fornisce significative informazioni relative alla parte più superficiale del sottosuolo (fino a circa 10-20 m di profondità); il metodo passivo permette di determinare e definire una curva di dispersione nelle bande di frequenza tra 2 e 20 Hz e fornisce informazioni di maggior dettaglio sugli strati più profondi.

La combinazione delle due tecniche che consente di ottenere uno spettro completo nella banda di frequenze comprese tra 2 e 40 Hz ha permesso una dettagliata ricostruzione dell'andamento della velocità delle onde di taglio fino a circa -50/-60 ÷ -75 m di profondità, in funzione della lunghezza dello stendimento e della densità dei terreni.

Nell'esecuzione della prova MASW (attiva) è stato utilizzato come sistema di energizzazione una mazza di 10 Kg battente su piattello metallico. Per aumentare il rapporto segnale/rumore si è proceduto alla somma di più energizzazioni (processo di stacking). La sorgente è stata posta ad una distanza di 6 e 10 m dal primo geofono ("Optimum Field Parameters of an MASW Survey", *Park et al., 2005; Dal Moro, 2008*).

Per l'acquisizione dei microtremori ambientali (Re.Mi.) sono state effettuate, in ogni punto di stazione, venti registrazioni della durata di 30 sec con una frequenza di campionamento di 500 Hz.

L'elaborazione dei dati acquisiti consiste nell'operare, tramite un opportuno software, una trasformata bidimensionale "*slowness-frequency*" ( $p-f$ ) che analizza l'energia di propagazione del rumore in entrambe le direzioni della linea sismica e nel rappresentare lo spettro di potenza su un grafico  $p-f$ . Gli spettri delle singole acquisizioni sono quindi mediati escludendo eventualmente quelli che presentano una bassa coerenza.

In tale spettro mediato si evidenziano gli andamenti che possiedono sia una spiccata coerenza di fase che una potenza significativa, permettendo un riconoscimento visivo delle onde di superficie (che hanno carattere dispersivo), da quelle riconducibili ad altri modi e tipi (onde di superficie di ordine superiore, onde di pressione, suono e rumore incoerente).

In funzione di quanto esposto è possibile effettuare un "*picking*", attribuendo ad un certo numero di punti una o più *slowness* ( $p$  o  $1/velocità\ di\ fase$ ) ed ottenere una "*curva di dispersione*".

Quest'ultima è visualizzata su un diagramma in cui appare anche la curva di dispersione calcolata in base ad un modello di  $V_s$  che è modificabile in sede di elaborazione. Variando il numero di strati, la loro velocità e la densità, la curva di dispersione calcolata è adattata sino ad aderire il più possibile a quella sperimentale ottenuta con il picking.

I risultati ottenuti ed i relativi diagrammi di elaborazione sono visualizzati nelle allegate schede "*indagine MASW/Re.Mi.*", riportanti lo spettro di potenza mediato, la curva di dispersione, sia sperimentale che calcolata, ed il relativo modello interpretativo.

Le prospezioni MASW precedentemente eseguite da AA.VV. in funzione delle metodologie di acquisizione adottate hanno evidenziato dati utilizzabili relativamente ai primi 10/15 m del sottosuolo. Pertanto per la valutazione delle caratteristiche di rigidità del substrato roccioso è stato fatto riferimento solamente agli stendimenti MASW/Re.Mi.

## **7. PRIMO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO**

### **7.1. CARTA DELLE INDAGINI**

In funzione dell'analisi delle caratteristiche litotecniche territoriali e della risposta alla sollecitazione sismica delle unità litologiche le indagini geognostiche e geofisiche sia precedentemente eseguite che di nuova realizzazione sono state georeferenziate in appositi elaborati.

Di questi ultimi la Tav. 1.1 in scala 1:10.000 è comprensiva dell'intero territorio comunale, la Tav. 2.1 riporta le indagini delle zone di interesse degli sviluppi di microzonazione in scala 1:5.000.

Le indagini visualizzate nell'elaborato di analisi territoriale sono costituite da:

- Dati preesistenti
  - 7 sondaggi meccanici (SM);
  - 51 prove penetrometriche statiche (CPT);
  - 19 prove penetrometriche dinamiche super pesanti (DPSH);
  - 29 prove penetrometriche dinamiche medie (DPM);
  - 2 profili sismici a rifrazione attiva, ad antenna monodimensionale, con metodo MASW (MW);
  - 23 verticali di misura di sismica passiva con tecnica a stazione singola HVSR (HV);
  
- Dati nuova esecuzione MS 2
  - 34 prospezioni di sismica a rifrazione passiva/attiva con antenna monodimensionale con metodo integrato Re.Mi./MASW;
  - 57 prospezioni di sismica passiva con tecnica a stazione singola H.V.S.R. tutte validate, 34 delle quali in accoppiamento con le prospezioni Re.Mi./MASW, 23 in singolo punto di rilevazione.
  
- Dati nuova esecuzione MS 3
  - 9 prospezioni di sismica a rifrazione passiva/attiva con antenna monodimensionale con metodo integrato Re.Mi./MASW;
  - 9 prospezioni di sismica passiva con tecnica a stazione singola H.V.S.R.
  - 2 stendimenti sismici a rifrazione con metodo in tomografia sismica 2D con rilevazione di onde P (BSP)
  - 2 profili in tomografia elettrica 2D.

Le prospezioni di nuova esecuzione sono state articolate in fasi distinte, due delle quali per l'analisi di MS 2 ed una per quelle di MS3. Nella prima di queste, oltre ad investigare gli ambiti sede dell'urbanizzato e di prevedibile nuova urbanizzazione, sono stati esaminati anche tipi litologici non direttamente interessati dalle sopra descritte destinazioni, ma in siti con



presenza di roccia affiorante, per caratterizzare unità di substrato non presenti direttamente o coperte da depositi detritici, negli ambiti urbanizzati e di nuovo insediamento.

Nella seconda fase, sviluppata con prospezioni sismiche passive a stazione singola (H.V.S.R.), e prospezioni a rifrazione passiva/attiva con antenna monodimensionale (Re.Mi./MASW), sono stati esaminati e verificati i siti, per un'analisi di maggior dettaglio, in zone di incerta classificazione o di dubbia delimitazione delle unità litotecniche, fasce con presenza di substrato intensamente fratturato.

Nella terza fase per le analisi di MS 3 oltre ad integrare le preesistenti prospezioni Re.Mi./MASW ed H.V.S.R. con analoghe indagini sono stati effettuati profili in tomografia elettrica 2D e basi sismiche a rifrazione in tomografia 2D.

Le indagini, distinte in esistenti e nuove, secondo quanto previsto dagli standard di rappresentazione, sono state georeferenziate in appositi elaborati cartografici in scala 1:10.000, scala 1:5000 (Tav. 1.1, Tav. 2.1) il primo comprensivo dell'intero territorio comunale, il secondo delle zone di interesse degli sviluppi di microzonazione.

Le indagini di MS 3 sono state visualizzate in cartografie in scala 1:5000.

## **7.2. CARTA GEOLOGICO TECNICA**

Tale elaborato, realizzato alla scala 1:10.000, derivato dalla cartografia geologica, rilevata alla scala 1:10.000, che costituisce la base per i fogli CARG 1:50.000 e dalla cartografia delle aree suscettibili di effetti locali: Tav 2C IV - V del P.T.C.P. della Provincia di Bologna, evidenziando le condizioni del dissesto del territorio, è stato redatto integrando le sopra citate cartografie con i dati dei processi di dissesto acquisiti dal Servizio geologico e sismico R.E.R. aggiornati fine 2019, con rilievi diretti e con i dati ottenuti dalle indagini e prospezioni direttamente effettuate nella zona.

A scala regionale l'areale a cui appartiene il territorio di Marzabotto è suddivisibile in tre domini principali: Dominio Ligure, Successione Epiligure, Successione Neogenica Quaternaria del Margine Appenninico.

L'area comunale è costituita principalmente dalle Successioni Epiliguri con netta prevalenza delle formazioni della fase post burdigaliana; le formazioni della fase *Pre Burdigaliano* costituiscono il settore sud orientale in destra F. Reno e la fascia centro meridionale estesa ovest est che asseconda l'andamento del T. Venola, nelle quali sono prevalentemente presenti le frane ed i processi dissesto del territorio di Marzabotto, correlate alla natura litologica argilloso/argillitica – argilloso marnosa – marnosa/marnoso argillosa di dette formazioni.

Analoghe caratteristiche litotecniche contraddistinguono le fascia orientale centrale estesa ovest est circa tra l'allineamento M. Abele – M. Santa Barbara e l'allineamento Poggio Canovella – Pian di Mazzola – Monzale – Cà Murate, nella quale la Successione Epiligure *Post Burdigaliano* è rappresentata da litozone marnoso argillose – marnose (TER) a basso grado di resistenza all'erosione come testimonia la diffusa presenza di processi di frana per colamento lento e di tipo complesso, sia attive che quiescenti.

Gli accumuli gravitativi di maggior estensione e spessore si rinvencono nel settore orientale in sponda occidentale del Rio Sant'Andrea, tra quest'ultimo e M. Castellina ed in

sponda meridionale del T. Venola, tra il medesimo e Casalecchio di Sopra/Vaglie di Sopra, circa 1.5 km più ad est di dette località si rilevano tra La Teggia – Belvedere – Terre Rosse – Valmara e tra quest’ultima – M. Milano – “Mandriolo”, sono diffusamente presenti estesi e spessi accumuli di frana complessa attivi.

Simili caratteristiche contraddistinguono la fascia orientale centro settentrionale tra Case Murate – La Collina – Collinaccia – Ca Bianca, la zona tra Poggio Canovella – Cà di Marino – Ignano – Aravecchia – Ronzano di Sotto – Rio di Quilio; sono inoltre diffusamente presenti frane di colata di considerevole dimensione nel settore di territorio compreso tra quelli precedentemente descritti e circa tra Belvedere – Cà di Gigli – Collinaccia – Tre Forche – Pian di Mazzola – Cà di Cò – Poggio Canovella – Teggia – La Volta.

Analoghe caratteristiche con diffusa presenza di accumuli di frana per colata e di tipo complesso, sia attivi che quiescenti, contraddistinguono la fascia meridionale estesa sud nord assecondante l’andamento dei rii Casiglia e Cavallaccia circa tra M. Caprara e Rivabella, e la fascia ovest est che si estende concordemente all’andamento del Rio Albareda – Castellino da M. Caprara ad Albaredo.

I depositi di versante sl, eluvio – colluviali, sono presenti in modo diffuso nel settore meridionale del territorio comunale sia in destra che sinistra del F. Reno; nella parte settentrionale tali depositi sono rappresentati in percentuale nettamente inferiore ad eccezione della zona medio orientale tra Lama di Reno – M. Giovine – Stanzano di Sotto – C. Brolo e la fascia tra Rio Casola e Sirano, dove le superfici rivestite dai depositi di versante sono di ampia estensione. Le aree nel settore nord occidentale dove sono presenti dette coperte generalmente presentano modesta estensione ed hanno morfologie blandamente acclivi che costituiscono ripiani, a zone, tra loro correlabili ed in rapporto alle loro quote, altezze di incisione e conformazioni sono con tutta probabilità correlabili ad ambiente di fase periglaciale.

La minor conservazione di tali depositi nella parte nord occidentale del territorio comunale indica un probabile maggior sollevamento relativo di detta zona, rispetto ai settori meridionali, nella fase post wurmiana.

Le coperture detritiche presenti nel territorio di Marzabotto, hanno spessori variabili, mediamente compresi tra 2/3 e 5/7 m per quanto riguarda i depositi eluvio colluviali, tra 5/10 e sino a 20 m relativamente agli accumuli per processi di frana.

In funzione dello spessore dei depositi nelle elaborazioni si è considerata la condizione di sub strato affiorante nei casi in gli orizzonti di copertura presentano spessori inferiori a 3 m.

La fascia centrale del territorio comunale estesa sud nord, con andamento assecondante quello del F. Reno, è costituita da depositi alluvionali terrazzati di diversi ordini ed in percentuale inferiore da depositi di conoide alluvionale nella zona di Pian di Venola e con modeste dimensioni nell’ area di Sibano.

Tali corpi sedimentari sono formati in prevalenza da ghiaie alla base e ghiaie sabbiose nelle parti più alte, che si arricchiscono in componenti limoso sabbioso ghiaiose – limi nei terrazzi di ordine superiore: AES7 – AES8.

Detti depositi presentano spessori mediamente compresi tra 6/7 e 10/12 ed in funzione delle loro componenti granulometriche, prevalentemente ghiaiose e con matrice limosa nei

terrazzi meno recenti, denotano in pratica l'assenza di condizioni di pericolosità di liquefazione.

L'andamento "sub meandriforme" del F. Reno circa tra Sibano e Marzabotto unitamente al pronunciato allargamento della sua sezione trasversale occupata dai depositi alluvionali terrazzati, indicano una maggior difficoltà al deflusso alla pianura in periodi passati correlabile, oltre alla minor erodibilità delle litozone a settentrione di Marzabotto, ad un probabile più accentuato sollevamento relativo delle fasce di territorio a nord del confine comunale, in accordo con la modesta presenza dei depositi di versante sl. in tale zona.

Analoghi depositi, di estensione relativa inferiore sono presenti nella fascia nord orientale del territorio, in corrispondenza del T. Setta, nella quale gli spessori sono generalmente compresi tra 2 e 5/6 m.

I rapporti stratigrafici e l'assetto tettonico delle unità e formazioni che costituiscono il sottosuolo del territorio comunale di Marzabotto, nei settori sede dell'urbanizzato e di previsto sviluppo, principali ambiti insediati, sono visualizzati nelle allegate sezioni geologiche.

### **7.3. CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI DEL TERRENO**

Per determinare le caratteristiche correlate alle sollecitazioni dinamiche e trarre indicazioni sulle proprietà meccaniche dei tipi litologici che formano il sottosuolo delle zone sede delle aree urbanizzate e di prevedibile sviluppo/completamento, principali infrastrutture, sono state effettuate:

- Dati MS2
  - 34 prospezioni geofisiche a rifrazione passiva/attiva, con antenna monodimensionale, (ReMi/MASW) con lunghezza di stendimento di 46 - 70 m,
  - 57 Verticali a stazione singola con acquisizione di microtremori (HVSR)
- Dati MS3
  - 9 prospezioni geofisiche a rifrazione passiva/attiva, con antenna monodimensionale, (ReMi/MASW) con lunghezza di stendimento di 46 - 70 m,
  - 9 Verticali a stazione singola con acquisizione di microtremori (HVSR)

Dette indagini geofisiche sono state integrate da quelle precedentemente effettuate da AA/VV, 2 profili sismici a rifrazione attiva con metodo MASW, 3 verticali a stazione singola con acquisizione di microtremori HVSR, indagini geognostiche, prevalentemente localizzati in corrispondenza delle zone urbanizzate. Tali prospezioni in funzione del tipo di variabilità dei litotipi formano il sottosuolo dei siti esaminati, hanno consentito di individuare le caratteristiche dinamiche e litomeccaniche generali degli orizzonti che costituiscono i depositi di versante ed alluvionali e la profondità e tipo di substrato che soggiace agli stessi, le analoghe caratteristiche del substrato roccioso.

Nelle aree oggetto di approfondimento di livello 3 per le valutazioni delle caratteristiche meccaniche dei terreni sono state utilizzate indagini geognostiche, prove penetrometriche statiche CPT Rm, dinamiche DPSH e DPM, precedentemente eseguite da AA.VV.

Nel contesto delle indagini effettuate, relativamente alle analisi di approfondimento di primo livello, sono risultate significativamente efficienti le verticali con acquisizione di microtremori con stazione singola: HVSR direttamente eseguite. I dati ottenuti dalle elaborazioni di queste ultime consentono infatti di definire le modalità di vibrazione del terreno ed individuare sia la frequenza di risonanza ( $F_0$ ) che l'ampiezza (A) dei rapporti spettrali in corrispondenza delle frequenze.

Considerando che sussiste una correlazione diretta (anche se non lineare) tra i fenomeni di "risonanza" e l'amplificazione del moto del suolo in concomitanza di sollecitazione sismica (effetti di sito), detta tipologia di indagine ha un elevato grado d'efficienza per individuare, come previsto dal primo livello di approfondimento degli Indirizzi e Criteri di Microzonazione Sismica, le aree con comportamento sismico omogeneo - equivalente.

Per meglio evidenziare possibili congruenze tra i risultati, i valori Frequenza/Ampiezza rilevati sono stati associati, in termini di frequenza di ampiezza del picco HVSR, nelle seguenti classi:

Frequenze Hz	Ampiezze A
$0,5 < F_0 < 1$	
$1 < F_0 < 2$	
$2 < F_0 \leq 3$	
$3 < F_0 \leq 5$	$2,0 < A < 3,0$
$5 < F_0 \leq 10$	$3,0 < A \leq 5,0$
$8 < F_0 \leq 15$	$A \geq 5$
$15 < F_0 \leq 19$	
$F_0 \geq 9$	

Dette associazioni sono state riportate nella "Carte delle Frequenze Naturali del Terreno" (Tav. 1.4); le misure sono state identificate attraverso una serie di simboli con colori e dimensioni differenti. Il colore è correlato alle diverse classi di frequenza mentre la dimensione alla classe di ampiezza.

Mediante questa indicizzazione dei risultati è stato possibile valutare la distribuzione delle classi di frequenza e ampiezza sul territorio ed effettuare alcune considerazioni qualitative sull'area oggetto di studio.

In generale le formazioni presenti nel territorio non mostrano un comportamento di risposta sismica del tutto omogeneo. Per le medesime formazioni coesistono valori di frequenza ed ampiezza spesso sensibilmente differenti. Questi risultati rispecchiano le caratteristiche meccaniche delle formazioni esaminate che, oltre ad essere tettonizzate ed alterate, sono spesso interessate dalla presenza di fenomeni gravitativi sia superficiali che profondi, e gradi di fatturazione diversi.

Generalmente le formazioni della Successione Epiligure, sia arenitiche che arenaceo pelitiche - marnoso siltose (PAT - ANT4 - CIG 2 e 1 - CIG - LOI) che marnoso argillose - argillose (TER - MVT) che quelle della Successione Neogenica arenacei (AD01 - RUM 1),

indicano gradi di risentimento sismico medio, evidenziati da frequenze di risonanza comprese prevalentemente tra 5 e 10 Hz ed ampiezze tra 2,0 e 4. Si distinguono dal comportamento sopra descritto i depositi alluvionali terrazzati, che sebbene anch'essi non evidenzino territorialmente risposte sismiche omogenee, denotano a zone, in rapporto al substrato locale, effetti di risposta simili; le frequenze di risonanza sono generalmente comprese tra 4/5 e 7/10 Hz, con locali valori tendenzialmente inferiori tra 2 e 3 Hz nella zona dove coprono la Formazione di Monte Adone; più differenziati sono i valori delle ampiezze che evidenziano picchi con  $A = 4/5/7 \div 8/9$  con un massimo di 15 per i terrazzi sede del capoluogo, picchi con  $A = 4/5$  con un massimo di 9 nei depositi alluvionali e di conoide alluvionale di Pian di Venola, picchi con  $A = 4/4.5$  nei terrazzi di Lama di Reno; analoghe ampiezze di 4 si riscontrano ad Allocco di Sopra e Panico.

Le ampiezze relative maggiori ed omogenee che contraddistinguono l'area sede del capoluogo indicano possibili risentimenti sismici medio elevati per tale zona.

#### **7.4. MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA O DELLE AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI**

In riferimento agli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica del Dipartimento della Protezione Civile e Conferenza Delle Regioni e Province Autonome, DGR. 1238/2020, sono state individuate e delimitate le zone a comportamento equivalente in occasione di sollecitazione sismica, nelle quali sono da effettuarsi approfondimenti di indagini ed analisi per la microzonazione sismica ed i livelli di approfondimento che competono alle condizioni di pericolosità di detti ambiti.

Nell'individuazione e delimitazione delle aree in narrativa oltre alle documentazioni territoriali sono state utilizzate verticali di indagine geofisica ad antenna lineare (metodo integrato Re.Mi./MASW) che puntuali a stazione singola (HVSr) direttamente eseguite, per una più attendibile individuazione delle unità litologiche e degli orizzonti sismici caratterizzati da significativi contrasti di impedenza nei primi 30/40 m del sottosuolo.

La carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) Tav. 1.6, elaborata in base alle informazioni sopra descritte, costituisce pertanto una zonazione di primo livello di approfondimento di tipo avanzato.

L'individuazione delle zone a comportamento equivalente in occasione di sollecitazione sismica è stata sviluppata in base agli elaborati cartografici, alle sopraccitate prospezioni, integrati con valutazioni redatte con criterio topografico e geomorfologico – geotecnico.

Nel contesto delle analisi territoriali sono inoltre state utilizzate le documentazioni della Regione Emilia Romagna, in particolare le carte topografiche di dettaglio, il modello digitale del terreno e la banca dati geologica del territorio comunale, aggiornamento dei processi di frana, rese disponibili in formato digitale dal *Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli*.

Oltre a ciò si è fatto riferimento alle elaborazioni individuanti i differenti scenari di pericolosità sismica locale e degli effetti locali attesi, di primo livello di zonazione sismica, redatti nell'ambito della variante materia di riduzione del rischio sismico, Tav. 2C F° V - IV PTCP della Provincia di Bologna; tali documentazioni sono state integrate da indagini precedentemente effettuate da AA.VV. che hanno esaminato formazioni dell'Appennino

Bolognese e Modenese con caratteristiche geomorfologiche, litologico-meccaniche e grado di fratturazione simili/equivalenti a quelle riscontrate nel territorio di Marzabotto

La delimitazione delle aree a diverse caratteristiche litotecniche è stata redatta in base alla Carta Geologica Regione Emilia Romagna in scala 1:10000, aggiornata al 2019 per quanto riguarda i processi di frana (*Servizio Geologico Sismico e dei Suoli RER.*), individuante le zone di frana in atto e non in evoluzione, depositi di versante, alle prospezioni geofisiche con metodo sismico implementate dalle indagini geognostiche precedentemente effettuate. Queste ultime hanno evidenziato presenze di coperture e di orizzonti costituiti da depositi – roccia intensamente fratturata/detensionata, con spessori variabili tra  $5 \div 8$  e  $10 \div 15$  m che hanno comportato localizzate modifiche dei limiti delle coperture e delle zone indicanti presenza di substrato roccioso affiorante / sub-affiorante, visualizzate nelle carte geologiche CARG.ER e delle aree suscettibili di effetti locali del PTCP Bologna

Le sopradescritte disamine e documentazioni hanno consentito di individuare ambiti litotecnici contraddistinti da diverse caratteristiche meccaniche e di rigidità, definendo i tipi di risposta sismica dei siti con metodo semplificato (Allegato A2 DGR 630/2019).

In funzione di quanto esposto nel territorio di Marzabotto, sono stati individuati tipi litologici di substrato contraddistinti da velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio maggiore di 800 m/sec nei primi  $30 \div 40$  m del sottosuolo e le litozone del substrato caratterizzate da  $V_s < 800$  m/sec nei primi 30 m del piano campagna.

Per la redazione “Carta delle aree suscettibili di effetti locali (MOPS), prevista come elaborato fondamentale al primo livello di approfondimento, sono state ulteriormente approfondite le analisi delle condizioni locali delle porzioni di territorio urbanizzato o suscettibili di trasformazione urbanistiche, al fine di classificare tali aree nelle categorie previste nell'allegato A2 della DGR 630/2019, suddividendole in:

Zone stabili

Zone suscettibili di amplificazione locali

Zone suscettibili di instabilità

- **Zone stabili:** appartengono a questa classe tutte le aree nelle quali i tipi litologici presenti e le loro condizioni stratigrafiche, di fratturazione, morfologia sub pianeggiante con acclività minore di  $15^\circ$ , tipi e spessori delle coperture / roccia detensionata, indicano caratteristiche di insieme che denotano grado molto basso – assenza ed in pratica trascurabilità dei possibili effetti di amplificazione locale, zone 1021/1022 di legenda.
- **Zone suscettibili di amplificazione locali:** appartengono a tale categoria tutte le aree con caratteristiche stratigrafiche, morfologiche locali, variazioni stratigrafiche laterali di scarsa rilevanza, in presenza di substrato affiorante a comportamento non rigido:  $V_s < 800$  m/sec. e di coperture con spessori tali da indurre effetti locali, zone da 2002 a 2011 di legenda; aree interessate da amplificazioni correlate ad elevato grado di fratturazione o substrato fratturato/alterato zona 2099, aree con presenza di substrato rigido con

pendenze  $>15^\circ$  zona 2001, secondo quanto indicato dai testi di riferimento riportati in premessa, in particolare dall'Allegato A2 della DGR 630/2019.

- **Zone di attenzione per instabilità**, sono rappresentate dalle aree nelle quali oltre ai fenomeni di amplificazione sono attese deformazioni permanenti dei terreni, alle quali appartengono i depositi di frana attivi, quiescenti:  $ZA_{FR}$  30xy2017 – 30xy2018 – 30xy2019 di legenda, aree con spessore delle coperture e profondità del substrato pronunciatamente variabili sulla verticale e sull'orizzontale; zone con pendenza del versante maggiore di  $50^\circ$ , zone potenzialmente instabili perimetrare come aree a rischio idrogeologico molto elevato; aree potenzialmente soggette a fenomeni di cedimento differenziale  $ZA_{CD}$  3080 causati dalla presenza di riempimenti non naturali. Ai fini delle analisi di microzonazione sismica in tali zone lo strumento urbanistico comunale dovrà richiedere di approfondimenti di terzo livello.

Le delimitazioni delle zone, esposte nella legenda della tav. 1.6, sono così articolate:

#### *ZONE STABILI POTENZIALMENTE NON SOGGETTE AD AMPLIFICAZIONE PER EFFETTI LOCALI*

##### **1021-1022 - Aree con substrato sub affiorante con $V_s > 800$**

effetti attesi: substrato non soggetto ad amplificazioni per effetti locali;

*studi richiesti:* indagini per caratterizzare  $V_s$ ; in caso  $V_s > 800$  m/s, nessuna ulteriore indagine; in caso  $V_s < 800$  m/s, valutazione del coefficiente di amplificazione correlato alle caratteristiche litologiche e stratigrafiche;

*microzonazione sismica:* non richiesta nel primo caso, secondo livello di approfondimento nel secondo caso.

#### *ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI*

##### **2001 – 2005 - Aree stabili con substrato subaffiorante con $V_s < 800$ m/sec. potenzialmente soggette ad amplificazione per caratteristiche stratigrafiche e localmente soggette ad amplificazione per effetti della topografia.**

effetti attesi: amplificazione per effetti della stratigrafia e topografia;

*studi richiesti:* Valutazione del coefficiente di amplificazione dovuto alle caratteristiche litologico stratigrafiche;

*microzonazione sismica:* secondo livello di approfondimento;

**2006 – 2007–2010- Aree stabili con presenza di depositi alluvionali**

*effetti attesi:* amplificazione per effetti litologico stratigrafici, cedimenti, per densificazione, addensamento di sottili strati limoso sabbiosi;

*studi richiesti:* valutazione amplificazione, stima dei cedimenti – addensamento in presenza di materiali a caratteristiche geotecniche scadenti;

*microzonazione sismica:* secondo livello di approfondimento in assenza di strati sabbiosi scarsamente addensati, in presenza di questi ultimi terzo livello di approfondimento per stima cedimenti – addensamento; in presenza di valli strette e spessori non costanti dei depositi alluvionali, terzo livello di approfondimento.

**2008 - Aree stabili con presenza di depositi detritici: eluvio colluviali–diversante sl. – eolici.**

*effetti attesi:* amplificazione stratigrafica, cedimenti, densificazione, spostamenti;

*studi richiesti:* valutazione del coefficiente di amplificazione correlato alle caratteristiche litologiche e stratigrafiche, in presenza di strati compressibili stima dei cedimenti, densificazione;

*microzonazione sismica:* secondo livello di approfondimento per verifica dell'amplificazione litostratigrafica, al riscontro di strati compressibili e/o presenza di depositi con spessori variabili lateralmente, terzo livello di approfondimento per stima dei cedimenti, densificazione, spostamenti.

**2009 - Aree stabili con substrato sub affiorante con Vs > 800 soggette ad amplificazioni topografiche**

*effetti attesi:* substrato rigido soggetto ad amplificazioni per effetti della topografia;

*studi richiesti:* indagini per caratterizzare Vs; valutazione del coefficiente di amplificazione correlato alle condizioni topografiche;

*microzonazione sismica:* secondo livello di approfondimento.

**2011 - Aree stabili con presenza di depositi di conoide**

*effetti attesi:* amplificazione per effetti della stratigrafia, localmente piccoli areali suscettibili di potenziali cedimenti;

*studi richiesti:* valutazione amplificazione, valutazione della variabilità orizzontale dello spessore dei depositi, negli eventuali casi siano presenti materiali a caratteristiche geotecniche scadenti, stima dei cedimenti.

*microzonazione sismica:* secondo livello di approfondimento in assenza di strati a scadenti caratteristiche geotecniche e modesta variabilità laterale degli spessori; nell'eventualità di casi con presenza di terreni scarsamente consistenti terzo livello di approfondimento per stima cedimenti.

**2099 - Aree con presenza di substrato molto fratturato – alterato;**

*effetti attesi:* amplificazione stratigrafica;

*studi richiesti:* valutazione del coefficiente di amplificazione dovuto a variazione laterale e verticale del grado di rigidezza delle rocce e per effetti della topografia, in aree prossime a



corpi di frana stima della stabilità dei versanti, versanti con acclività  $>15^\circ$  valutazione effetti della topografia;

*microzonazione sismica*: secondo livello di approfondimento.

#### **Aree suscettibili di amplificazione per effetti della topografia (versanti con acclività $>15^\circ$ );**

effetti attesi: amplificazione stratigrafica e per effetti della topografia, instabilità dei versanti;

*studi richiesti*: valutazione del coefficiente di amplificazione topografico e indagini per caratterizzare  $V_s$ ; in caso  $V_{s_{30}} > 800$  m/s, è richiesta la sola valutazione del coefficiente di amplificazione dovuto alle caratteristiche topografiche; in caso  $V_{s_{30}} < 800$  m/s è richiesta la valutazione del coefficiente di amplificazione dovuto sia alle caratteristiche litologiche che a quelle topografiche;

*microzonazione sismica*: nei casi con substrato con  $V_s < 800$  m/sec secondo livello di approfondimento.

#### **ZONE DI ATTENZIONE PER INSTABILITA'**

##### **30xy2017 – 30xy2018 – 30xy2019 - Aree potenzialmente instabili e non stabili con presenza corpi di frana: zone 30xy;**

effetti attesi: amplificazione stratigrafica, instabilità dei versanti;

*studi richiesti*: valutazione del coefficiente di amplificazione dovuto alle caratteristiche litologiche e stratigrafiche, valutazione del grado di stabilità del versante con metodo pseudostatico o dinamico;

*microzonazione sismica*: terzo livello di approfondimento.

##### **3080 - Aree potenzialmente instabili con presenza di terreni elevatamente compressibili**

effetti attesi: amplificazione stratigrafica, cedimenti differenziali;

*studi richiesti*: valutazione del coefficiente di amplificazione dovuto alle caratteristiche litologiche e stratigrafiche, valutazione dei cedimenti differenziali statici e dinamici;

*microzonazione sismica*: terzo livello di approfondimento.

Nelle aree di cui alle zone da 2001 a 2011/2099, prossime ai bordi superiori di scarpate o poste a quote immediatamente superiori agli ambiti soggetti ad amplificazione per caratteristiche topografiche lo studio di microzonazione sismica deve valutare anche gli effetti della topografia secondo quanto previsto al punto 2.5, linee guida ICMS parte II volume 1, o a quanto previsto a punto A2. 2 dell'allegato A2 della DGR 630/2019.

Nelle zone 1021-1022, nelle successive fasi dovranno prioritariamente essere determinati gli spessori delle coperture e la profondità del substrato non detensionato/alterato. Nel caso in cui lo spessore della copertura o la profondità del substrato non alterato sia uguale o superiore a 3 m è richiesta la valutazione dell'amplificazione sismica.

Se l'unità di copertura è orizzontale e con spessore a variabilità laterale molto modesta, per la microzonazione sismica è sufficiente il secondo livello di approfondimento; nel caso in cui lo spessore delle coperture non sia costante ed il substrato non orizzontale o sia a pronunciato

grado di variabilità laterale in profondità, per la microzonazione sismica è richiesto il terzo livello di approfondimento.

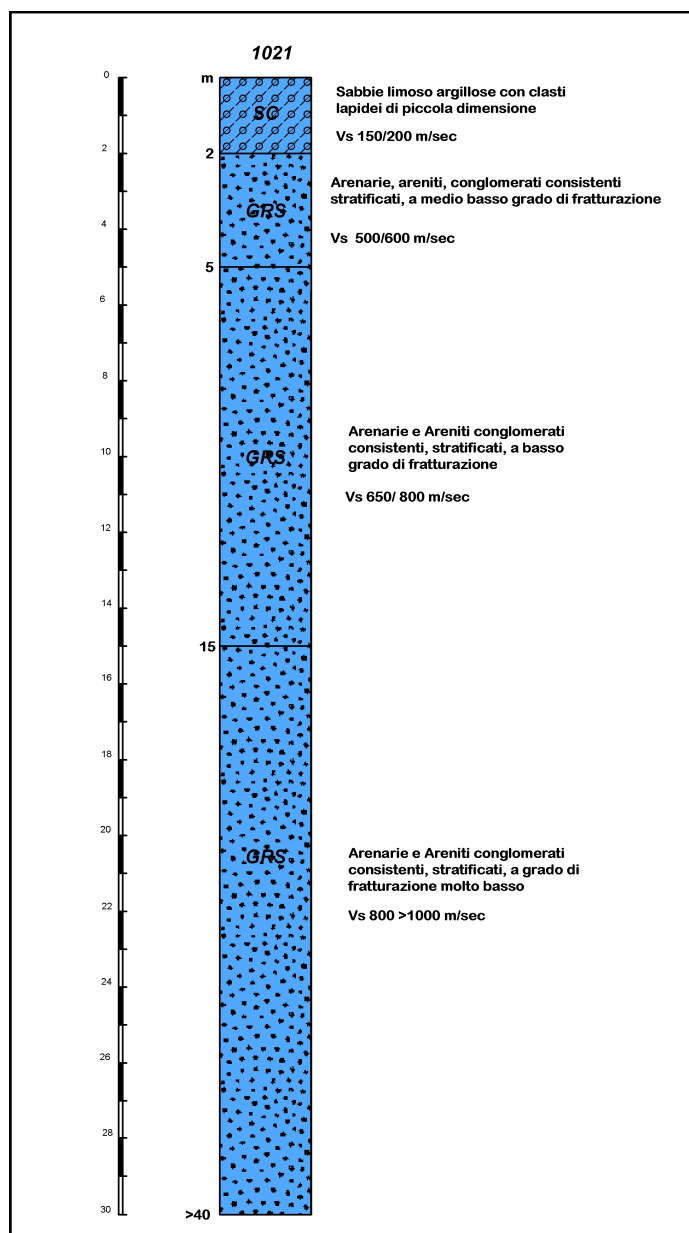
Il terzo livello di approfondimento è comunque richiesto nelle aree in cui è prevista la realizzazione di opere di rilevante interesse pubblico e nelle aree individuate nelle carte della Variante in materia di Riduzione del Rischio Sismico del PTCP. BO, come:

- Aree soggette a cedimenti;
- Aree stabili e potenzialmente instabili;

qualora si prevedano interventi sul territorio con cambi di destinazione d'uso in zone appartenenti a tali classi.

I modelli geologico strutturali rappresentativi degli assetti che contraddistinguono le aree oggetto di microzonazione sismica (sviluppi in scala 1:5.000) sono visualizzati nella tavola sezioni geologiche (tav. 1.3.1-1.3.2).

Il modello litologico stratigrafico e del risentimento sismico che caratterizza le zone a comportamento sismico equivalente, visualizzate nella tav. 1.6 MOPS, definito in funzione della profondità del substrato roccioso, sia a comportamento rigido che a comportamento non rigido, dello spessore e stato di addensamento dei materiali delle coperture, è schematicamente riassunto nelle colonne litostratigrafiche di seguito allegate.



1021 - Depositi eluvio colluviali, di modesto spessore, <3 m, sabbioso limoso argillosi con clasti litici di piccola dimensione, su substrato arenaceo-arenitico-conglomeratico, stratificato, consistente, a comportamento rigido:  $V_s > 800$  m/sec

**Effetti attesi:** assenza di potenziali effetti locali.

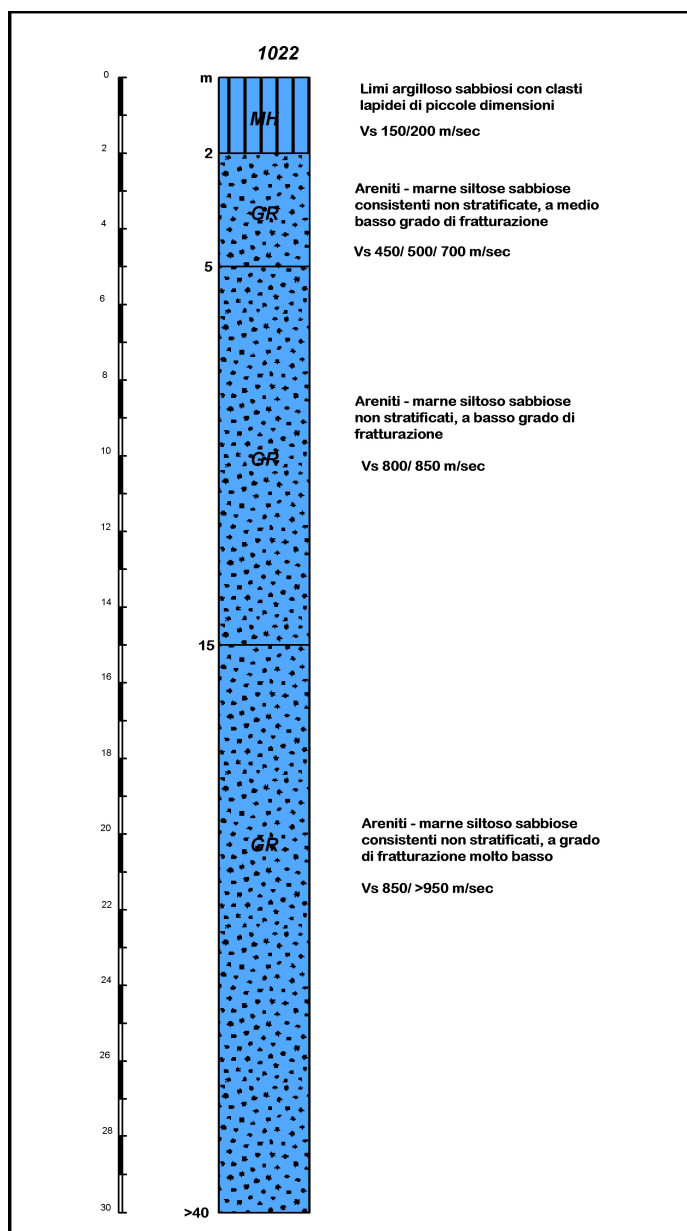
**Studi richiesti:** indagini per caratterizzazione del  $V_{s_{30}}$ .

**Microzonazione sismica:** Se  $V_{s_{30}} > 800$  m/sec nessun ulteriore approfondimento; se  $V_{s_{30}} < 800$  m/sec approfondimenti di II° livello; nei casi di pendenza  $\geq 15^\circ$  valutazione dell'amplificazione per effetti della topografia.

FA.PGA: **1-1,04**

FA.IS 0,1-0,5 sec: **1 - 1,04**

FA.IS 0,5-1,0 sec: **1 - 1,04**



1022 - Depositi eluvio colluviali, di modesto spessore, <2/3 m, costituiti da limi argilloso sabbioso argilloso con clasti lapidei di piccola dimensione, su substrato arenitico – arenitico fine marnoso siltoso non stratificato, a comportamento rigido:  $V_s > 800$  m/sec

**Effetti attesi:** assenza di potenziali effetti locali.

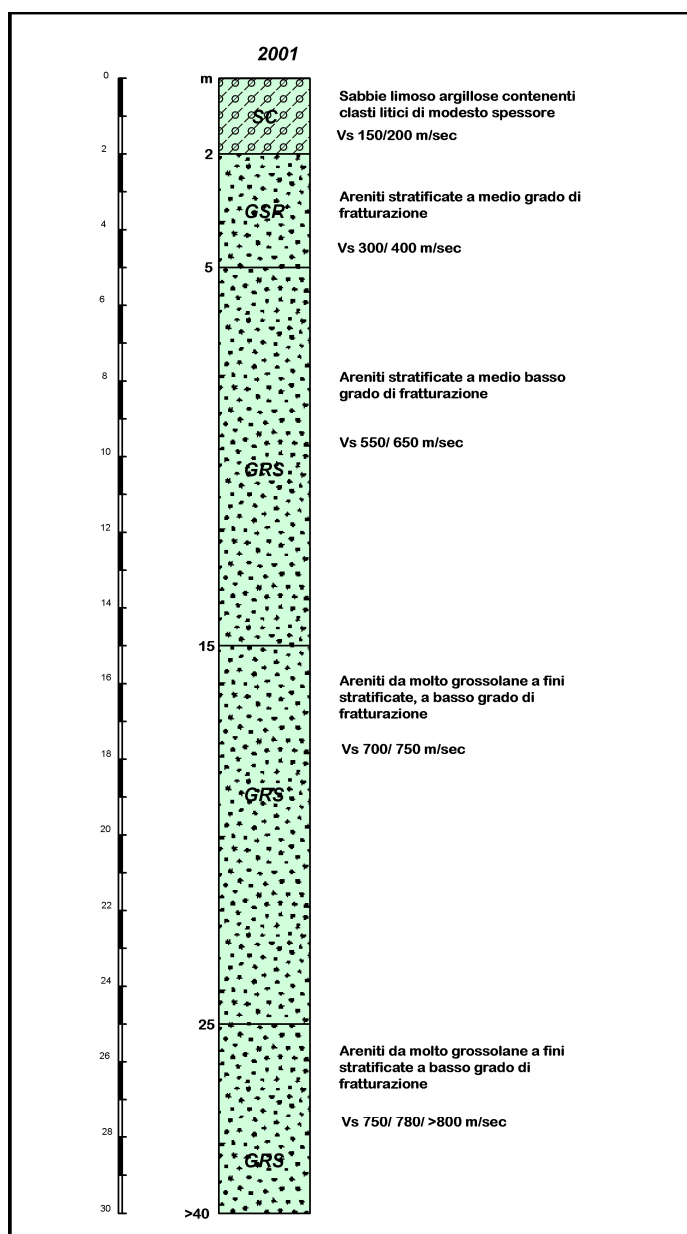
**Studi richiesti:** indagini per caratterizzazione del  $V_{s_{30}}$ .

**Microzonazione sismica:** Se  $V_{s_{30}} > 800$  m/sec nessun ulteriore approfondimento; se  $V_{s_{30}} < 800$  m/sec approfondimenti di II° livello; nei casi di pendenza  $\geq 15^\circ$  valutazione dell'amplificazione per effetti della topografia.

FA.PGA: **1-1,04**

FA.IS 0,1-0,5 sec: **1 - 1,04**

FA.IS 0,5-1,0 sec: **1 - 1,04**



2001 - Depositi eluvio - colluviali sabbioso limosi ed eolici limosi, di modesto spessore, <3 m, su substrato arenitico stratificato, consistente, a comportamento, non rigido: Vs < 800 m/sec

**Effetti attesi:** amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche.

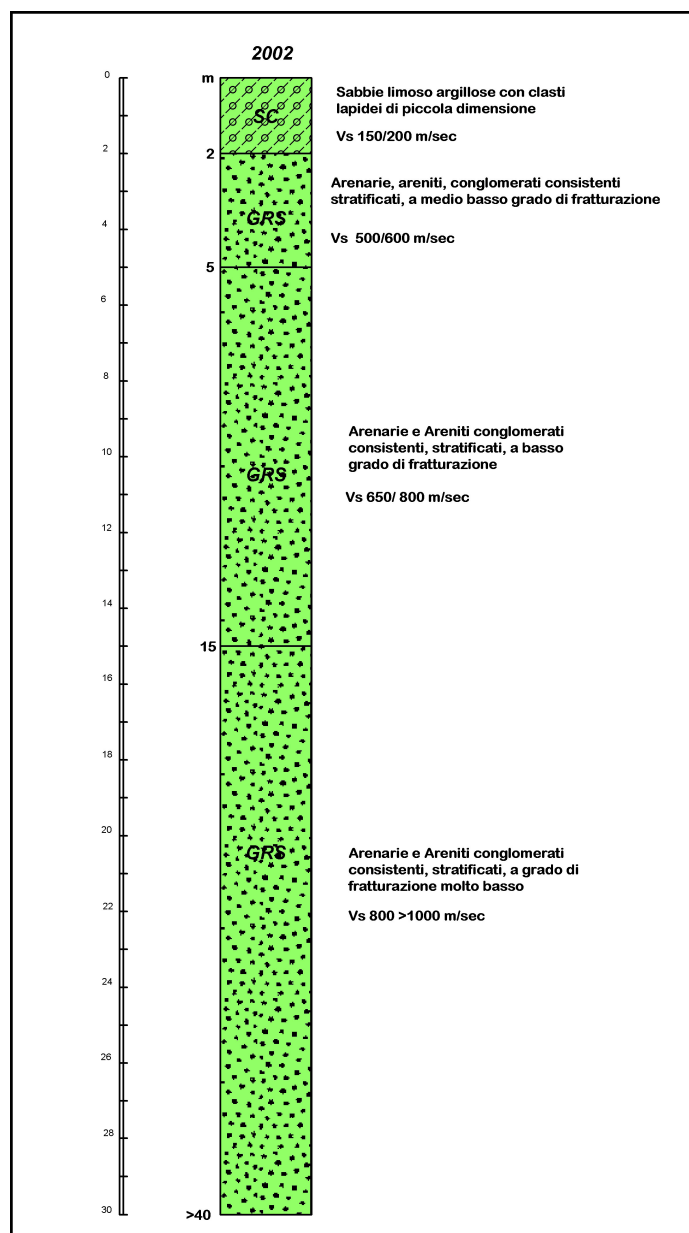
**Studi richiesti:** valutazione del coefficiente di amplificazione stratigrafico.

**Microzonazione sismica:** approfondimenti di II° livello, nei casi di pendenza  $\geq 15^\circ$  valutazione dell'amplificazione per effetti della topografia.

FA.PGA: **1,1 - 1,2**

FA.IS 0,1-0,5 sec: **1,1 - 1,2**

FA.IS 0,5-1,0 sec: **1**



2002 - Depositi eluvio - colluviali di modesto spessore <2/3 m, su substrato marnoso siltoso sabbioso – marnoso – marnoso argilloso consistente, non stratificato, a comportamento non rigido: Vs < 700/750 m/sec

**Effetti attesi:** amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche.

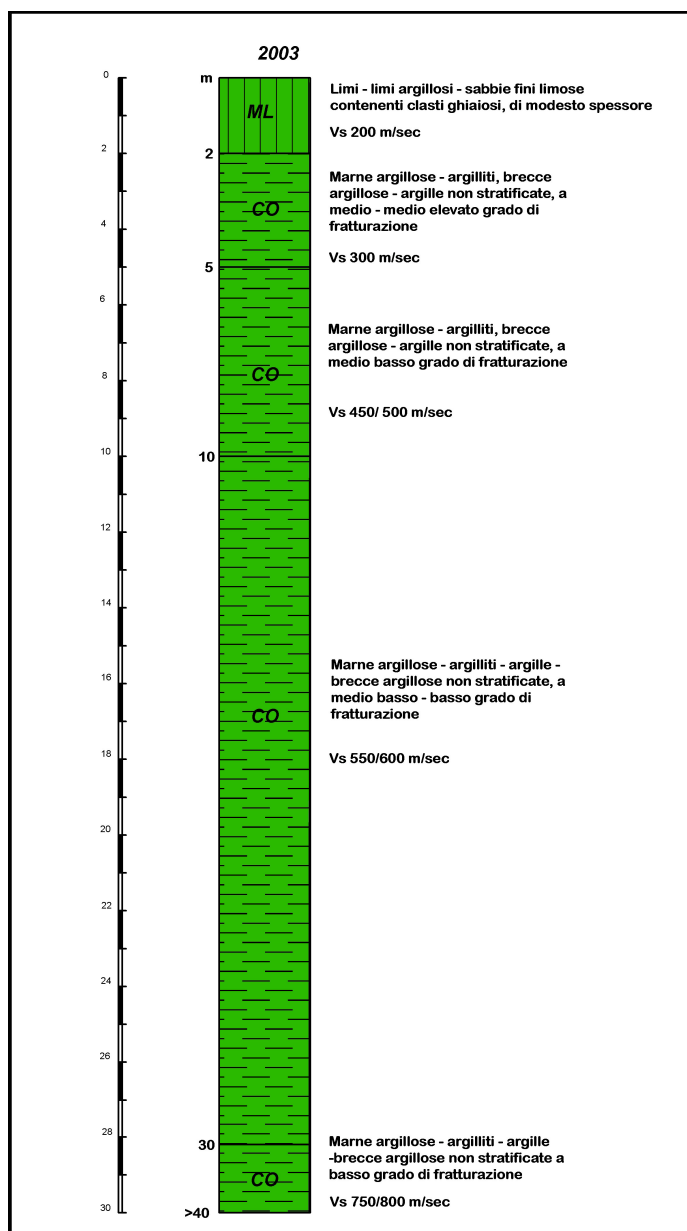
**Studi richiesti:** valutazione del coefficiente di amplificazione stratigrafico.

**Microzonazione sismica:** approfondimenti di II° livello, nei casi di pendenza  $\geq 15^\circ$  valutazione dell'amplificazione per effetti della topografia.

FA.PGA: **1,1-1,4**

FA.IS 0,1-0,5 sec: **1,1 - 1,4**

FA.IS 0,5-1,0 sec: **1,1 - 1,4**



2003 - Depositi eluvio - colluviali, di modesto spessore, <3 m, su substrato argilloso marnoso - argillitico-argilloso, a breccie argillose, non stratificato, a medio elevata consistenza, a comportamento non rigido: Vs < 600 - 750 m/sec

**Effetti attesi:** amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche.

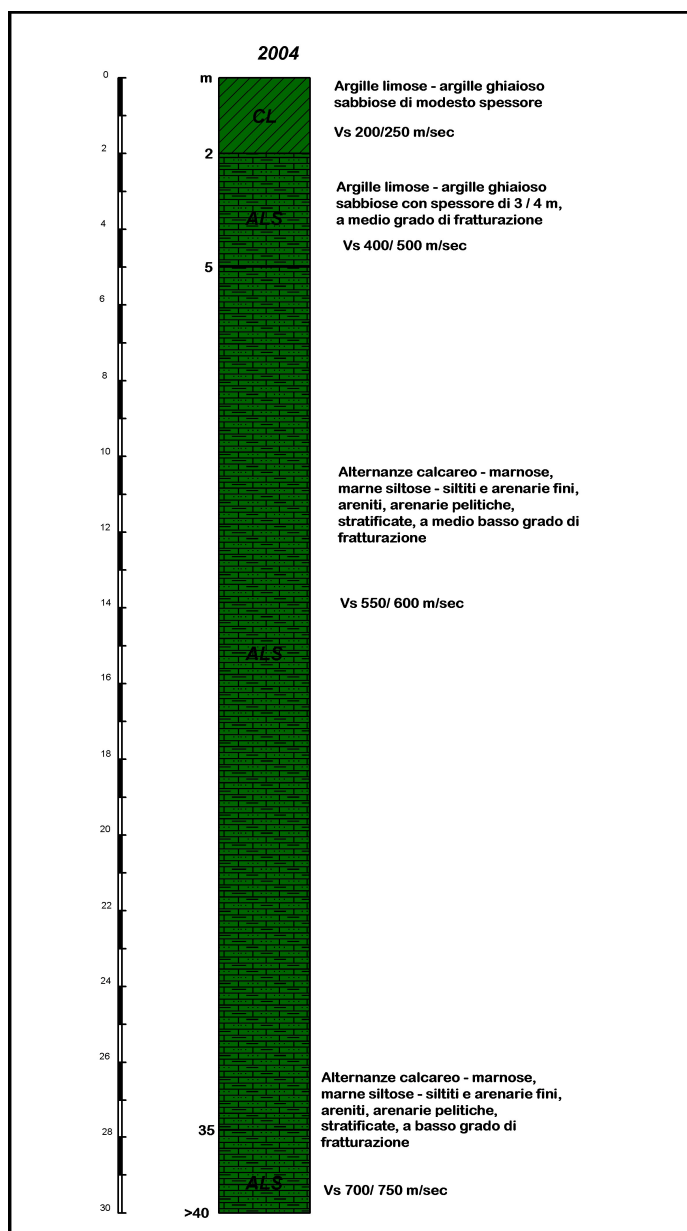
**Studi richiesti:** valutazione del coefficiente di amplificazione stratigrafico.

**Microzonazione sismica:** approfondimenti di II° livello, nei casi di pendenza  $\geq 15^\circ$  valutazione dell'amplificazione per effetti della topografia.

FA.PGA: **1,7-1,8**

FA.IS 0,1-0,5 sec: **1,7 - 1,8**

FA.IS 0,5-1,0 sec: **1,3 - 1,4**



2004 - Depositi eluvio – colluviali contenenti clasti ghiaiosi, con spessore di 2 / 3 m, su substrato marnoso – marnoso siltoso, arenitico, arenaceo pelitico stratificato, mediamente fratturato da -2/-3 a -5 m, seguito da materiali a medio elevata consistenza, a comportamento non rigido: Vs < 600/750 m/sec

**Effetti attesi:** amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche.

**Studi richiesti:** valutazione del coefficiente di amplificazione stratigrafico.

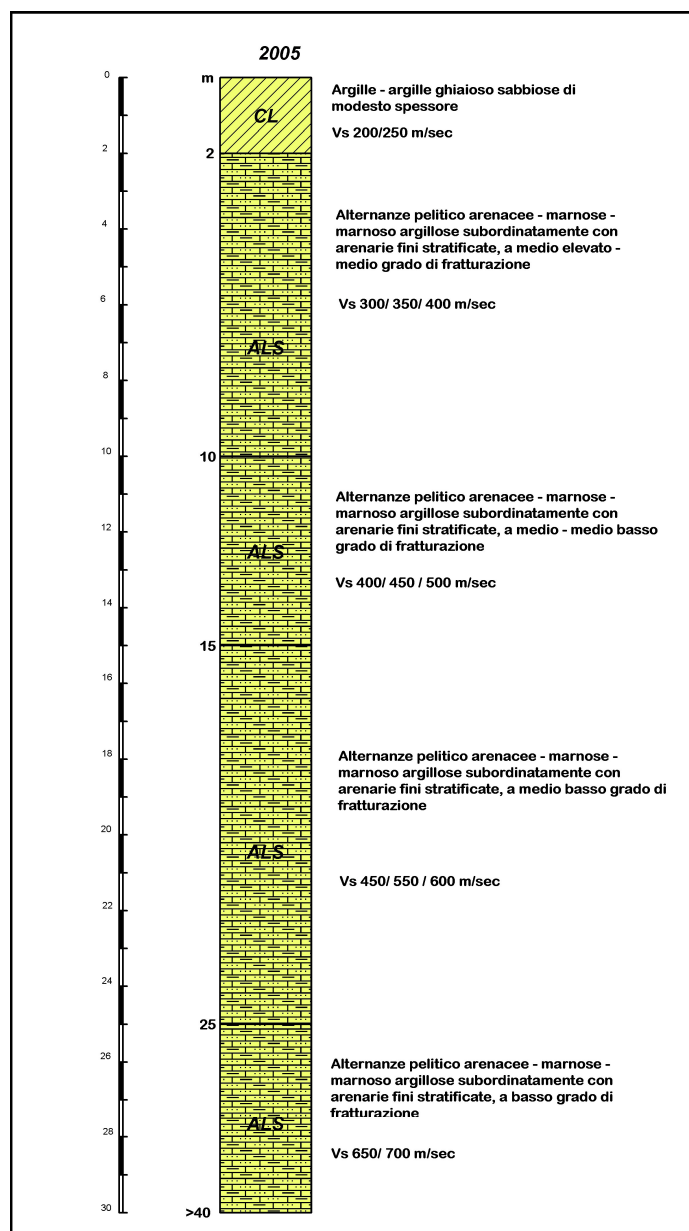
**Microzonazione sismica:** approfondimenti di II° livello, nei casi di pendenza  $\geq 15^\circ$  valutazione dell'amplificazione per effetti della topografia.

FA.PGA: **1,1-1,3**

FA.IS 0,1-0,5 sec: **1,1 - 1,3**

FA.IS 0,5-1,0 sec: **1,1 - 1,2**





2005 - Depositi eluvio - colluviali argilloso limoso sabbiosi contenenti clasti ghiaiosi, di modesto spessore, <2/3 m, su substrato pelitico arenaceo – marnoso – marnoso argilloso, stratificato, a medio – medio elevata fratturazione sino a 10 m pc, seguito da materiali a medio elevata consistenza, a comportamento non rigido: Vs < 550/700 m/sec

**Effetti attesi:** amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche.

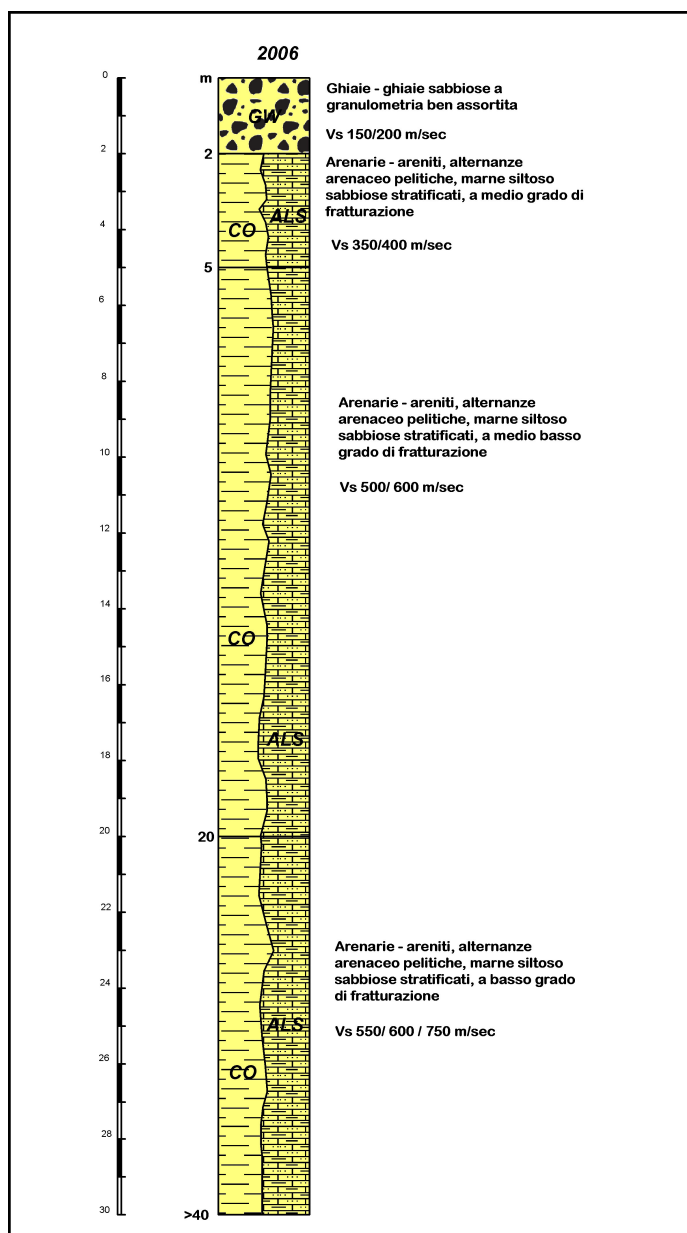
**Studi richiesti:** valutazione del coefficiente di amplificazione stratigrafico.

**Microzonazione sismica:** approfondimenti di II° livello, nei casi di pendenza  $\geq 15^\circ$  valutazione dell'amplificazione per effetti della topografia.

FA.PGA: **1,5-1,6**

FA.IS 0,1-0,5 sec: **1,5 - 1,6**

FA.IS 0,5-1,0 sec: **1,3 - 1,4**



2006 - Depositi alluvionali ghiaiosi – ghiaioso sabbiosi a granulometria ben assortita, con spessori da 7 a 10/12 m, su substrato arenitico – arenaceo pelitico stratificato o coesivo sovraconsolidato, a medio elevata consistenza, a comportamento non rigido: Vs < 600/750 m/sec

**Effetti attesi:** amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche.

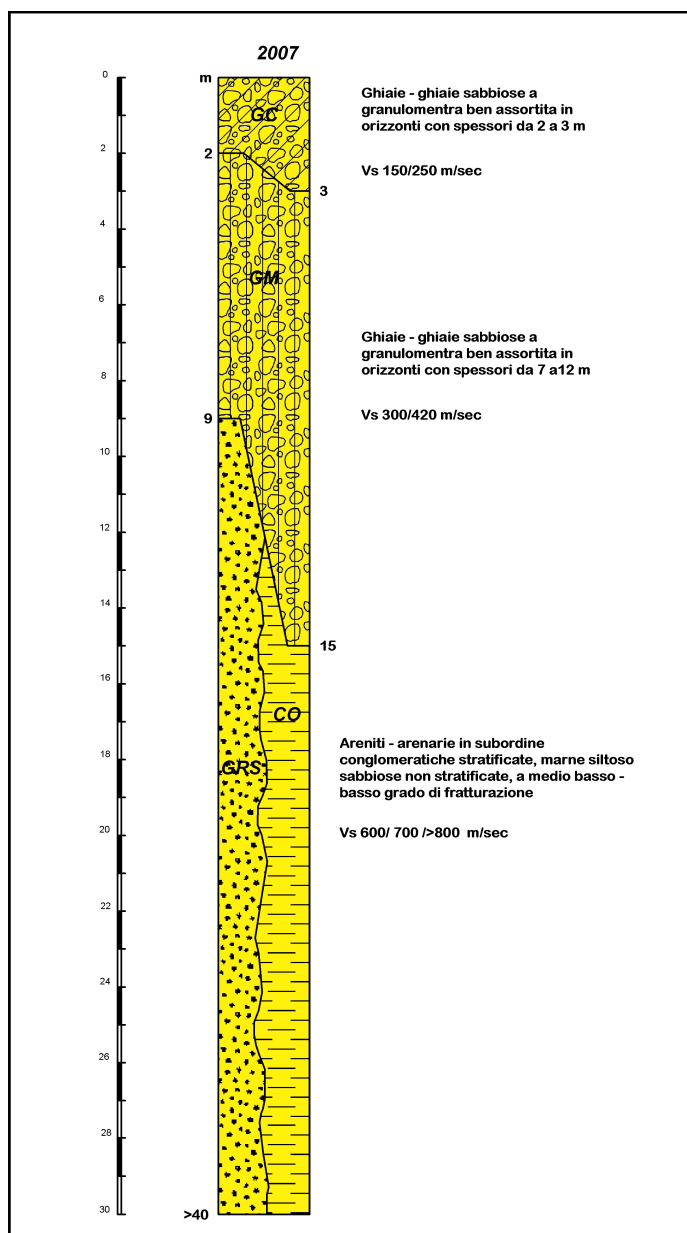
**Studi richiesti:** valutazione del coefficiente di amplificazione stratigrafico.

**Microzonazione sismica:** approfondimenti di II° livello, nei casi di pendenza  $\geq 15^\circ$  valutazione dell'amplificazione per effetti della topografia.

FA.PGA: **1,4 - 1,6**

FA.IS 0,1-0,5 sec: **1 - 1,5**

FA.IS 0,5-1,0 sec: **1 - 1,4**



2007 - Depositi alluvionali ghiaiosi - ghiaioso sabbiosi a granulometria ben assortita, con spessori minori di 6/8 m, su substrato arenitico – arenaceo pelitico talora conglomeratico stratificato o marnoso siltoso sabbioso non stratificato, a medio elevata – elevata consistenza, a comportamento rigido e non rigido: Vs < 650 m/sec.

**Effetti attesi:** amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche.

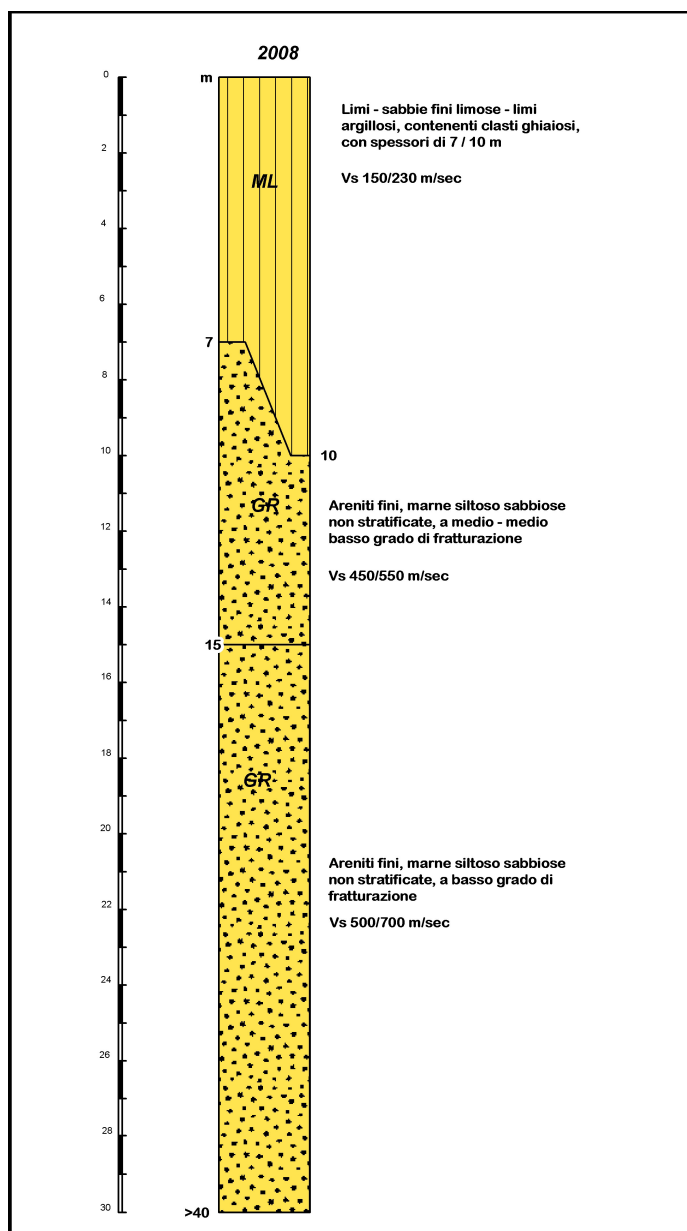
**Studi richiesti:** valutazione del coefficiente di amplificazione stratigrafico.

**Microzonazione sismica:** approfondimenti di II° livello, nei casi di pendenza  $\geq 15^\circ$  valutazione dell'amplificazione per effetti della topografia.

FA.PGA: **1-1,4**

FA.IS 0,1-0,5 sec: **1 - 1,5**

FA.IS 0,5-1,0 sec: **1 - 1,4**



2008 - Depositi di versante eterometrici, limosi – limoso argillosi – sabbioso fini limosi con presenza di clasti ghiaiosi, con spessori di 7/10 m, su substrato arenitico – marnoso siltoso sabbioso, non stratificato, a medio elevata consistenza, a comportamento non rigido: Vs < 500/700 m/sec

**Effetti attesi:** amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche.

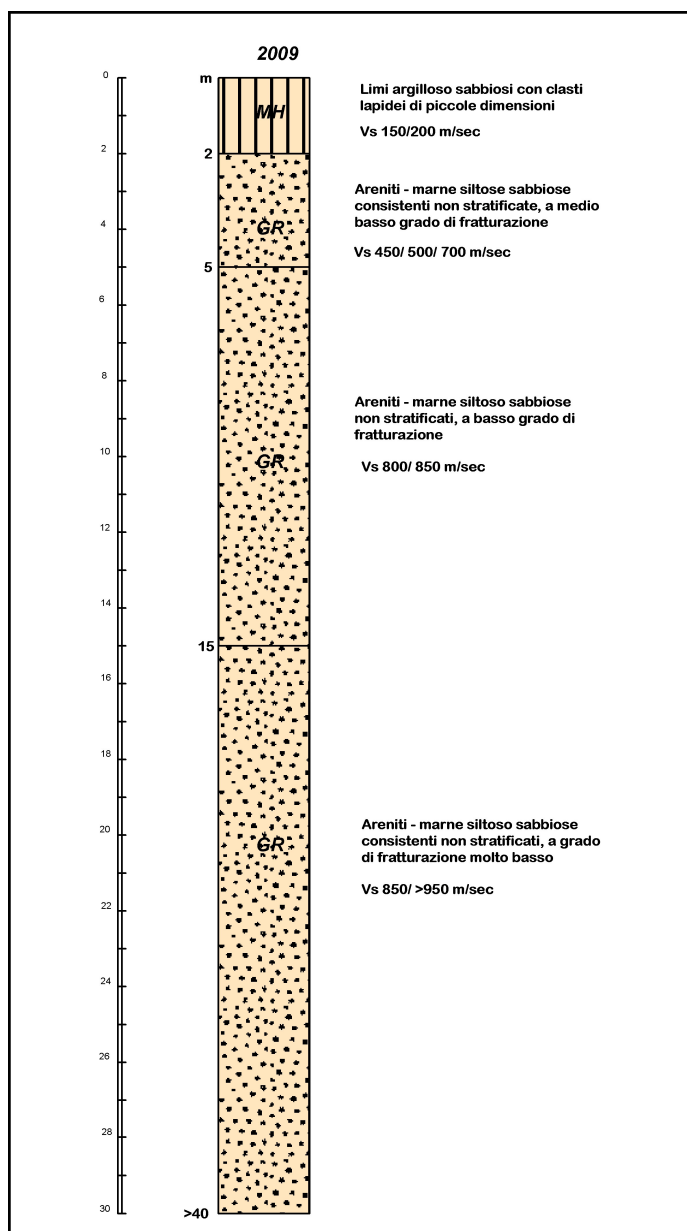
**Studi richiesti:** valutazione del coefficiente di amplificazione stratigrafico.

**Microzonazione sismica:** approfondimenti di II° livello, nei casi di pendenza  $\geq 15^\circ$  valutazione dell'amplificazione per effetti della topografia.

FA.PGA: **1,9 – 2 (1,7-2)**

FA.IS 0,1-0,5 sec: **1,7 - 1,9**

FA.IS 0,5-1,0 sec: **1,4 - 1,5**



2009 - Depositi di versante limosi – sabbioso fini limosi, con spessori di <math><2/3</math> m, su substrato arenitico – siltoso sabbioso stratificato o non stratificato, a medio elevata – elevata consistenza, a comportamento non rigido:  $V_s < 550/650/750$  m/sec

**Effetti attesi:** amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche.

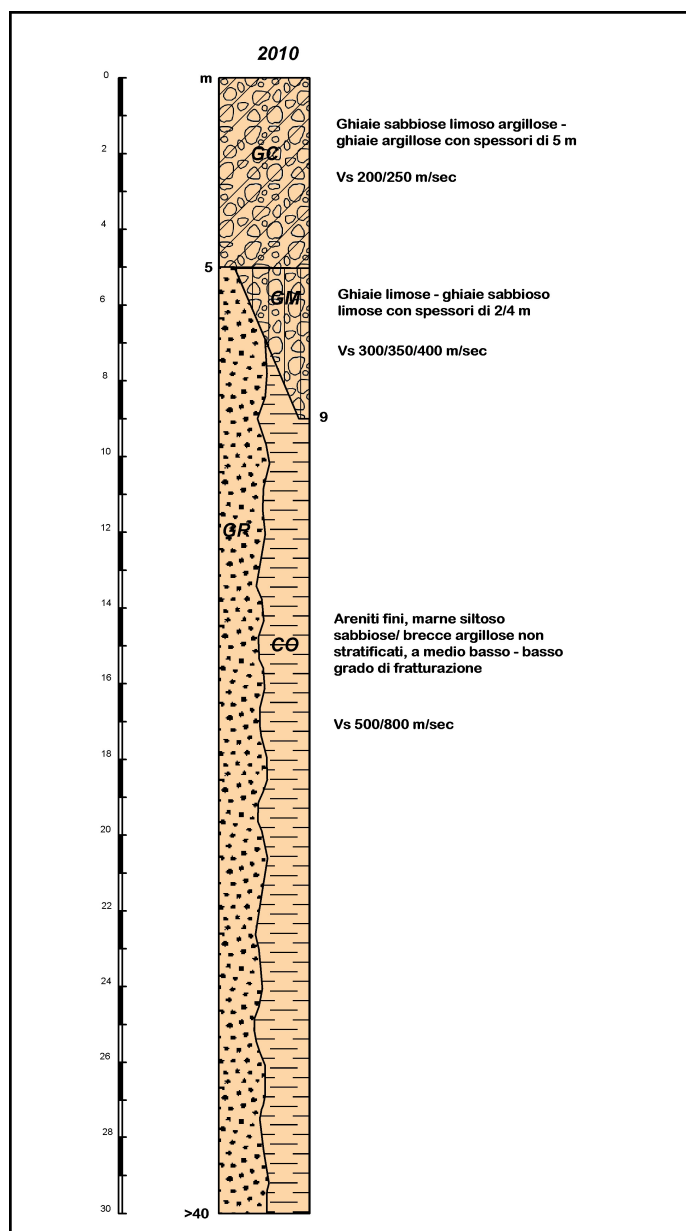
**Studi richiesti:** valutazione del coefficiente di amplificazione stratigrafico.

**Microzonazione sismica:** approfondimenti di II° livello, nei casi di pendenza  $\geq 15^\circ$  valutazione dell'amplificazione per effetti della topografia.

FA.PGA: **1,1-1,7**

FA.IS 0,1-0,5 sec: **1,1 - 1,8**

FA.IS 0,5-1,0 sec: **1,1 - 1,6**



2010 - Depositi alluvionali ghiaioso limoso sabbiosi, con spessori tra 5 e 12 m su substrato arenitico – marnoso siltoso, a medio – medio elevata consistenza, non stratificato, a comportamento non rigido: Vs < 800 m/sec

**Effetti attesi:** amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche.

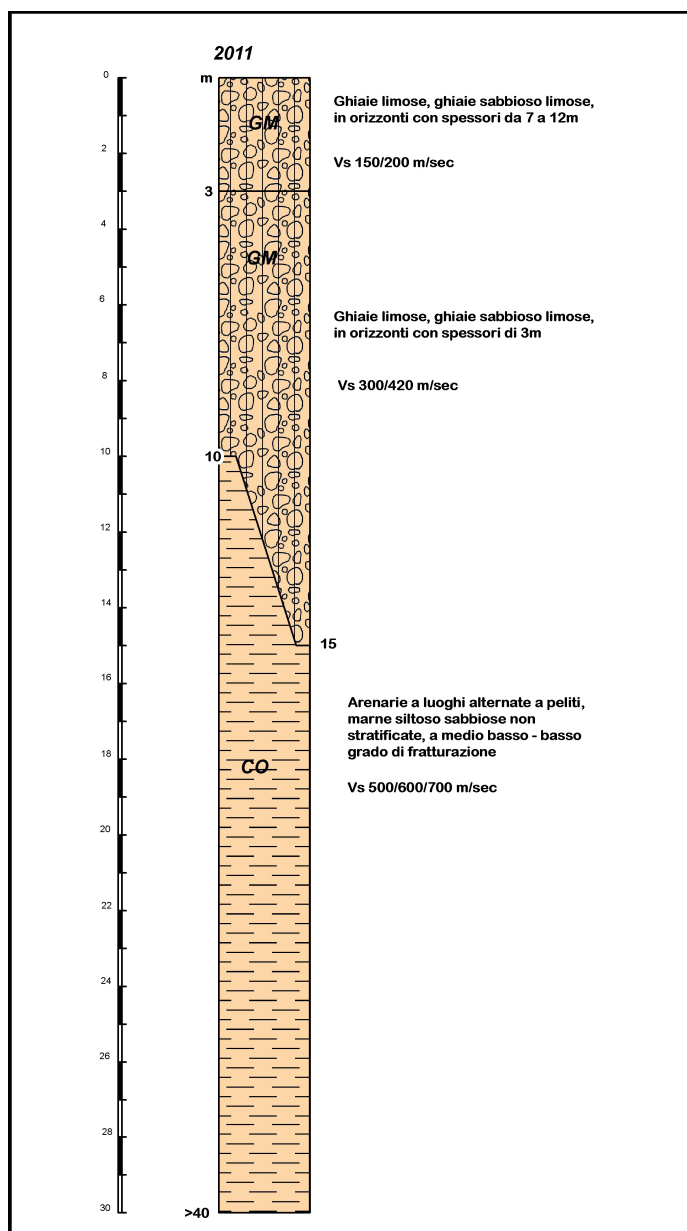
**Studi richiesti:** valutazione del coefficiente di amplificazione stratigrafico.

**Microzonazione sismica:** approfondimenti di II° livello, nei casi di pendenza  $\geq 15^\circ$  valutazione dell'amplificazione per effetti della topografia.

FA.PGA: **1,5 - 1,6**

FA.IS 0,1-0,5 sec: **1,5 - 1,6**

FA.IS 0,5-1,0 sec: **1,3 - 1,4**



2011 - Detriti di falda eterometrici ghiaioso limoso sabbiosi, a morfometria spigolosa, in strati con spessori da 3/5 a 10/15 m, su substrato arenitico non stratificato, consistente, a comportamento non rigido:  $V_s = 600/750$  m/sec

**Effetti attesi:** amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche.

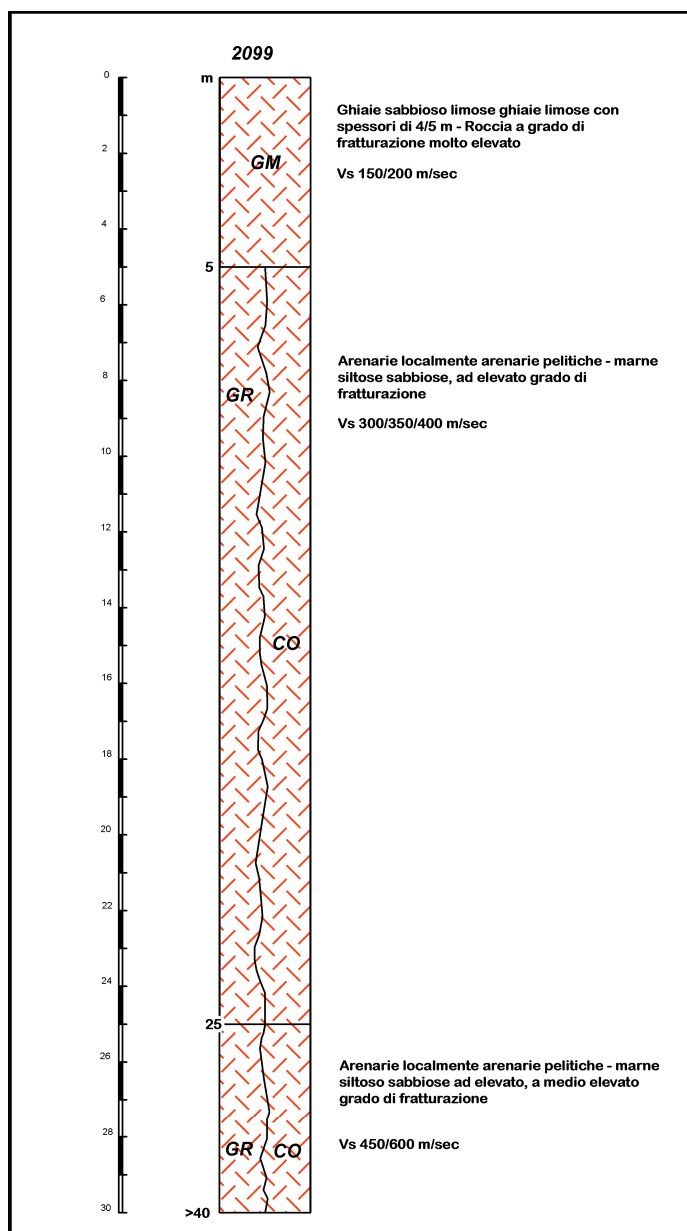
**Studi richiesti:** valutazione del coefficiente di amplificazione stratigrafico.

**Microzonazione sismica:** approfondimenti di II° livello, nei casi di pendenza  $\geq 15^\circ$  valutazione dell'amplificazione per effetti della topografia.

FA.PGA: **1,3-1,5**

FA.IS 0,1-0,5 sec: **1,4 - 1,6**

FA.IS 0,5-1,0 sec: **1,3 - 1,4**



2099 - Depositi alluvionali – depositi di versante, ghiaioso sabbioso limosi, con spessore <5 m, su substrato arenaceo–arenaceo pelitico – marnoso siltoso sabbioso, non stratificato, a grado di fratturazione molto elevato nei primi 5 m pc e successivamente grado di fratturazione elevato – medio elevato, a comportamento non rigido: Vs < 400/600 m/sec

**Effetti attesi:** amplificazione per caratteristiche litologico stratigrafiche e variazione laterale del grado di rigidità.

**Studi richiesti:** valutazione del coefficiente di amplificazione litostratigrafico.

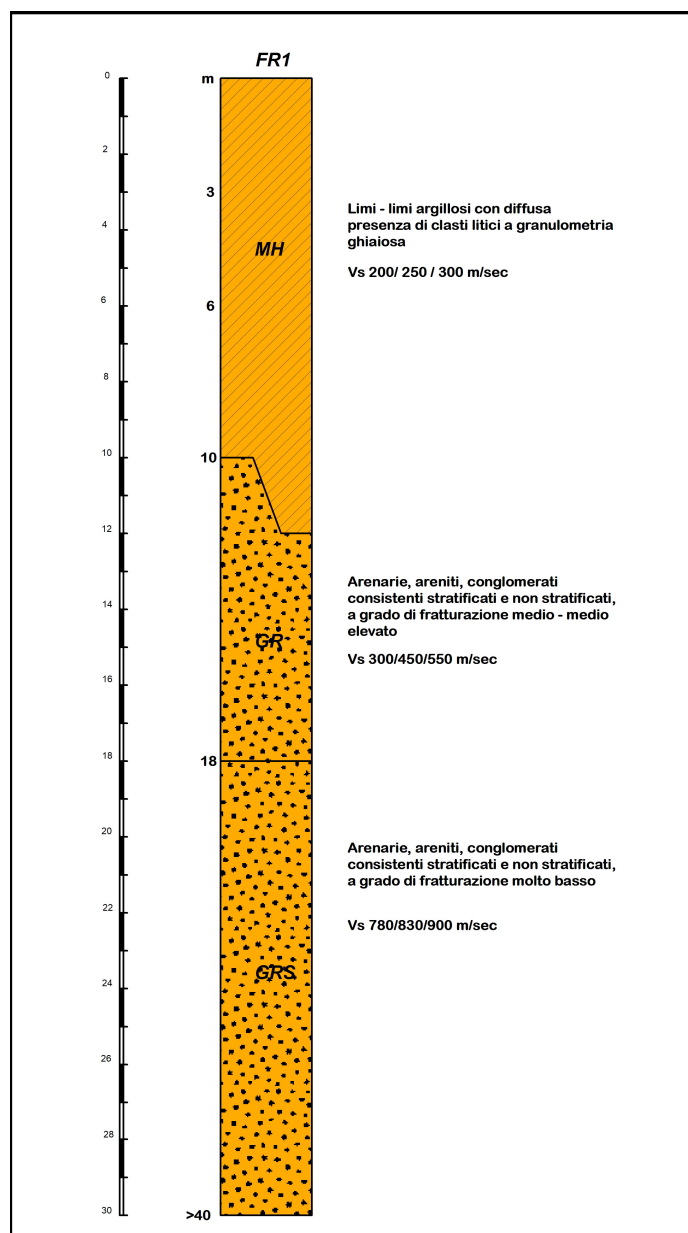
**Microzonazione sismica:** approfondimenti di III° livello; nei casi di pendenza  $\geq 15^\circ$  valutazione dell'amplificazione per effetti della topografia.

FA.PGA: **1,9-2,0**

FA.IS 0,1-0,5 sec: **2,3 - 2,4**

FA.IS 0,5-1,0 sec: **1,8 - 2,2**





30xy2017 – Accumuli di frana attivi e quiescenti, per scivolamento – complessi, con spessori di 10/12 m seguiti da substrato fratturato con spessori di 3/4 m su substrato arenaceo – arenaceo – conglomeratico, stratificato e non stratificato consistente, a comportamento rigido:  $V_s > 800$  m/sec.

**Effetti attesi:** amplificazione per caratteristiche litologico stratigrafiche e variazione laterale del grado di rigidità, instabilità.

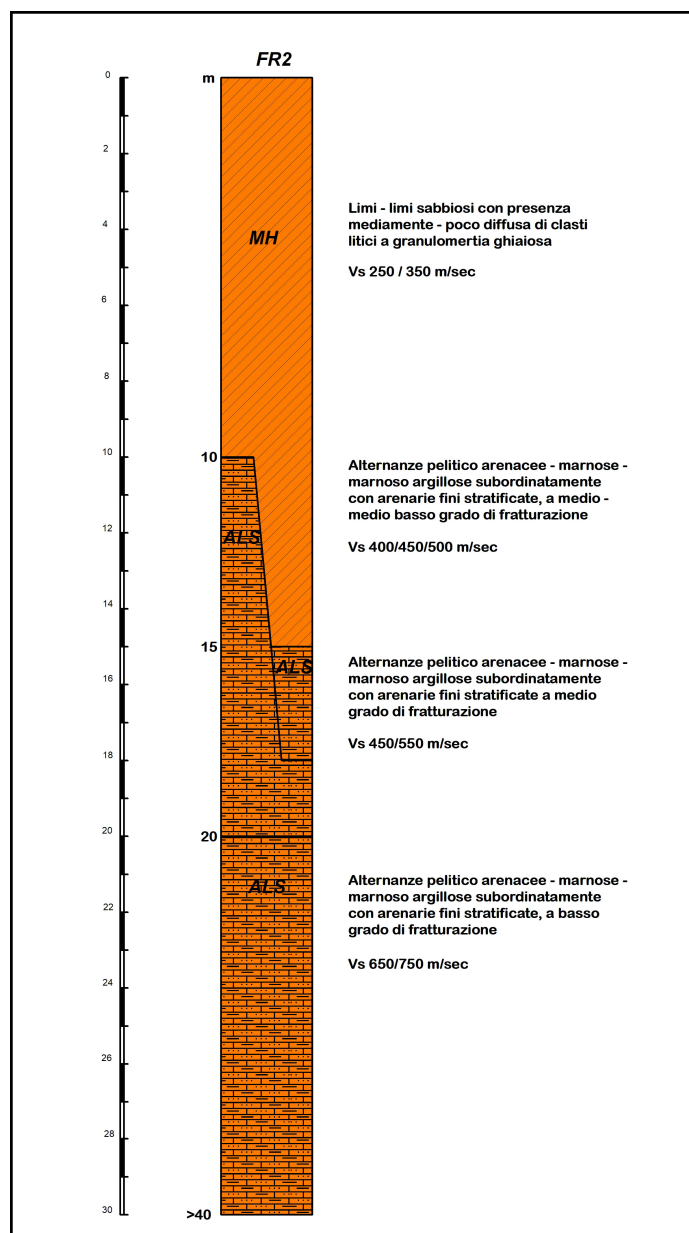
**Studi richiesti:** valutazione del coefficiente di amplificazione litostratigrafico, valutazione del grado di stabilità in condizioni statiche e dinamiche con metodo pseudostatico o dinamico.

**Microzonazione sismica:** approfondimenti di III° livello; nei casi di pendenza  $> 15^\circ$  valutazione dell'amplificazione per effetti della topografia.

FA.PGA: **1,9 – 2,0**

FA.IS 0,1 - 0,5 sec: **1,7 – 1,8**

FA.IS 0,5 - 1,0 sec: **1,1 – 1,2**



30xy2018 – Accumuli di frana quiescente ed attiva per scivolamento, complessi, con spessori di 10/15/18 m, su substrato arenitico, arenaceo pelitico stratificato manoso – marnoso siltoso mediamente fratturato da -15 a -20 m, seguito da materiali a medio elevata consistenza, a comportamento non rigido, Vs = 650/750 m/sec.

**Effetti attesi:** amplificazione per caratteristiche litologico stratigrafiche e variazione laterale del grado di rigidità, instabilità.

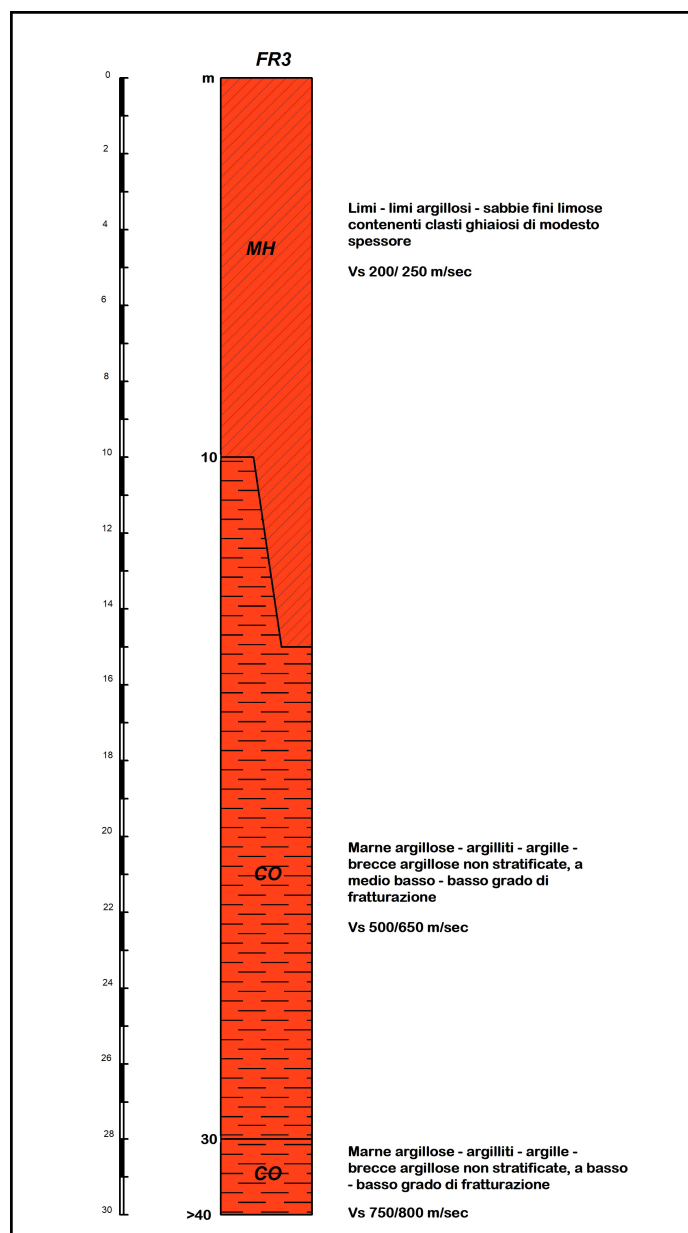
**Studi richiesti:** valutazione del coefficiente di amplificazione litostratigrafico, valutazione del grado di stabilità in condizioni statiche e dinamiche con metodo pseudostatico o dinamico.

**Microzonazione sismica:** approfondimenti di III° livello; nei casi di pendenza >15° valutazione dell'amplificazione per effetti della topografia.

FA.PGA: **1,9 – 2,0**

FA.IS 0,1 - 0,5 sec: **2,1 – 2,2**

FA.IS 0,5 - 1,0 sec: **1,3 – 1,4**



30xy2019 – Accumuli di frana quiescenti ad attivi di scivolamento – complessi, con spessori di 10/15 m su substrato argilloso marnoso –argillitico – argilloso, a breccie argillose, non stratificato, a medio elevata consistenza, a comportamento non rigido: Vs = 600/700 m/sec.

**Effetti attesi:** amplificazione per caratteristiche litologico stratigrafiche e variazione laterale del grado di rigidità, instabilità.

**Studi richiesti:** valutazione del coefficiente di amplificazione litostratigrafico, stima del grado di stabilità in condizioni statiche e dinamiche con metodo pseudostatico o dinamico.

**Microzonazione sismica:** approfondimenti di III° livello; nei casi di pendenza >15° valutazione dell'amplificazione per effetti della topografia.

FA.PGA: **2,1 – 2,2**

FA.IS 0,1 - 0,5 sec: **2,3 – 2,4**

FA.IS 0,5 - 1,0 sec: **1,5 – 1,6**

#### **7.4.1. Sintesi modello litostratigrafico**

Le colonne litostratigrafico-sismiche evidenziano generalmente risentimenti sismici inferiori, di grado molto basso – basso nelle litozone prevalentemente arenitico – arenacee – conglomeratiche; effetti di grado medio basso – basso, caratterizzano le unità litotecniche ad alternanze arenaceo pelitiche – calcareo marnose, marnoso siltose; le litozone principalmente argilloso – argillitiche denotano un risentimento sismico di medio grado e nel territorio di Marzabotto indicano effetti dell'azione sismica inferiori rispetto alle analoghe unità presenti negli adiacenti territori più ad occidente.

Le alternanze pelitico arenacee prevalentemente pelitiche evidenziano, risentimenti di intensità media – medio elevata.

Nelle aree nelle quali i depositi alluvionali di conoide alluvionale, assumono gli spessori maggiori (8–15 m) e per le zone con presenza di depositi di versante con spessori di 5/10 m, si riscontrano i risentimenti sismici di intensità relativa maggiori, da medi a medio elevati.

Le maggiori intensità dell'amplificazione sismica si rilevano nelle litozone ad intenso grado di fratturazione e nelle aree dove sono presenti accumuli di frana quiescente o attiva con spessori superiori a 10 ÷ 15 m.

Le caratteristiche dei tipi litologici presenti nel territorio di Marzabotto, principalmente arenacei – arenitici – marnoso siltoso sabbiosi, indicano un tipo di risentimento sismico prevalentemente di grado medio – medio basso. Fanno eccezione la fascia centrale, estesa sud nord, e quella al bordo orientale nelle quali si rinvengono coltri alluvionali di significativo spessore (8 – 12 m) su substrato a comportamento rigido, con effetti dell'amplificazione medi – medio elevati. Equivalenti risentimenti sono attesi nella fascia occidentale centro meridionale, estesa con andamento sub parallelo al T. Venola con diffusa presenza di depositi di versante si ed accumuli di frana che rivestono substrati a brecce argillose – marnoso argillosi – argillitici, nella fascia centrale orientale circa estesa secondo l'allineamento Marzabotto – Lama di Setta nella quale sono presenti litozone marnoso argillose – marnose.

## 8. SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

Il secondo livello approfondisce e definisce la suddivisione in dettaglio del territorio delle aree oggetto di microzonazione sismica individuate negli elaborati di primo livello (carta MOPS) con rideterminazione dei limiti delle aree in base alle condizioni litostratigrafiche e topografiche, spessori ed estensioni dei depositi di versante e dei corpi di frana, quando necessario, e la definizione in funzione di un indice quantitativo, in base alle sopradescritte condizioni, dell'amplificazione sismica attesa ( $T_r = 475$  anni;  $\zeta = 5\%$ ) in questa fase dello studio determinata con approccio semplificato utilizzando le tabelle dell'allegato A2.1.1 della DGR 630/2019.

### A2.1.1 - APPENNINO

Le tabelle relative al settore appenninico sono il riferimento per la stima semplificata dell'amplificazione stratigrafica nelle aree collinari e montane dell'Emilia-Romagna. Possono essere applicate anche nelle aree di pianura prossime al margine morfologico appenninico-padano dove le coperture detritiche continentali hanno spessore indicativamente non superiore a 50 m.

In caso di **coperture direttamente poggianti su substrato rigido**, ovvero *bedrock* sismico, generalmente caratterizzato da  $V_s \geq 800$  m/s, si devono usare le seguenti tabelle

$V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,8	1,7	1,4	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
10	2,0	2,0	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
15	2,0	2,0	2,0	1,9	1,8	1,6	1,4	1,3	1,2	1,0
20	2,0	2,0	2,0	2,0	1,9	1,7	1,6	1,4	1,3	1,0
25	2,0	2,0	2,0	1,9	1,8	1,8	1,6	1,5	1,3	1,0
30		1,9	1,9	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,2
35		1,9	1,9	1,9	1,9	1,7	1,6	1,4	1,4	1,2
40		1,9	1,9	1,9	1,9	1,7	1,6	1,4	1,4	1,2
50		1,9	1,9	1,9	1,9	1,8	1,6	1,4	1,4	1,2

Fattore di Amplificazione **PGA**

$V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,7	1,4	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
10	2,1	2,0	1,7	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0
15	2,2	2,2	2,0	1,8	1,5	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0
20	2,2	2,2	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,3	1,1	1,1
25	2,2	2,2	2,2	2,1	1,9	1,7	1,6	1,4	1,3	1,1
30		2,2	2,2	2,1	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3	1,2
35		2,1	2,1	2,1	2,1	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2
40		2,1	2,1	2,1	2,0	1,9	1,7	1,6	1,4	1,2
50		2,0	2,0	2,0	2,0	1,9	1,7	1,6	1,5	1,2

Fattore di Amplificazione **SAI** ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ )

*Appennino, coperture su substrato rigido*

V <sub>SH</sub> (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
10	1,5	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
15	2,2	1,8	1,4	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
20	2,8	2,5	1,9	1,4	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0
25	2,9	2,8	2,4	1,7	1,4	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0
30		3,0	2,7	2,0	1,7	1,4	1,3	1,2	1,1	1,0
35		3,1	2,9	2,4	1,9	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1
40		3,1	3,0	2,6	2,2	1,9	1,6	1,4	1,2	1,1
50		2,9	2,9	2,7	2,5	2,2	1,9	1,6	1,4	1,2

Fattore di Amplificazione **SA2** (0,4s ≤ T ≤ 0,8s)

V <sub>SH</sub> (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
10	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
15	1,4	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
20	2,0	1,5	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
25	2,7	1,9	1,5	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0
30		2,5	1,8	1,4	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0
35		3,1	2,3	1,5	1,3	1,2	1,2	1,1	1,1	1,0
40		3,4	2,9	1,9	1,5	1,3	1,2	1,2	1,1	1,0
50		3,5	3,3	2,8	1,8	1,6	1,4	1,3	1,2	1,1

Fattore di Amplificazione **SA3** (0,7s ≤ T ≤ 1,1s)

*Appennino, coperture su substrato rigido*

V <sub>SH</sub> (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,5	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
10	2,1	2,0	1,6	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
15	2,4	2,3	2,1	1,7	1,4	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0
20	2,4	2,4	2,3	2,0	1,7	1,5	1,3	1,2	1,1	1,0
25	2,4	2,4	2,4	2,2	1,9	1,7	1,5	1,3	1,2	1,0
30		2,4	2,4	2,3	2,1	1,8	1,6	1,5	1,3	1,1
35		2,3	2,3	2,3	2,2	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2
40		2,2	2,2	2,2	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2
50		2,1	2,1	2,1	2,1	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3

Fattore di Amplificazione **SI1** (0,1s ≤ T ≤ 0,5s)

V <sub>SH</sub> (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
10	1,3	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
15	1,6	1,4	1,2	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
20	2,6	1,9	1,5	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
25	2,9	2,5	1,9	1,4	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0
30		2,9	2,3	1,6	1,4	1,2	1,1	1,1	1,0	1,0
35		3,2	2,8	1,9	1,5	1,4	1,2	1,1	1,1	1,0
40		3,4	3,1	2,4	1,8	1,5	1,4	1,2	1,1	1,0
50		3,2	3,2	2,9	2,2	1,9	1,6	1,4	1,3	1,1

Fattore di Amplificazione **SI2** (0,5s ≤ T ≤ 1,0s)

In caso di coperture su substrato non rigido, vale a dire caratterizzato da  $V_s \ll 800$  m/s, si devono usare le seguenti tabelle

$V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2,3	2,0	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	1,2	
10	2,3	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,3	1,3	1,2	
15	2,2	2,2	2,1	2,0	1,8	1,6	1,4	1,3	1,2	
20	2,1	2,1	2,1	2,0	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2	
25	2,1	2,1	2,1	2,0	1,9	1,8	1,6	1,4	1,3	
30		2,1	2,1	2,0	1,9	1,8	1,6	1,4	1,3	
35		2,1	2,1	2,0	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2
40		2,0	2,0	2,0	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2
50		1,9	1,9	1,9	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2

Fattore di Amplificazione **PGA**

$V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2,2	1,8	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,2	
10	2,5	2,3	1,9	1,7	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2	
15	2,5	2,5	2,2	1,9	1,7	1,5	1,4	1,3	1,2	
20	2,4	2,4	2,3	2,1	1,8	1,6	1,5	1,3	1,3	
25	2,4	2,4	2,3	2,2	2,0	1,7	1,6	1,4	1,3	
30		2,3	2,3	2,2	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3	
35		2,2	2,2	2,2	2,1	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2
40		2,1	2,1	2,1	2,1	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2
50		2,0	2,0	2,0	2,0	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2

Fattore di Amplificazione **SA1** ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ )

*Appennino, coperture su substrato non rigido*

$V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,6	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	
10	2,3	1,8	1,5	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	
15	2,8	2,3	1,9	1,5	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	
20	3,2	2,9	2,3	1,8	1,5	1,5	1,4	1,4	1,3	
25	3,4	3,2	2,7	2,0	1,7	1,5	1,5	1,4	1,3	
30		3,3	2,9	2,3	1,9	1,6	1,5	1,4	1,4	
35		3,3	3,0	2,5	2,1	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2
40		3,2	3,1	2,7	2,3	2,0	1,7	1,5	1,4	1,2
50		3,0	3,0	2,8	2,5	2,2	1,9	1,7	1,5	1,3

Fattore di Amplificazione **SA2** ( $0,4s \leq T \leq 0,8s$ )

$V_{SH}$ (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	
10	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	
15	1,9	1,7	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	
20	2,4	2,1	1,6	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	
25	3,4	2,5	1,9	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	
30		3,0	2,3	1,7	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3	
35		3,3	2,7	1,9	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,1
40		3,6	3,1	2,2	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2
50		3,6	3,4	2,9	2,1	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2

Fattore di Amplificazione **SA3** ( $0,7s \leq T \leq 1,1s$ )

*Appennino, coperture su substrato non rigido*

V <sub>SH</sub> (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2,1	1,7	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	
10	2,6	2,3	1,9	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	1,3	
15	2,7	2,6	2,3	1,9	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3	
20	2,6	2,6	2,4	2,1	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	
25	2,6	2,6	2,5	2,3	2,0	1,7	1,6	1,4	1,3	
30		2,4	2,4	2,3	2,1	1,8	1,6	1,5	1,3	
35		2,4	2,4	2,3	2,2	1,9	1,7	1,5	1,4	1,2
40		2,2	2,2	2,2	2,2	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2
50		2,1	2,1	2,1	2,1	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3

Fattore di Amplificazione **SI1** (0,1s≤T≤0,5s)

V <sub>SH</sub> (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	
10	1,8	1,6	1,4	1,4	1,3	1,4	1,3	1,3	1,3	
15	2,3	1,9	1,6	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	
20	2,9	2,6	1,9	1,6	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3	
25	3,6	3,0	2,3	1,7	1,5	1,4	1,4	1,4	1,3	
30		3,3	2,7	1,9	1,7	1,5	1,4	1,4	1,3	
35		3,5	3,0	2,2	1,8	1,6	1,5	1,4	1,3	1,1
40		3,5	3,2	2,6	2,0	1,8	1,6	1,5	1,4	1,2
50		3,3	3,3	3,0	2,4	2,0	1,8	1,6	1,5	1,3

Fattore di Amplificazione **SI2** (0,5s≤T≤1,0s)

In caso di **substrato marino non rigido**, cioè caratterizzato da  $V_s \ll 800$  m/s, **affiorante o subaffiorante** (copertura di spessore inferiore a 3 m) si devono usare le seguenti tabelle

V <sub>S30</sub> (m/s) →	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	
PGA						1,9	1,8	1,6	1,4	1,2	1,1

Fattore di Amplificazione **PGA**

V <sub>S30</sub> (m/s) →	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	
SA1						1,9	1,7	1,6	1,4	1,2	1,1
SA2						1,7	1,6	1,5	1,4	1,3	1,3
SA3						1,4	1,4	1,3	1,3	1,3	1,2

Fattori di Amplificazione **SA1** (0,1s≤T≤0,5s), **SA2** (0,4s≤T≤0,8s), **SA3** (0,7s≤T≤1,1s)

V <sub>S30</sub> (m/s) →	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700	
SI1						1,9	1,7	1,6	1,4	1,3	1,2
SI2						1,5	1,5	1,4	1,4	1,3	1,3

Fattori di Amplificazione **SI1** (0,1s≤T≤0,5s), **SI2** (0,5s≤T≤1,0s)

Contestualmente alla classificazione del territorio con detta analisi sismica, le elaborazioni individuano le aree soggette alle integrazioni di terzo livello approfondimento.



### **8.1. CARTA DELLE NUOVE INDAGINI**

Detto elaborato (Tav. 2.1) visualizza l'ubicazione delle precedenti nuove verticali di indagine geofisica: MASW/Re.Mi. – HVSR effettuate nelle analisi di MS2, per la microzonazione delle aree urbanizzate, di previsto nuovo insediamento, principali infrastrutture e di quelle eseguite negli ambiti oggetto dei locali approfondimenti di MS3.

La simbologia e caratteristiche degli elementi riportati in carta, relative ai punti di indagine sono conformi allo standard di rappresentazione e archiviazione informatica previste nell'allegato della Commissione Tecnica per il monitoraggio degli studi di Microzonazione Sismica (Art. 5, comma 7 dell'OPCM 13/11/2010, n° 3907) Standard versione 4.1.

La carta ubicazione nuove indagini visualizza i siti di esecuzione delle stesse nel territorio, ad integrazione di quelle effettuate in precedenza da AA.VV, per l'individuazione dei fattori di amplificazione che competono alle varie aree esaminate.

Dette prospezioni coprono il territorio comunale sede dei principali insediamenti urbanizzati secondo una maglia sub quadrata con interassi mediamente equivalenti a 200/300 m nell'area capoluogo e nei principali insediamenti urbanizzati.

Nelle aree oggetto di MS3 gli interassi di indagine corrispondono a  $100/120 \div 150$  m

In funzione dei tipi di substrato e depositi di versante e di frana investigati, rapportati alla differenziazione litotecnica e sismica delle successioni e formazioni che costituiscono il territorio di Marzabotto, i parametri sismici ottenuti dalle analisi sviluppate nelle aree degli sviluppi sono attendibilmente attribuibili anche alle zone extra urbanizzato.

### **8.2. CARTA DELLE VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO S (VS)**

La carta delle velocità delle onde di taglio: Vs (Tav. 1.5 scala 5:000) riporta in corrispondenza dei punti di indagine compresi negli sviluppi i valori di velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio e relativi spessori:  $V_{sH}$ , che caratterizzano le litozone soggiacenti i primi 1,5 m dal piano campagna costituiti dal suolo e/o litotipi alterati – detensionati o da -3 m pc in condizioni substrato sub affiorante; tali parametri individuano i valori che competono allo spessore di terreni – rocce detensionate, soggetti ad amplificazione del moto sismico, che sovrastano l'orizzonte litotecnico che determina il principale contrasto di impedenza locale.

I valori di Vs sono stati calcolati in base a dati acquisiti con indagini:

- Refraction Microtremor/Multichannel Analysis Surface Waves: Re.Mi./MASW
- MASW
- Horizontal to Vertical Spectral Ratio: HVSR, in rapporto a prove DPSH – DPM – CPT Rm. o sondaggi meccanici prossimi, prospezioni Re.Mi./MASW coincidenti o prossime.

In riferimento ai valori di velocità Vs calcolati come sopra indicato (MASW/Re.Mi.) ed all'analisi critica delle prove CPT, DPSH e sondaggi meccanici disponibili, dalla rilevazione in spaccati di sezioni naturali dei versanti, è stato possibile estendere l'informazione sulla profondità H del substrato rigido avvalendosi della relazione che collega la frequenza di

risonanza con la profondità del substrato a comportamento più rigido e la velocità media delle onde S:

$$F_0 = V_s/4H$$

Ai valori di  $F_0$  determinati mediante la campagna di misure a stazione singola è stato attribuito un intervallo di valori e velocità nel quale probabilmente ricadono H e  $V_sH$ .

In generale le elaborazioni delle acquisizioni effettuate hanno evidenziato:

*Terreni di copertura:*

- Depositi di versante sl. (a3, a4, d6)  
 $V_s = 230 \div 260$  m/sec;
- Accumuli di frana (a2b, a2d, a2g, a2d) ÷ spessori 8/10 m ÷ 15 m  
 $V_s = 200/250 \div 300/350$  m/sec
- Depositi alluvionali – conoidi alluvionali;  
 $V_s = 250/300 \div 400/450$  m/sec

*Unità Marine di Transizione:*

- Prevalentemente arenaceo conglomeratiche  
 $V_s = 500 \div 650/750$  m/sec
- Prevalentemente arenaceo conglomeratiche fratturate  
 $V_s = 450$  m/sec

*Formazioni Epiliguri:*

- Prevalentemente marnose – siltoso – sabbiose – pelitico – arenacee  
 $V_s = 500/550 \div 600/650$  m/sec
- Prevalentemente arenaceo pelitiche – arenacee – arenitiche  
 $V_s = 600/700 \div 750/>800$  m/sec
- Prevalentemente marnose – marnoso pelitiche – argillitiche  
 $V_s = 450 \div 600$  m/sec

*Rocce fratturate - detensionate*

- Prevalentemente arenacee – arenaceo pelitiche – arenitiche  
 $V_s = 300/350 \div 450$  m/sec
- Prevalentemente marnose pelitico siltose – sabbiose  
 $V_s = 300/350 \div 400$  m/sec

### **8.3. CARTA DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE – MICROZONAZIONE SISMICA**

Gli sviluppi delle aree oggetto di microzonazione sismica di secondo livello di approfondimento individuano aree a comportamento sismico equivalente, attribuendo alle stesse indici quantitativi che definiscono in base alle condizioni stratigrafiche e topografiche l'amplificazione sismica attesa ( $T_r = 475$  anni;  $\zeta = 5\%$ ).

Ad ognuna delle microzone individuate sono assegnati valori dei Fattori di Amplificazione (F.A.) calcolati mediante appositi abachi predisposti della Regione Emilia

Romagna: Allegato A2.1.1 DGR 630/2019 – 1238/2020. In detti abachi i dati di ingresso sono funzione del contesto geomorfologico di riferimento, del tipo di substrato geologico, dello spessore e variabilità laterale delle coperture ove presenti, dello spessore delle unità litotecniche detensionate o fratturate.

Le caratteristiche delle successioni litotecniche e dei valori di Vs che competono alle stesse, compendiate dai relativi valori dei fattori di amplificazione  $FA_{PGA}$ ,  $FH_{0.1-0.5 s}$ ,  $FH_{0.5-1.0 s}$ ,  $FA_{0.1-0.5 s}$ ,  $FA_{0.4-0.8 s}$ ,  $FA_{0.7-1.1 s}$ ,  $H_{SM}$ , riferiti alle microzone individuate, sono visualizzate nelle allegate tavole da 2.2 a 2.8.

Le microzone sono suddivise in

- zone stabili
- zone stabili suscettibili di amplificazione locale
- zone di attenzione per instabilità

Dette zone sono campite in colori diversi e differenti simbologie.

Nelle microzone con presenza di creste e/o scarpate e di versanti con pendenza maggiore di 15°, sono stati determinati i fattori di amplificazione per effetti della topografia, con le procedure previste al punto 2.5.4.2 e relativi abachi delle *Linee Guida II degli ICMS*; tali parametri sono stati utilizzati come moltiplicatore del fattore di amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche visualizzando nelle carte dei fattori di amplificazione PGA, FH, FA, il valore che congloba detti parametri.

I valori dei fattori di amplificazione di P.G.A., FH, FA,  $H_{SM}$  individuati che competono alle microzone determinate, evidenziano comportamenti di risposta sismica differenziati in rapporto alle caratteristiche litologiche, tipo di coperture e spessori di loro pertinenza, grado di fratturazione del substrato.

Tale diversità si rimarca anche in funzione del grado di rigidità che contraddistingue il substrato sul quale giacciono le coperture detritiche quaternarie: depositi di versante sl, ed eluvio – colluviali, detriti di falda, e denotano accentuate differenze in concomitanza degli accumuli di frana con spessori maggiori: 8 ÷ 10 m e depositi di versante con potenze di 6 ÷ 8 m, orizzonti di roccia detensionata/fratturata con potenze di 10/15 ÷ 30/35 m.

In linea generale si riscontra che i membri costituiti in prevalenza da arenarie, torbiditi arenacee – arenaceo pelitiche della Successione Epiligure (CIG2 – PAT – ANT4 – LOI), e principalmente arenacee – arenaceo conglomeratiche della successione Neogenica Quaternaria (ADO1 – RUM1), denotano fattori di amplificazione corrispondenti a  $FA_{PGA} = 1,0$ ;  $FH_{0.1-0.5 s} = 1,0$ ;  $FH_{0.5-1.0 s} = 1,0$ ;  $FA_{0.1-0.5 s} = 1,0$ ;  $FA_{0.4-0.8 s} = 1,0$ ;  $FA_{0.7-1.1 s} = 1,0$ .

Analoghe risposte sismiche evidenziano le zone dove i depositi alluvionali presentano ridotti spessori  $h < 3/4$  e coprono un substrato prevalentemente arenaceo a basso grado di fratturazione con spessori d 4/5 m, che mostrano  $FA_{PGA}$ ,  $FH_{0.1-0.5 s}$ ,  $FH_{0.5-1.0 s}$ ,  $FA_{0.1-0.5 s}$ ,  $FA_{0.4-0.8 s}$ ,  $FA_{0.7-1.1 s}$ , uguali a 1,0.

Le litozone della Successione Epiligure che si arricchiscono in intercalazioni pelitico siltose o in componenti marnoso siltose evidenziano risentimenti sismici diversi ed assumono

fattori di amplificazione  $FA_{PGA}=1,3\div 1,5$ ;  $FH_{0,1-0,5s}=1,3\div 1,5/1,6$ ;  $FH_{0,5-1,0s}=1,3/1,4$ ;  $FH_{0,1-0,5s}=1,5/1,8$ ;  $FA_{0,4-0,8s}=1,2/1,3$ ;  $FA_{0,7-1,1s}=1,0/1,3$ .

Si differenziano nel comportamento sismico le formazioni prevalentemente marnoso argillose, a brecce argillose, marnoso argillose che evidenziano  $FA_{PGA}=1,7\div 1,8$ ;  $FH_{0,1-0,5s}=1,7/1,8$ ;  $FH_{0,5-1,0s}=1,1\div 1,4$ ;  $FA_{0,1-0,5s}=1,7/1,8$ ;  $FA_{0,4-0,8s}=1,2/1,4$ ;  $FA_{0,7-1,1s}=1,0/1,3$ .

Le differenze del risentimento sismico relativamente più accentuate nel territorio urbanizzato di Marzabotto sono correlate alla presenza e spessore dei depositi alluvionali maggiori di 10 m che mostrano fattori di amplificazione diversificati corrispondenti ad  $FA_{PGA}=1,2\div 1,6/1,7$ ;  $FH_{0,1-0,5s}=1,2\div 1,5$ ;  $FH_{0,5-1,0s}=1,0\div 1,4$ ;  $FA_{0,1-0,5s}=1,3\div 1,6$ ;  $FA_{0,4-0,8s}=1,0\div 1,1$ ;  $FA_{0,7-1,1s}=1,0$ .

Risentimenti sismici maggiori denotano i depositi di versante che sono caratterizzati da  $FA_{PGA}=1,7\div 2$ ;  $FH_{0,1-0,5s}=1,5\div 1,7/1,9$ ;  $FH_{0,5-1,0s}=1,1/1,2\div 1,4/1,5$ ;  $FA_{0,1-0,5s}=1,8\div 1,9$ ;  $FA_{0,4-0,8s}=1,4\div 1,5$ ;  $FA_{0,7-1,1s}=1,3\div 1,4$ .

Simili comportamenti di risposta sismica presentano gli accumuli di frana generalmente contraddistinti da  $FA_{PGA}=1,9\div 2,0/2$ ;  $FA_{0,1-0,5s}=1,8\div 2,3$ ;  $FA_{0,4-0,8s}=1,1\div 1,4/1,8$ ;  $FA_{0,7-1,1s}=1,0/1,2\div 1,5$ .

I risentimenti sismici che inducono i fattori di amplificazione più elevati caratterizzano le zone interessate da deformazioni che hanno indotto medio elevati – elevati gradi di fratturazione, nelle quali  $FA_{PGA}=1,9\div 2,0$ ;  $FH_{0,1-0,5s}=2,3\div 2,4$ ;  $FH_{0,5-1,0s}=1,5/1,6\div 1,9/2$ ;  $FA_{0,1-0,5s}=2,3\div 2,4$ ;  $FA_{0,4-0,8s}=1,7/1,8\div 2,1/2,2$ ;  $FA_{0,7-1,1s}=1,5/1,6\div 1,9/2,0$ .

#### **8.4. Carta dei fattori di amplificazione dell'accelerazione massima orizzontale F.a.P.G.A.**

Le elaborazioni di microzonazione sismica evidenziano generalmente risentimenti sismici di bassa intensità relativamente ai fattori di amplificazione dell'accelerazione di gravità, nei settori nei quali è praticamente affiorante il substrato rigido, quali le fasce ad ovest di via Medelana a nord ovest del capoluogo, la zona centrale allungata sud nord di Panico, il settore orientale di Sirano, quelli nord occidentali di Lama di Reno, Gardelletta ed occidentale settentrionale di Allocco di Sopra, nei quali  $FA_{PGA}=1,0$ . I settori a sud di via F. Calzolari, a ovest di via A. Gramsci, a nord del centro sportivo nella fascia ad est della ferrovia BO – Fi, zone occidentali dello sviluppo capoluogo, occidentali di Sirano, sud occidentale di Gardelletta, fascia sud occidentale di Lama di Reno, sono contraddistinti da fattori di amplificazione medio bassi  $FA_{PGA}=1,2\div 1,4$ ; fattori di amplificazione medi  $FA_{PGA}=1,5\div 1,6$  caratterizzano la fascia tra via A. Nerozzi e via A. Gramsci e fascia tra la ferrovia BO – FI e S.S. 64 Porrettana a nord del Rio del Piantone dello sviluppo capoluogo, la zona centrale meridionale di Sibano, centrale – centro orientale di Lama di Reno, sud orientale di Gardelletta, settentrionale e centrorientale di Sperticano, la prevalente area di Pioppe di Salvaro, orientale e centrale meridionale di Allocco di Sopra, centro sud orientale di Pian di Venola.

I fattori di amplificazione medio elevati – elevati;  $FA_{PGA}=1,7\div 2,0$  si riscontrano nella parte centro settentrionale del capoluogo nord di via Musolesi, sud di polisportiva di Marzabotto, settentrionale ed occidentale di Pian di Venola, occidentale di Sirano, la prevalente area di Sibano e Sperticano, zone centrali di Panico, settore orientale settentrionale di Allocco di Sopra.

### **8.5. Carta dei fattori di amplificazione di intensità di Housner in termini velocità nell'intervallo $FH\ 0,1 < T < 0,5\ sec.$**

Tipi di risentimento sismico molto simili a quelli della  $FA_{PGA}$  evidenzia la distribuzione territoriale dei fattori di amplificazione  $FH$  nell'intervallo  $0,1 < T < 0,5\ sec.$ , che denota generalmente amplificazioni di bassa intensità nei settori nei quali è praticamente affiorante il substrato rigido, quali le zone a sud ed a nord dell'area urbanizzata del capoluogo, la fascia sud nord centro orientale di Sibano, la fascia centrale e parte nord orientale di Pian di Venola.

La parte centro settentrionale di Panico, i settori di Pian di Venola di Pioppe di Salvaro, la zona nord occidentale di Pian di Venola, la parte meridionale occidentale e la fascia settentrionale di Gardelletta sono contraddistinte da  $FH = 1,0 \div 1,1$ ; fattori di amplificazione di intensità medio bassa caratterizzano la zona del capoluogo ad est della ferrovia BO-FI, la fascia orientale di Sirano, la fascia occidentale di Panico, la parte occidentale centro meridionale di Pian di Venola, la zona sud orientale di Allocco di Sopra, la zona nord di Sperticano, le fasce nord occidentali e la parte sud orientale di Lama di Reno, che sono contraddistinte da  $FH = 1,2 \div 1,4$ .

Fattori di amplificazione di media intensità:  $FH = 1,5 \div 1,6$  caratterizzano l'area del capoluogo ad ovest della ferrovia BO-FI e quella settentrionale dello sviluppo Marzabotto, la fascia centrale di Sirano, il settore orientale centro meridionale di Panico, la parte meridionale e centro meridionale di Pian di Venola, il settore orientale di Sibano, la zona occidentale e settentrionale di Pioppe di Salvaro, le aree orientali e meridionali centrali di Allocco di Sopra, le zone centro orientali – sud orientali di Gardelletta, la prevalente area di Sperticano, la zona sud ovest – nord est centro meridionale di Lama di Reno.

Fattori di amplificazione medio elevati con  $FH = 1,7 \div 1,8$  caratterizzano la fascia centrale settentrionale dello sviluppo Marzabotto tra la ferrovia BO – FI e la SS 64 Porrettana, l'area a nord ovest di Sirano, zona occidentale di Sibano, settore sud orientale di Sperticano.

I fattori di amplificazione elevati:  $FH = 1,9 \div 2,0$  in genere caratterizzano zone in presenza di depositi di versante con spessori maggiori di 10 m e/o aree con presenza di frana, quelli di maggior estensione si riscontrano nella fascia occidentale di Sirano, nel settore sud ovest – nord est centro meridionale di Sperticano, nell'area nord est di Pian di Venola. In quest'ultima località la parte settentrionale, zona a nord della scuola materna – via Varsavia, è contraddistinta da fattori di amplificazione molto elevati:  $FH = 2,3 \div 2,4$ .

### **8.6. Carta dei fattori di amplificazione di intensità di Housner in termini di velocità nell'intervallo $FH\ 0,5 < T < 1,0\ sec.$**

La distribuzione territoriale dei risentimenti sismici nell'intervallo  $FH: 0,5 < T < 1,0\ sec.$ , nel quale prevale il tipo di comportamento del substrato rispetto a quello delle coperture, è simile a quelle della  $FA_{PGA}$  e  $FH\ 0,1-0,5\ sec.$  come denotano i minimi di  $FH = 1,0 \div 1,1$  della prevalente parte dello sviluppo Marzabotto con eccezione della parte occidentale dell'urbanizzato del capoluogo e fascia centrale settentrionale estesa sud nord tra la ferrovia BO-FI e la S.S. Porrettana a nord del Rio del Piantone; analoghi fattori  $FH = 1,0 \div 1,1$

caratterizzano la fascia orientale di Sirano, l'area occidentale estesa sud nord di Panico, il settore orientale meridionale di Pian di Venola, la parte orientale di Sibano, le zone settentrionali e sud orientali di Pioppe di Salvaro, l'area centrale – centro settentrionale di Allocco di Sopra, la zona sud occidentale e nord di Gardelletta, l'area settentrionale di Sperticano, i settori nord occidentale e la parte meridionale di Lama di Reno.

Fattori di amplificazione di medio bassa intensità  $FH=1,2\div 1,4$  caratterizzano la parte occidentale dell'urbanizzato del capoluogo: zona ad ovest di via A. Nerozzi, e la fascia centrale sud nord a settentrione del Rio del Piantone compresa tra la ferrovia BO-FI e la S.S. 64 Porrettana; analoghe caratteristiche con prevalenza di  $FH=1,4$  evidenzia la fascia centrale meridionale estesa sud nord di Sirano, la fascia orientale di Panico, la zona centro settentrionale di Pian di Venola, la fascia centrale ovest est di Pioppe di Salvaro, il settore orientale di Allocco di Sopra, la zona centrale estesa sud ovest – nord est di Gardelletta, l'area centrale e meridionale di Sperticano, il settore centrale – orientale meridionale di Lama di Reno; fattori di amplificazione di intensità media:  $FH=1,5\div 1,6$  caratterizzano la fascia occidentale meridionale di Sirano, la zona settentrionale di Pian di Venola, il settore occidentale di Sibano, le aree della parte meridionale centrale di Allocco di Sopra, il settore sud orientale di Sperticano. Fattori di intensità medio elevata con  $FH=1,7\div 1,8$ , contraddistinguono le aree a nord di Pian di Venola e la fascia centrale estesa ovest – est di Sibano.

Fattori di amplificazione di elevata intensità caratterizzano fasce di moderata larghezza nelle quali sono presenti condizioni di substrato fratturato contraddistinte da  $FH > 1,9$  come osservabile per la fascia sud ovest – nord est che asseconda l'andamento di via Miana, nella fascia centrale estesa ovest est di Panico, nella fascia ovest est a nord di Cà Grande di Lama di Reno.

### **8.7. Carta dei fattori di amplificazione in termini accelerazione nell'intervallo FA 0.1<T<0.5 sec.**

Le distribuzioni territoriali di fattori di amplificazione dell'intensità sismica FA nell'intervallo  $0.1 < T < 0,5$  sec. sono molto simili a quelli di  $FH=0,1-0,5$  sec ma con valori leggermente maggiori; le zone che denotano amplificazioni molto basse  $FA=1,0\div 1,1$  caratterizzano la prevalente parte dello sviluppo Marzabotto ad eccezione dell'area centrale dell'urbanizzato del capoluogo e fascia centrale a nord del Rio del Piantone compresa tra la ferrovia BO – FI e la S.S. 64 Porrettana. Analoghe caratteristiche presentano la fascia centrale orientale estesa sud-nord di Sibano e quella centrale di Panico, le zone ai bordi orientali nord e sud di Pian di Venola, la fascia occidentale e zona sud est di Lama di Reno, l'area centro settentrionale di Sperticano, la zona meridionale e fascia settentrionale occidentale di Gardelletta. Amplificazioni di medio bassa intensità  $FA=1,2\div 1,4$ , si riscontrano nei settori orientali di Sirano e di Panico, zona centrale orientale di Pian di Venola, fascia sud orientale di Pioppe di Salvaro, zone nord di Allocco di Sopra, area settentrionale di Sperticano, settore sud di Lama di Reno.

Costituiscono aree interessate da medi valori dei fattori di amplificazione  $FA=1,5-1,6$ .

la parte centro orientale meridionale di Lama di Reno, il settore centro meridionale di Sirano, zona settentrionale di Pioppe di Salvaro e prevalente area di Sperticano, settore centro meridionale ed orientale e settentrionale centrale di Allocco di Sopra.

Le zone contraddistinte da fattori di amplificazione di intensità medio elevati  $FA=1.7/1.8\div 2.0$ , si rinvencono nella fascia centrale a nord del Rio del Piantone tra la ferrovia BO-FI e la S.S. 64 Porrettana, nella fascia con presenza di substrato fratturato estesa sud ovest-nord est assecondante via Miana a nord del capoluogo, nella zona meridionale ed occidentale di Pian di Venola, nel settore occidentale di Sirano e sud orientale di Panico, nella prevalente area di Sibano, nelle fasce della zona settentrionale di Allocco di Sopra, nel settore centro occidentale meridionale di Sperticano, nella fascia a substrato fratturato ovest est a nord di Cà Grande di Lama di Reno

### **8.8. Carta dei fattori di amplificazione in termini di accelerazione nell'intervallo $FA$ $0,4 < T < 0,8$ sec.**

I valori dei fattori di amplificazione di intensità sismica  $FA$  nell'intervallo  $0,4 < T < 0,8$  sec, indicano distribuzioni simili a quelle del campo precedentemente descritto  $FA$ : 0,1-0,5; si riscontano valori di intensità molto bassa  $FA=1,0$  per la prevalente parte dello sviluppo Marzabotto ad eccezione dell'urbanizzato del capoluogo e della fascia centrale a nord del Rio del Piantone compresa tra la ferrovia BO - FI e la S.S. 64 Porrettana. Analoghe caratteristiche denotano la parte settentrionale occidentale di Lama di Reno, la fascia orientale di Sirano e quella centrale e nord orientale di Panico, le zone centrali di Allocco di Sopra, l'area sud e fascia nord di Gardelletta. Simili caratteristiche evidenziano il settore centrale meridionale ed orientale della zona dell'urbanizzato del capoluogo ad est di via A. Gramsci, la zona nord occidentale di Sirano, le fasce centrali ed occidentali di Panico, le zone settentrionali di Sperticano e di Gardelletta, la parte orientale di Sibano, la prevalente area di Pioppe di Salvaro, dette zone sono caratterizzate da amplificazioni di bassa intensità  $FA=1.1\div 1,2$ .

Valori medi di amplificazione  $FA=1.5\div 1.6$  contraddistinguono l'area settentrionale di Pian di Venola, la parte ad occidente della S.S. Porrettana dell'area capoluogo, la zona centrale - occidentale di Sirano, il settore orientale - meridionale orientale di Lama di Reno, la zona occidentale di Sibano, le parti centrali e meridionali di Sperticano, l'area sud orientale di Panico, la fascia centro settentrionale di Pioppe di Salvaro, le zone centro meridionali ed orientali di Allocco di Sopra.

Gli areali con valori medio elevati - elevati dei fattori di amplificazione  $FA=1,8\div 2,0\div 2,3$  generalmente caratterizzano fasce correlate ad intensa fratturazione rinvenibili in modeste porzioni nella parte settentrionale di Lama di Reno, al bordo occidentale di Sibano, nella zona nord occidentale di Allocco di Sopra, nella fascia occidentale centrale di Sirano, nel settore centrale di Panico. Nella zona settentrionale di Pian di Venola detti valori, che interessano areali di maggiore estensione, sono correlabili a presenza di substrato intensamente fratturato.

### **8.9. Carta dei fattori di amplificazione in termini di accelerazione nell'intervallo FA 0,7<T<1,1 sec.**

I valori dei fattori di amplificazione FA nell'intervallo 0,7<T<1,0 sec indicano distribuzioni territoriali simili equivalenti a quelle di campo FH: 0,5–1: tale intervallo, nel quale prevale il comportamento sismico del substrato rispetto a quello delle coperture, evidenzia valori di intensità molto bassa FA=1,0 per la prevalente parte dello sviluppo Marzabotto ad eccezione dell'urbanizzato del Capoluogo e fascia centrale a nord del Rio del Piantone compresa tra la ferrovia BO – FI e la S.S. 64 Porrettana. Analoghe caratteristiche presenta la fascia centro occidentale – settentrionale di Lama di Reno, la zona meridionale e fascia nord ovest di Gardelletta, le aree meridionali orientali e settentrionali di Pioppe di Salvaro, le parti centrali e centro settentrionali di Allocco di Sopra, quelle orientali di Sibano e settentrionali di Sperticano, le zone sud orientali di Pian di Venola, le aree occidentali e settentrionali di Panico, le parti settentrionali ed orientali di Sirano. Simili caratteristiche evidenziano il settore meridionale occidentale di Pian di Venola, la fascia orientale e zona nord di Sirano, la fascia centrale di Panico, l'area occidentale settentrionale di Gardelletta, nelle quali FA=1,1÷1,2.

Valori medio bassi di amplificazione FA=1,3/1,4 caratterizzano la parte settentrionale di Pian di Venola, la fascia centrale ad ovest della S.S 64 Porrettana dell'area capoluogo, il settore centrale – centro occidentale esteso sud nord di Sirano, la parte centrale estesa sudo ovest – nord est e sud orientale di Lama di Reno, la zona centro occidentale ed occidentale di Sibano, le aree centrali e centro meridionali di Sperticano, il settore orientale centrale e meridionale di Panico, la fascia centro settentrionale di Pioppe di Salvaro, le zone orientali e centro meridionali di Allocco di Sopra.

Gli areali con valori medio elevati – elevati dei fattori di amplificazione FA=1,7÷1,9÷2,0 generalmente caratterizzano fasce correlate ad intensa fratturazione rinvenibili nelle zone di: Lama di Reno nord, settore occidentale di Sibano, fascia nord di Allocco di Sopra, settore centrale ovest est di Panico e fascia centro settentrionale estesa sud ovest–nord est assecondante via Miana a nord del capoluogo. Nella zona settentrionale di Pian di Venola tali valori maggiori sono correlabili alla presenza di substrato intensamente fratturato.

### **8.10. LIVELLO DI PERICOLOSITA' SISMICA H<sub>SM</sub>**

In funzione dei valori dei fattori, di amplificazione in termini di accelerazione FA e dei parametri della griglia Ag-ASI – INGV sono state determinati i valori del livello di pericolosità sismica (Naso et Alii; 2019) mediante la relazione:

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

nelle quale il valore ASI di griglia definito per l'intervallo 0,1<T<0,5 sec è corrispondente a 4 sec.

Le classi delle soglie di pericolosità sismica adottate sono riferite a quelle proposte in “Maps for land management: from geological to seismic hazard (Naso, Martelli et Alii; 2019)” ed in “Lo stato dell'arte della microzonazione sismica in Italia e prospettive future” (G. Naso; 2019;



BO – RER). Le classi di  $H_{SM}$  sono state determinate in base ai parametri FA incrementati dai fattori di amplificazione per effetti della topografia.

### **8.11. Carta del livello di pericolosità nell'intervallo $H_{SM}$ : $0,1 < T < 0,5$ sec**

La distribuzione territoriale dei valori di  $H_{SM}$  nell'intervallo  $0,1 < T < 0,5$  sec denota un elevato grado di corrispondenza con quelle di FA ed FH di tale intervallo.

La maggior parte dell'area compresa nello sviluppo Marzabotto appartiene alla classe moderata di grado basso:  $H_{SM}=355 \div 400$  cm/sec<sup>2</sup> ad eccezione dell'urbanizzato del capoluogo attribuibile alla classe moderata  $H_{SM}=480 \div 580$  cm/sec<sup>2</sup>. La fascia centrale della zona a settentrione del Rio del Piantone – via Caduti della Libertà con  $H_{SM}=600 \div 675$  cm/sec<sup>2</sup> è correlabile alla classe alta. In tale area si riscontrano i valori maggiori con  $H_{SM}=700 \div 850$  cm/sec<sup>2</sup> in corrispondenza di accumuli di frana e zone di substrato fratturato nella fascia sub parallela via Miana.

Analoghe condizioni contraddistinguono Lama di Reno, Gardelletta, Pioppe di Salvaro, Allocco di Sopra, Panico, Sperticano con prevalente  $H_{SM}=350 \div 550$  cm/sec<sup>2</sup> e subordinate zone a pericolosità alta in corrispondenza di accumuli di frana o di substrati a brecce argillose, aree di substrato fratturato come nel caso della fascia orientale centrale di Panico e quella a nord di Cà Grande di Lama di Reno. Tali caratteristiche presentano anche i depositi alluvionali con spessori di 10/12 e le aree con equivalenti spessori di depositi di versante in substrato detensionato di Sperticano. Simili situazioni si riscontrano per gli sviluppi di Sirano e Pian di Venola nei quali però la percentuale delle zone a pericolosità alta, anche se inferiore: circa 30/40% del totale, è sensibilmente più estesa rispetto agli sviluppi sopra descritti; in tali ambiti le aree con  $H_{SM} > 650$  cm/sec<sup>2</sup> sono caratterizzate da depositi con spessori 13/16 m ed in Pian di Venola inoltre dalla presenza di substrato fratturato; in quest'ultima si riscontrano zona di limitata estensione areale a pericolosità molto alta,  $H_{SM}=900$  cm/sec<sup>2</sup>, nella parte settentrionale.

Si differenzia dalle aree sopra descritte la zona di Sibano prevalentemente contraddistinta da classe di pericolosità alta  $H_{SM} > 600$  cm/sec<sup>2</sup> correlata alla presenza di depositi di versante, di depositi alluvionali e di conoide con spessori di 10/15 m, orizzonti di substrato detensionato che giungono a -25 m pc.

**8.12. RISENTIMENTO SISMICO - PERIODO FONDAMENTALE DI VIBRAZIONE PER MACRO-TIPOLOGIE DI FABBRICATI**

- Fabbricati aventi periodo di vibrazione compreso nell'intervallo 0,1–0,3 sec. (ricadono in questo intervallo le tipologie edilizie prevalenti nel settore "civile" realizzate con qualsiasi tipologia costruttiva, aventi max 3/4 piani)<sup>1</sup>
- Fabbricati aventi periodo di vibrazione compreso nell'intervallo 0,3–0,5 sec. (ricadono in questo intervallo la più comuni strutture a telaio in cls a 4/6 piani, e per estensione anche le prefabbricate tipiche del settore produttivo/manifatturiero commerciale/industriale aventi altezza sotto trave inferiore a sette metri).
- Fabbricati aventi periodo di vibrazione compreso nell'intervallo 0,5–1,0 sec. (ricadono in questo intervallo le tipologie edilizie a torre tipicamente realizzate a telaio in cls, fabbricati di oltre 6 piani e produttivi con altezza sotto trave maggiore di 8 m, e per estensione magazzini verticali e manufatti alti e stretti quali campanili/torri, silos, torri di acquedotto, ecc.)

Per i fabbricati che presentano periodo di vibrazione superiore a 1,0 sec sono da sviluppare approfondimenti mediante analisi di dettaglio della risposta sismica locale.

---

<sup>1</sup> Si fa riferimento al metodo di Analisi lineare statica previsto dalle vigenti NTC 2018 punto 7.3.3.2

## **9. TERZO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO**

I locali approfondimenti di terzo livello in accordo con l'U.T. dell'amministrazione comunale di Marzabotto, sono stati sviluppati per le aree con presenza di edifici di interesse strategico, di importanza rilevante, scuole medie e scuole materne di seguito elencate:

- Capoluogo: sede municipale, biblioteca comunale, scuole medie.
- Scuola materna, Lama di Reno
- Scuola materna di Pian di Venola
- Scuola materna di Pioppe di Salvaro

Le condizioni morfologiche e litologico stratigrafiche locali dei siti sopra esposti, sono state individuate in base alle prospezioni geofisiche direttamente eseguite e ad indagini geognostiche precedentemente effettuate da AA.VV. in corrispondenza di dette zone o in adiacenza delle stesse.

In funzione di quanto sopra esposto e del tipo di variabilità laterale degli spessori dei depositi che rivestono il substrato e dell'assetto dello stesso, sono state sviluppate le analisi di risposta sismica locale con codice di calcolo *Strata 1D* per i siti sede delle scuole materne e con codice di calcolo *LSR2D* per l'ambito capoluogo – sede municipale, biblioteca, scuole medie.

Per lo sviluppo delle analisi ed elaborazioni in prima fase sono stati censiti presso l'U.T. comunale – U.T. dell'Unione dei Comuni dell'Appennino Bolognese, rapporti recanti indagini geognostiche: sondaggi meccanici, prove penetrometriche statiche CPT.Rm, prove penetrometriche dinamiche super pesanti DPSH.

In seconda fase dette documentazioni sono state implementate dall'esecuzione diretta di 2 profili in tomografia sismica 2D, 2 profili in tomografia elettrica 2D, 4 prospezioni eseguite con acquisizioni ed elaborazioni con metodo integrato Re.Mi./MASW, 5 verticali a stazione singola con acquisizione di microtremori ambientali HVSR.

### **9.1. Definizione degli input sismici**

L'analisi della pericolosità sismica del territorio comunale è stata sviluppata in base al modello di studio – elaborazione per la definizione della pericolosità sismica a scala locale proposto da *Marcellini et alii (1998)*<sup>2</sup>.

Tale schema prevede:

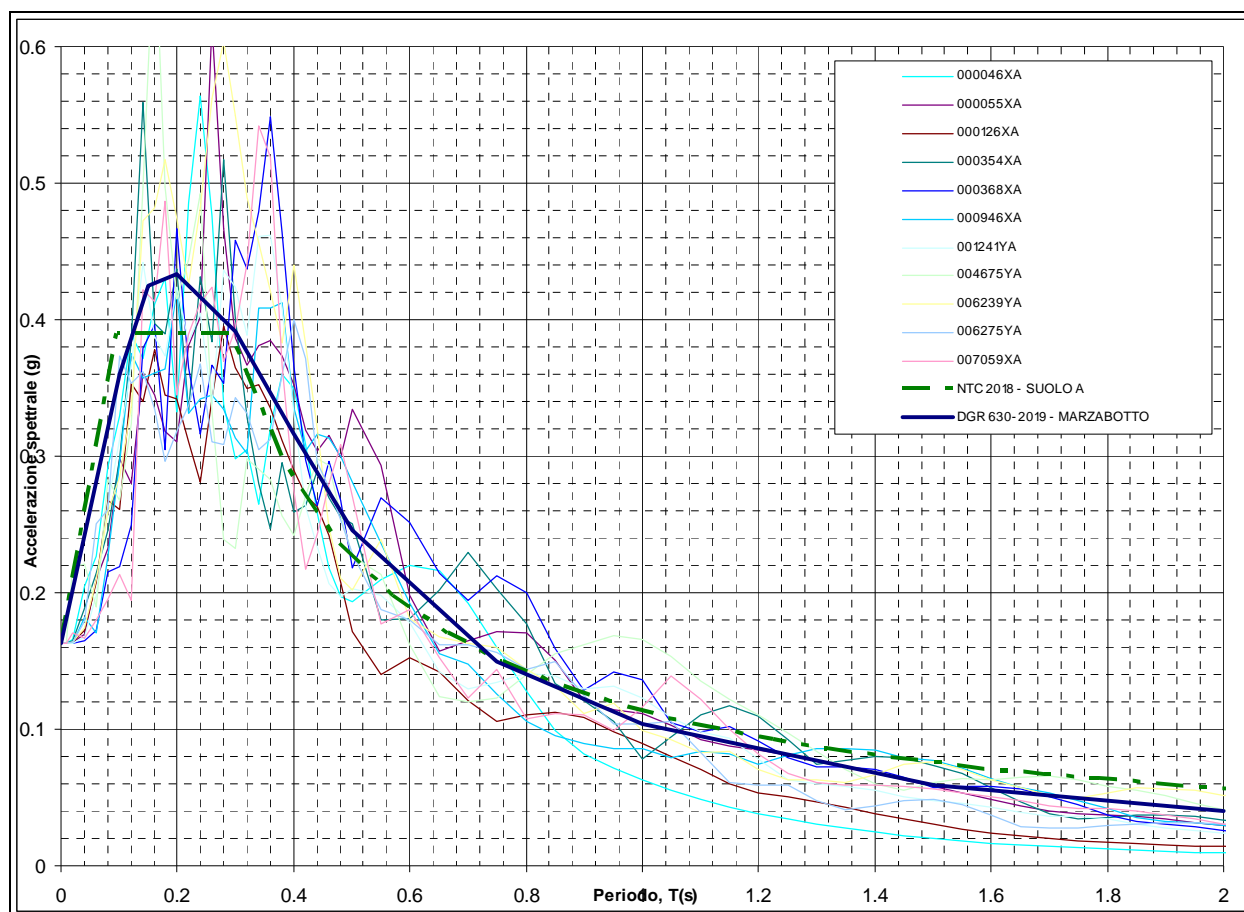
- *Caratterizzazione della pericolosità sismica a scala locale*: attuata mediante la definizione dello scuotimento al bedrock col 10% di probabilità di almeno una eccedenza in 50 anni mediante metodologia di tipo probabilistico.

---

<sup>2</sup> Marcellini, A., Daminelli, R., Pagani, M., Riva, F., Tento, A., Crespellani, T., Madiari, C., Vannucchi, G., Frassinetti, G., Martelli, L., Palumbo, A., e Viel, G. (1998). Seismic Microzonation of some Municipalities of the Rubicone area (Emilia – Romagna Region). In Proceedings of the Eleventh European Conference on Earthquake Engineering, Invited Lectures Volume, pagg. 339-350. Balkema.

- *Scelta dei moti di riferimento:* mediante la selezione di accelerogrammi reali da banche dati attraverso la comparazione degli spettri di risposta con quello determinato con metodo probabilistico.
- *Parametrizzazione geotecnica e sismostratigrafica dei terreni:* attraverso la definizione sismostratigrafica e litotecnica delle verticali esaminate e la scelta delle opportune curve di decadimento per la simulazione del comportamento non lineare dei terreni in occasione di sollecitazione sismica.
- *Analisi delle amplificazioni a scala locale:* mediante simulazioni di propagazione verticale delle onde SH.
- *Zonazione finale:* determinazione di aree a caratteristiche omogenee.

La definizione degli input sismici utilizzati per le simulazioni di scuotimento in superficie è stata eseguita confrontando lo spettro di risposta degli accelerogrammi selezionati opportunamente scalati, con quella dello spettro a probabilità uniforme determinato secondo le indicazioni della DGR 630/2019, avendo cura di ottenere una congruenza rientrante nella forma normalizzata  $\pm$  la deviazione standard. Tale procedura ha portato alla selezione di 11 accelerogrammi di input, tre dei quali presenti nella banca dati approntata dalla Regione Emilia Romagna, disponibili al sito internet <http://www.regione.emilia-romagna.it/wcm/geologia/canali/sismica.htm> (accelerogrammi 000046xa, 000126xa, 000354xa), due ottenuti da selezione nel database internazionale "European strong-motion database" <http://www.isesd.hi.is/> (accelerogrammi 000946xa, 001241ya) e sei derivati dalla definizione di accelerogrammi di riferimento per l'argine destro del Po redatta da A. Marcellini, D. Albarello, D. Gerosa (accelerogrammi 000055xa, 000368xa, 004675ya, 006239ya, 006275ya, 007059xa) messi a disposizione dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna per le analisi di microzonazione sismica.



Spettro di risposta a probabilità uniforme (Periodo di ritorno di 474 anni, smorzamento=5%) costruito con i parametri esposti nella delibera della Giunta Regionale ER n° 630-2019, spettro elastico di risposta per suolo A determinato secondo i dettati delle NTC 2018 e spettri di risposta degli accelerogrammi selezionati normalizzati.

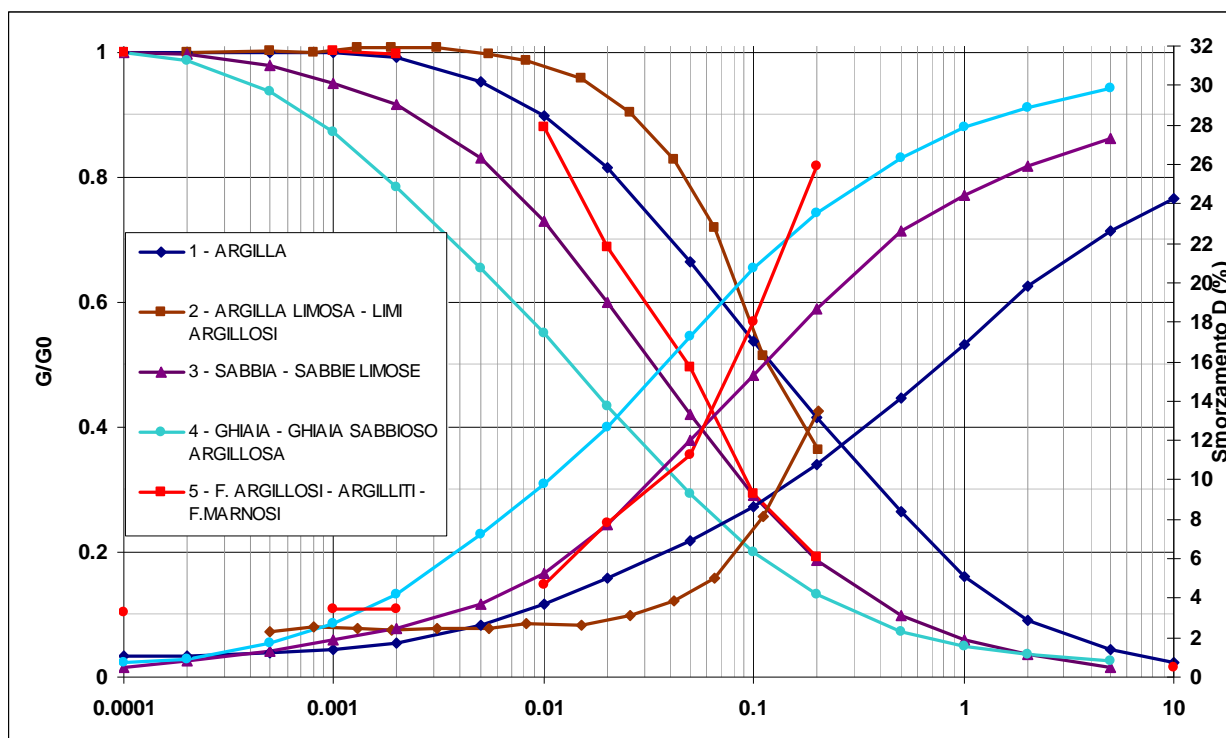
## 9.2. Comportamento non lineare dei terreni

Il comportamento non lineare dei terreni nelle analisi di risposta sismica locale (RSL) effettuate, è stato simulato utilizzando curve di degrado reperite da varie fonti bibliografiche, in particolare:

- Terreno tipo 1 - Litotipi prevalentemente argillosi: *Vucetic M. and Dobry R. (1991) – Effect of soil plasticity on cyclic response. Journal of Geotechnical Engineering, 117, 1, 89-117. N*
- Terreno tipo 2 - Litotipi prevalentemente argilloso limosi – limosi: *Regione Emilia Romagna (2012) – "Microzonazione Sismica e analisi della condizione limite per le emergenze delle aree epicentrali dei terremoti della Pianura Emiliana di Maggio-Giugno 2012" (Ordinanza del Commissario Delegato – Presidente della Regione Emilia-Romagna n. 70/2012) - Relazione Illustrativa*
- Terreno tipo 3 - Litotipi prevalentemente sabbiosi e sabbioso limosi: *Seed and Idriss (1970) - Soil moduls and damping factors for dynamic response analyses - EERC Report 70-10, University of California, Berkeley*

- Terreno tipo 4 - Litotipi prevalentemente ghiaiosi- ghiaioso argilloso sabbiosi: *Seed et alii (1991) - Principal geotechnical aspects of the 1989 Loma Prieta earthquake. Soil and Foundations, Vol. 31, No. 1, 1-26.*
- Terreno tipo 5 - Litotipi di substrato prevalentemente argillitici/marnosi: *Servizio Sismico Nazionale (2003) - Microzonazione sismica di S. Giuliano*

Dette curve sono schematizzate nel seguente grafico:



Al fine di eliminare le possibili alterazioni dovute alla dispersione dei dati, per rappresentare analiticamente la variazione di G e D con l'ampiezza della deformazione di taglio,  $\gamma$  (espressa in %) è stato utilizzato il modello *Yokota et al. (1981)*.

Sulla base dei risultati delle indagini geofisiche, sono stati discretizzati i profili delle onde S, estrapolando i valori e le profondità sino al raggiungimento del bedrock sismico considerato corrispondente a circa  $V_s=600/700$  m/sec.

Nelle verticali che non hanno raggiunto detta velocità è stato considerato un aumento proporzionale all'ultimo tratto di curva sperimentale. Ai sismostrati con valori di  $V_s$  interpolati maggiori di 500 m/sec (elevata rigidità) e nel bedrock sismico ( $V_s=700$  m/sec) è stato considerato trascurabile l'effetto di decadimento dovuto al comportamento non lineare dei terreni, quindi si è considerato un comportamento elastico con smorzamento lineare costante desunto da dati bibliografici (*Vinale et al., 1996*).

### **9.3. SCUOLA MATERNA LAMA DI RENO**

#### **9.3.1. Caratterizzazione geomorfologico – stratigrafica**

L'area sede della scuola materna di Lama di Reno – Panico appartiene alla fascia di fondovalle in destra del F. Reno costituita dai depositi alluvionali terrazzati a ripiani di 2° ordine rispetto all'alveo attuale AES8 (20.000 anni b.p. / IV – VI sec d.C.) che con spessore moderatamente variabile lateralmente rivestono il substrato roccioso marnoso siltoso sabbioso della Formazione di Cigarello (CIG); che è affiora sia a nord che ad ovest superati gli orli di scarpata di erosione fluviale.

Nel sottosuolo dell'area in oggetto sono assenti faglie e/o orizzonti di roccia intensamente fratturata; nella fascia a sud est, a distanza di 80/90 dagli edifici scolastici, è individuata una linea di faglia che mette a contatto la Formazione di Cigarello con quella di Pantano. In rapporto all'andamento dei log delle prospezioni Re.Mi./MASW eseguite nel sito in prossimità degli edifici scolastici si riscontra l'assenza di condizioni di fratturazione in prossimità degli stessi e pertanto di effetti cosismici diretti correlabili alla sopra descritta faglia.

Dall'analisi comparata tra prospezioni geofisiche: Re.Mi./MASW ed HVSR e le indagini geognostiche precedentemente effettuate da AA.VV. nel sito, prove penetrometriche dinamiche DPM, si evince che lo spessore e le caratteristiche litologiche dei depositi alluvionali sono caratterizzate da modesta – praticamente trascurabile variazione laterale in spessore.

Detti depositi nei primi 1/1,5 m del sottosuolo sono costituiti da materiali prevalentemente limoso argillosi – limosi ai quali seguono sino a -3/-5 m pc sabbie – sabbie ghiaiose e successivamente il substrato roccioso marnoso siltoso sabbioso (CIG); tale unità si assottiglia in direzione nord. Le ampiezze dei picchi della frequenza principale corrispondono ad A=2 zona sud ed A=5 zona nord.

#### **9.3.2. Caratteristiche geotecniche di insieme**

Le verticali DPM (prova penetrometrica dinamica media) evidenziano una moderata variabilità di spessore in senso orizzontale dei valori di resistenza al taglio dei terreni che costituiscono i primi 1/1,5 m del sottosuolo contraddistinti da  $N_{10}$  3/4 corrispondenti a valori di resistenza alla punta dinamica  $q_d = 12 \div 14$  kgf/cmq; le alternanze sabbioso ghiaiose sino a -2 m pc evidenziano  $N_{10} = 20/30$  corrispondenti ad  $N_{SPTeq} = 15 \div 22$  e resistenza alla punta equivalente alla prova statica  $q_{c_e} = 22 \div 30$  kgf/cmq.

Superati i primi 3/5 m pc si riscontra il substrato marnoso siltoso sabbioso praticamente incompressibile.

#### **Successione litotecnico sismica**

L'analisi comparata tra le indagini geognostiche (DPM) e geofisiche (Re.Mi./MASW) evidenzia che nel sottosuolo dell'area sede della scuola materna di Lama di Reno i depositi alluvionali contraddistinti da  $V_s = 160 \div 250$  m/sec giungono a -3,5 m pc e proseguono sino a -5 m pc con  $V_s = 400$  m/sec. Successivamente è presente il substrato marnoso siltoso sabbioso (CIG) a grado di fratturazione basso – molto basso sino a -12 m pc caratterizzato da  $V_s = 660 \div 670$  m/sec. A questi nella zona settentrionale (Re.Mi./MASW 208) seguono marne

siltoso sabbiose consistenti:  $V_s=710$  m/sec alle quali soggiace il substrato roccioso a comportamento rigido  $V_s \geq 800$  m/sec che nel settore meridionale (Re.Mi/MASW 209) si riscontra già da -12 m pc.

### 9.3.3. Parametrizzazione sismica

Di seguito è esposta la caratterizzazione litostratigrafico/sismica utilizzata per il calcolo di scuotimento in superficie, i cui codici corrispondono a quelli delle relative prospezioni sismiche di riferimento coincidenti con quelle delle verticali sismiche effettuate è visualizzato nell'elaborato 3.1 "Carta punti di verifica RSL con codice di calcolo".

Verticale R208						
Spessore (m)	Litotipo n°	$V_s$ (m/sec)	$G_{max}$ (MPa)	Peso di Volume (KN/mc)	Fattore di smorzamento iniziale (%)	Localizzazione e tipo del terremoto di input
1	1	130	31	18.2	-	-
2	2	250	119	18.8	-	-
9	5	660	959	21.6	1,2	-
6	5	710	1136	22.1	1	-
	-	860	1779	23	0,3	Outcrop

Verticale R209						
Spessore (m)	Litotipo n°	$V_s$ (m/sec)	$G_{max}$ (MPa)	Peso di Volume (KN/mc)	Fattore di smorzamento iniziale (%)	Localizzazione e tipo del terremoto di input
3,5	1	160	48	18.3	-	-
1,5	4	460	427	19.8	-	-
7	5	670	993	21.7	2	-
	-	800	1501	23	0,3	Outcrop

Le analisi hanno fornito i seguenti risultati:

Verticale sismica	$p_{ga}$ (g)	FPGA	FH0105	FH0510	FA0105	FA0408	FA0711	$H_{SM}$ 0105	$H_{SM}$ 0408	$H_{SM}$ 0711
R208	0.211	1.31	1.11	1.02	1.15	1.03	1.01	398	202	122
R209	0.261	1.62	1.19	1.03	1.29	1.05	1.02	444	205	123

### 9.3.4. Microzonazione sismica - risposta sismica locale 1D

In funzione dell'assetto sub orizzontale della base dell'unità costituita dai depositi alluvionali, del loro spessore e sua variabilità laterale praticamente trascurabile, ai quali segue il substrato roccioso (CIG) con analoghe caratteristiche di continuità laterale dei valori di  $V_s$  le analisi della risposta sismica locale sono state sviluppate con codice 1D.

I valori dei fattori di amplificazione dell'accelerazione orizzontale massima orizzontale, corrispondono a  $Fa_{PGA}=1,5 \div 1,6$ , ad eccezione delle fasce di bordo occidentali e settentrionali coincidenti con gli orli di scarpata di erosione fluviale influenzati dagli effetti della topografia. I fattori di amplificazione in termini di velocità nell'intervallo  $0,1 < T < 0,5$  sec nella zona nord corrispondono a  $FH=1,1$  e  $FH=1,2$  nelle fasce di orlo di terrazzo, analogamente nel settore sud  $FH=1,2$  e  $FH=1,4$ ; nell'intervallo  $0,5 < T < 1$  sec nella zona nord  $FH=1,2$  e  $FH=1,4$  nella fascia di orlo di terrazzo, nella parte sud  $FH=1,3$  e  $FH=1,5$  nella fascia di orlo di terrazzo.



Ugualmente le amplificazioni in termini di accelerazione per  $0,1 < T < 0,5$  sec a nord sono corrispondono a  $FA=1,2$  e  $FA=1,4$  nella fascia di orlo di terrazzo, nella zona sud  $FA=1,3$  e  $FA=1,5$  nella fascia orlo terrazzo; per  $0,4 < T < 0,8$  sec nella zona nord  $FA=1,0 - FA=1,2$  nella fascia di orlo di terrazzo, nella zona sud  $FA=1,1 - FA=1,2$  nella fascia di orlo di terrazzo; per  $0,7 < T < 1,1$  sec in entrambe le zone nord e sud  $FA=1,0$  e  $FA=1,2$  nelle fasce di terrazzo.

I valori di  $H_{SM}=0,1 < T < 0,5$  sec. per le parti centrali corrispondono a  $H_{SM}=354 \div 398$  cm/sec<sup>2</sup> attribuibili alla classe di pericolosità moderato bassa, la zona centro meridionale sede dei fabbricati scolastici è contraddistinta da  $H_{SM}=400 \div 444$  cm/sec<sup>2</sup> attribuibile alla classe moderata; per i valori  $H_{SM}=0,4 < T < 0,8$  sec. corrispondenti a  $H_{SM}=181 \div 236$  cm/sec<sup>2</sup> appartiene alla classe moderata la totalità della zona; analoga distribuzione areale presenta l'intervallo  $H_{SM}=0,7 < T < 1,1$  sec. con  $H_{SM}=117 \div 146$  cm/sec<sup>2</sup> a pericolosità alta moderata.

## **9.4. ZONA SCUOLA MATERNA PIAN DI VENOLA**

### **9.4.1. Caratterizzazione geomorfologico – stratigrafica**

L'area sede della scuola materna di Pian di Venola appartiene alla fascia di fondovalle in sinistra del F. Reno prevalentemente costituita dai depositi alluvionali terrazzati AES8a (Post.IV–VI sec d.C.), di conoide alluvionale e depositi di versante con spessore moderatamente variabile lateralmente che rivestono il substrato roccioso marnoso siltoso sabbioso dalla Formazione di Cigarellino (CIG) che affiora circa 200 m a nord della S.S 64 Porrettana e circa in corrispondenza della stessa a sud di Possessione e circa 400 m ed est–nordest dell'urbanizzato.

Nel sottosuolo dell'area in oggetto sono presenti orizzonti di roccia fratturata che interessano i primi 12/15 m dal piano campagna e che a settentrione in prossimità di Gaibira in via T. Venola giungono a -30/-35 m.

Dall'analisi comparata tra prospezioni geofisiche: Re.Mi/MASW – HVSR e le indagini geognostiche SM – CPT.Rm – DPSH si evince che lo spessore e le caratteristiche litologiche dei depositi alluvionali sono moderatamente variabili lateralmente, mentre denotano pronunciata differenziazione litologica granulometrica quelli di conoide costituiti da alternanze di orizzonti sabbioso ghiaiosi e limoso argillosi ad assetto spiccatamente lentiforme; analoghe caratteristiche di marcata variabilità laterale e di consistenza denotano i depositi di versante ad occidente di via Torrente Venola e quelli 100/150 m a settentrione della S.S. 64.

L'area di impronta dell'edificio sede della scuola materna appartiene alla zona di transizione tra depositi di versante e di conoide.

### **9.4.2. Caratteristiche geotecniche di insieme**

Le verticali CPT. Rm e sondaggi meccanici precedentemente eseguiti all'intorno della scuola materna evidenziano una pronunciata variabilità in senso orizzontale che verticale dei valori di resistenza al taglio nei primi 10 m del sottosuolo.

Detti terreni sono costituiti da alternanze di orizzonti limoso argillosi – limoso sabbiosi consistenti ai quali si intercalano corpi sabbioso ghiaiosi addensati ad assetto lentiforme che incrementano in percentuale rappresentata e divergono predominanti in direzione sud est con l'approssimarsi a via Torrente Venola – S.S. 64 Porrettana.

Nell'insieme la sequenza litologica è contraddistinta da medio elevati – elevati parametri di resistenza al taglio e basso grado di compressibilità.

Procedendo in direzione est – nord est in prossimità via G. Di Vittorio la differenziazione litologica laterale tende ad essere inferiore e le sequenze litologiche superati i primi 1/2 m del sottosuolo sono costituite da alternanze prevalentemente limoso argillose e limose a medio grado di consistenza sino a -8/-9 m pc e da ghiaie addensate sino a -10/-10,5 m pc.

### **9.4.3. Parametrizzazione sismica**

La caratterizzazione litostratigrafico/sismica, di seguito esposta, utilizzata per il calcolo di scuotimento in superficie, i cui codici corrispondono a quelli delle relative indagini sismiche di riferimento coincidenti con quelle delle verticali sismiche effettuate è visualizzato nell'elaborato 3.1 “Carta punti di verifica RSL con codice di calcolo”.

Verticale R03						
Spessore (m)	Litotipo n°	Vs (m/sec)	Gmax (MPa)	Peso di Volume (KN/mc)	Fattore di smorzamento iniziale (%)	Localizzazione e tipo del terremoto di input
3,5	2	180	61	18.4	-	-
12,5	4	420	352	19.6	-	-
	-	1060	2932	23	0,3	Outcrop

Verticale R51						
Spessore (m)	Litotipo n°	Vs (m/sec)	Gmax (MPa)	Peso di Volume (KN/mc)	Fattore di smorzamento iniziale (%)	Localizzazione e tipo del terremoto di input
12	1	200	75	18.5	-	-
4	2	290	162	19	-	-
2	4	500	510	20	2	-
	-	830	1636	23	0,3	Outcrop

Verticale R206						
Spessore (m)	Litotipo n°	Vs (m/sec)	Gmax (MPa)	Peso di Volume (KN/mc)	Fattore di smorzamento iniziale (%)	Localizzazione e tipo del terremoto di input
4,5	1	190	68	18.5	-	-
3,5	2	210	83	18.6	-	-
8	4	520	557	20.2	2	-
	-	660	959	22.8	0,3	Outcrop

Le analisi hanno fornito i seguenti risultati:

Verticale sismica	pga (g)	FPGA	FH0105	FH0510	FA0105	FA0408	FA0711	H <sub>SM</sub> 0105	H <sub>SM</sub> 0408	H <sub>SM</sub> 0711
R03	0.313	1.95	1.53	1.09	1.72	1.14	1.06	593	223	127
R51	0.324	2.01	2.25	1.32	2.21	1.57	1.21	764	308	146
R206	0.283	1.76	1.56	1.1	1.72	1.16	1.07	592	227	128

#### 9.4.4. Microzonazione sismica – risposta sismica locale 1D

In rapporto all'assetto sub orizzontale della base delle unità litotecniche costituite dai depositi di versante – di conoide – alluvionali e loro moderata variabilità laterale in spessore, le analisi di risposta sismica locale sono state sviluppate con codice 1D.

In funzione della variabilità dei fattori di amplificazione tra le zone a settentrione della scuola materna – via Varsavia e quelli a meridione della stessa l'area di MS3 è stata suddivisa in 3 Microzone.

I valori dei fattori di amplificazione dell'accelerazione orizzontale massima orizzontale, corrispondono a FaPGA=2,0 ad eccezione del settore orientale centrale con FaPGA=1,8.

I fattori di amplificazione in termini di velocità nell'intervallo 0,1<T<0,5 sec nella zona a nord della scuola materna – via Varsavia corrispondono a FH=2,1, a sud di detto allineamento FH=1,5; nell'intervallo 0,5<T<1 sec nella zona nord scuole-via Varsavia FH=1,3, a sud di detto allineamento FH=1,1.

Ugualmente le amplificazioni in termini di accelerazione per 0,1<T<0,5 sec a nord delle scuole – via Varsavia corrispondono a FA=2,2, a sud di detto allineamento FH=1,7; per l'intervallo 0,4<T<0,8 sec nella zona a nord delle scuole – via Varsavia FA=1,6, a sud di detto allineamento FH=1,1 e FH=1,2 nella parte orientale centrale; per l'intervallo 0,7<T<1,1 sec nella zona a nord delle scuole – via Varsavia FA =1,2, a sud di detto allineamento FH=1,1.

I valori di  $H_{SM}$  compresi tra 592 e 765  $\text{cm}/\text{sec}^2$  denotano una classe di pericolosità sismica alta; l'edificio scolastico è sito al limite della zona con  $H_{SM}=592 \text{ cm}/\text{sec}^2$  di pericolosità relativa moderatamente inferiore a quella più a settentrione, correlabile ad una pericolosità moderata. Analogamente per i valori  $H_{SM}=0,4 < T < 0,8 \text{ sec.}$  la zona appartiene alla classe moderata:  $H_{SM}=223 \div 308 \text{ cm}/\text{sec}^2$  con valori relativi inferiori  $H_{SM}=223 \text{ cm}/\text{sec}^2$  nel settore sede dell'edificio scolastico; caratteristiche simili presenta l'intervallo  $H_{SM}=0,7 < T < 1,1 \text{ sec.}$  a pericolosità moderata con valori di  $H_{SM}=127 \div 146 \text{ cm}/\text{sec}^2$  con i valori relativi maggiori nel settore settentrionale.

## **9.5. ZONA SCUOLA MATERNA PIOPPE DI SALVARO**

### ***9.5.1. Caratterizzazione geomorfologico – stratigrafica***

L'area sede dell'edificio scuola materna di Pioppe di Salvaro appartiene alla fascia di fondovalle in sinistra del F. Reno costituita a sud della ferrovia BO-FI dai depositi alluvionali terrazzati AES8a (Post. IV–VI sec d.C.) che con spessore moderatamente variabile lateralmente rivestono un substrato roccioso prevalentemente arenitico (ANT4) nella parte ad ovest del tratto di via Pioppe Berleta orientato sud nord e da brecce argillose (MVT) ad oriente dello stesso.

Nel sottosuolo dell'area in oggetto sono assenti faglie e gli orizzonti di roccia detensionata/fratturata sottostanti i depositi alluvionali presentano spessori: 6/10 m.

Dell'analisi comparata tra prospezioni geofisiche: Re.Mi./MASW – HVSR e le indagini geognostiche DPSH si riscontra una moderata variabilità laterale degli spessori e delle caratteristiche litologiche dei depositi alluvionali che oscillano tra 4/5 e 8/10 m; si differenzia altresì la potenza dell'orizzontale di roccia detensionata che corrisponde a 9 m nella parte ovest ed 6 m ad est.

Nel settore occidentale, area sede dell'edificio scolastico, detti depositi nei primi 2 m del sottosuolo sono costituiti da sequenze prevalentemente limoso sabbiose – limose e sono seguite da -2 a >-4 m pc da ghiaie sabbiose addensate; tale unità denota spessori moderatamente variabili lateralmente. A settentrione della ferrovia BO-FI di rinvencono i substrati rocciosi affioranti (ANT4–MVT).

### ***9.5.2. Caratteristiche geotecniche di insieme***

Le verticali DPSH precedentemente effettuate nell'area in esame evidenziano una moderata variabilità in senso orizzontale dei valori di resistenza al taglio dei terreni dei primi 1/3 m del sottosuolo, costituiti da limi sabbioso argillosi generalmente contraddistinti da valori di resistenza alla penetrazione  $N_{20}=3/4$ ; successivamente dalle profondità di 3,5/4 m si rinvencono sabbie ghiaiose addensate con  $N_{20}=10/20 \div >40$  che in base alle verticali Re.Mi./MASW giungono a -9/-11 m pc.

Nella zona sede dell'edificio scolastico i valori della resistenza di insieme superati i primi 1,5/2 m del sottosuolo denotano caratteristiche di consistenza di grado elevato e grado di compressibilità molto basso.

### ***9.5.3. Parametrizzazione sismica***

La caratterizzazione litostratigrafico/sismica, di seguito esposta, utilizzata per il calcolo di scuotimento in superficie, i cui codici corrispondo a quelli delle relative indagini sismiche di riferimento coincidenti con quelle delle verticali sismiche effettuate è visualizzato nell'elaborato 3.1 “Carta punti di verifica RSL con codice di calcolo”.

Verticale R01						
Spessore (m)	Litotipo n°	Vs (m/sec)	Gmax (MPa)	Peso di Volume (KN/mc)	Fattore di smorzamento iniziale (%)	Localizzazione e tipo del terremoto di input
11	2	360	255	19.3	-	-
9	4	450	408	19.8	-	-
	-	1040	2800	23	0,3	Outcrop

Verticale R205						
Spessore (m)	Litotipo n°	Vs (m/sec)	Gmax (MPa)	Peso di Volume (KN/mc)	Fattore di smorzamento iniziale (%)	Localizzazione e tipo del terremoto di input
3,5	1	290	162	19	-	-
5,5	2	340	226	19.2	-	-
11	5	630	862	21.3	1,3	-
	-	750	1290	23	0,3	Outcrop

Le analisi hanno fornito i seguenti risultati:

Verticale sismica	pga (g)	FPGA	FH0105	FH0510	FA0105	FA0408	FA0711	H <sub>SM</sub> 0105	H <sub>SM</sub> 0408	H <sub>SM</sub> 0711
R01	0.265	1.64	1.58	1.11	1.69	1.18	1.08	583	232	129
R205	0.237	1.47	1.25	1.04	1.33	1.07	1.03	459	210	124

#### 9.5.4. Microzonazione sismica – risposta sismica locale 1D

In rapporto all'assetto sub orizzontale della base dell'unità litotecnica costituita dai depositi alluvionali ghiaioso sabbiosi addensati e della loro modesta variabilità laterale in spessore le analisi di risposta sismica locale sono state sviluppate con codice 1D.

In funzione delle variabilità dei fattori di amplificazione sismica tra il settore occidentale, al quale appartiene l'edificio scolastico e quelle orientate l'area di MS3 è stata suddivisa in 2 microzone: settore occidentale e zona orientale.

I valori dei fattori di amplificazione dell'accelerazione orizzontale massima orizzontale, corrispondono a FaPGA=1,6 ad ovest, zona scuola, ed a FaPGA=1,5 parte est.

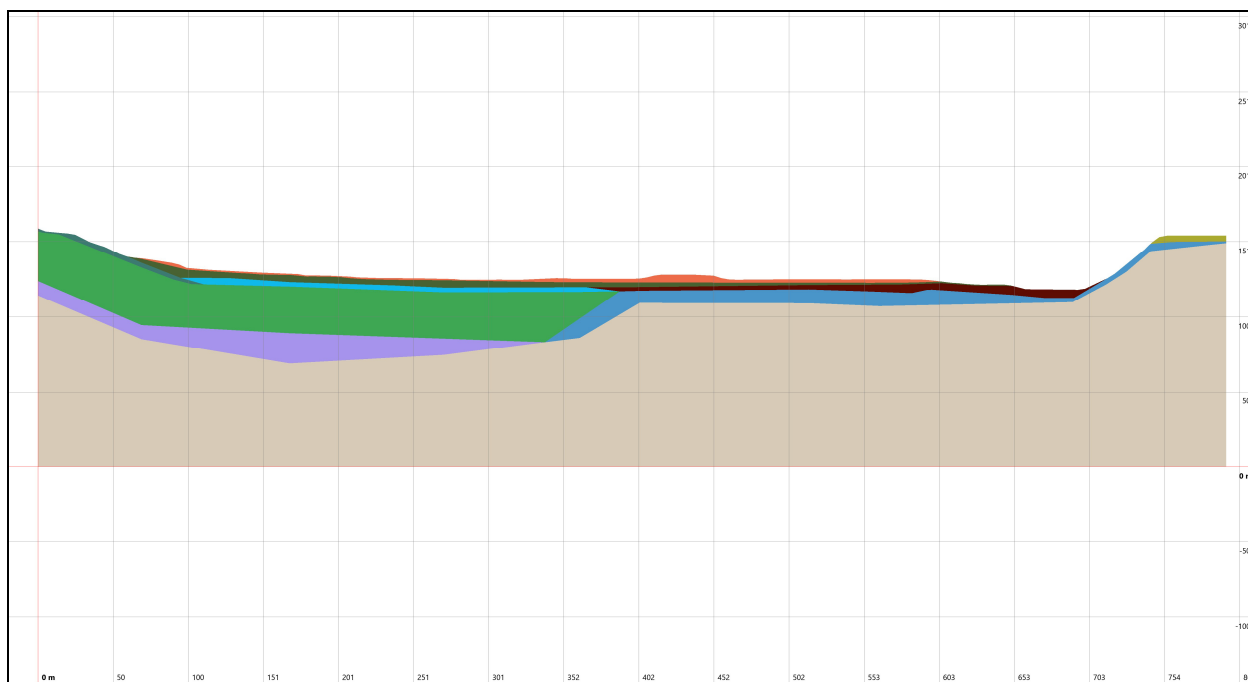
I fattori di amplificazione in termini di velocità nell'intervallo  $0,1 < T < 0,5$  sec nella zona ovest, scuola materna, corrispondono a FH=1,6, nella parte est FH=1,3; nell'intervallo  $0,5 < T < 1$  sec nella zona ovest, scuola materna, FH=1,1, nella parte est FH=1,0.

Ugualmente le amplificazioni in termini di accelerazione per  $0,1 < T < 0,5$  sec nella zona ovest, scuola materna, corrispondono a FA=1,7, nella parte est FA=1,3; per l'intervallo  $0,4 < T < 0,8$  sec nella zona ovest, scuola materna, corrispondono a FA=1,2, nella parte est FA=1,1; per l'intervallo  $0,7 < T < 1,1$  sec nella zona ovest, scuola materna, corrispondono a FA=1,1, nella parte est FA=1,0.

I valori di pericolosità sismica per  $H_{SM}=0,1 < T < 0,5$  sec denotano una classe moderata con  $H_{SM}=459$  cm/sec<sup>2</sup> per il settore orientale ed una classe moderato/alta con  $H_{SM}=583$  cm/sec<sup>2</sup> per la parte occidentale alla quale appartiene l'edificio scolastico; analoga distribuzione areale evidenzia l'intervallo  $H_{SM}=0,4 < T < 0,8$  sec. che evidenzia una pericolosità moderata:  $H_{SM}=210$  cm/sec<sup>2</sup> nel settore orientale e  $H_{SM}=232$  in quello occidentale; equivalenti condizioni si rilevano per  $H_{SM}=0,7 < T < 1,1$  sec. che denotano pericolosità moderata:  $H_{SM}=129$  cm/sec<sup>2</sup> nella zona occidentale ed  $H_{SM}=124$  cm/sec<sup>2</sup> in quella orientale.

## MICROZONAZIONE SISMICA – RISPOSTA SISMICA LOCALE 2D

La definizione della risposta sismica locale nella zona del Capoluogo (zona Municipio – Biblioteca comunale – Scuole medie) è stata effettuata mediante codice di calcolo LSR 2d che consente di effettuare una modellazione bidimensionale del problema mediante il metodo degli elementi finiti, nel dominio del tempo, in tensioni totali, utilizzando il metodo lineare equivalente e con riferimento alla deformabilità del substrato.



*Modellazione sismostratigrafica esaminata valle Reno in località Marzabotto*

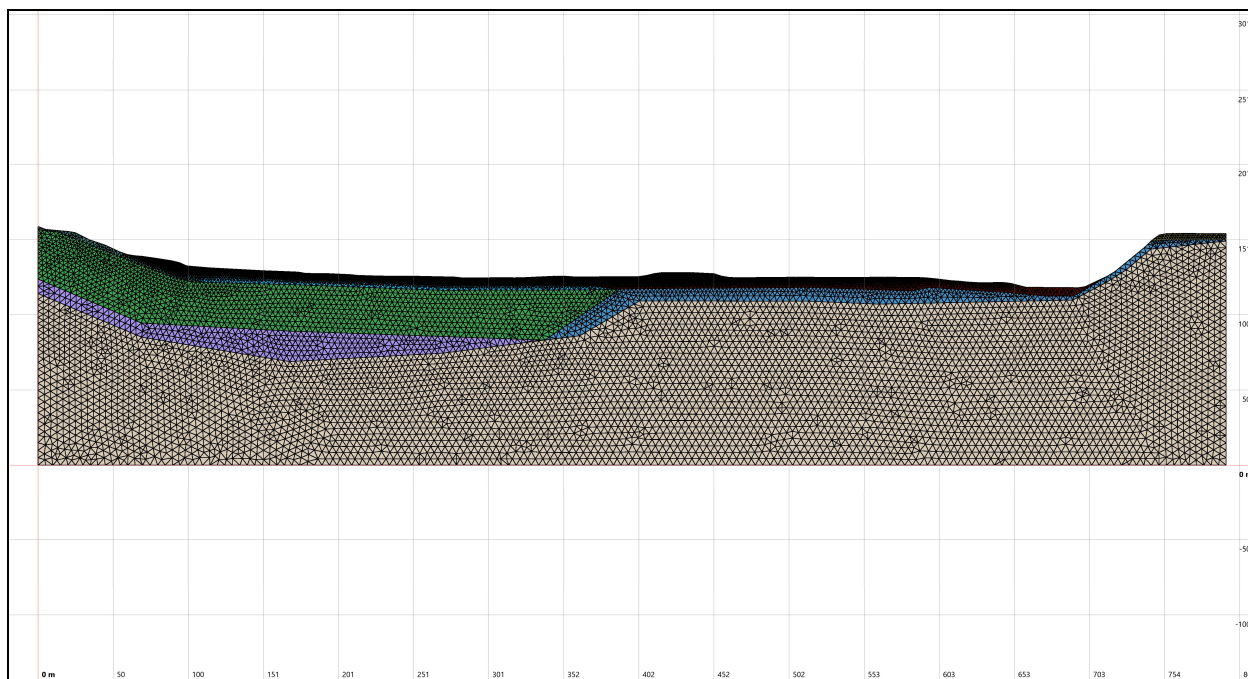
Il comportamento meccanico dei terreni sotto l'effetto di carichi ciclici ad elevata frequenza è alquanto complesso e caratterizzato da marcata non linearità, accumulo di deformazioni permanenti, dissipazione di energia e degradazione progressiva delle caratteristiche meccaniche per effetto del numero di cicli di carico applicati. In presenza di fluido interstiziale, alle suddette problematiche si aggiunge l'accumulo di sovrappressioni interstiziali in condizioni di drenaggio impedito o parziale, che sono comunque le più frequenti, in considerazione della velocità di applicazione del carico.

La modellazione di tali fenomeni richiede l'utilizzo di legami costitutivi complessi, che oltretutto difficilmente riescono a riprodurre simultaneamente tutte le specificità del comportamento dei terreni. Per tale ragione spesso si privilegia il fare riferimento a modelli costitutivi semplificati che, pur non essendo rigorosi, riescono a riprodurre il comportamento in modo adeguato in riferimento alla specifica applicazione.

In particolare, per quanto riguarda la risposta sismica dei depositi, l'approccio visco-elastico lineare equivalente rappresenta un valido compromesso tra semplificazione delle analisi ed accuratezza dei risultati. La strategia consiste sostanzialmente nel fare riferimento alle soluzioni visco-elastiche lineari per la propagazione delle onde sismiche adeguando in

modo iterativo i parametri costitutivi in funzione del livello deformativo indotto dal moto sismico nel terreno.

L'approccio utilizzato per la soluzione visco-elastica lineare all'interno dell'i-esimo ciclo iterativo utilizza il metodo degli elementi finiti. In particolare, il deposito di terreno viene discretizzato mediante una "mesh" di elementi finiti piani che possono avere forma quadrangolare o triangolare a seconda dei casi e caricato mediante un'accelerazione alla base dello stesso (bedrock), la soluzione dell'equazione del moto viene poi ottenuta nel dominio del tempo utilizzando il metodo di integrazione di Newmark.



*Mesh di calcolo sezione sismostratigrafica*

Le condizioni di free-field sulle frontiere laterali vengono implementate mediante l'accoppiamento di smorzatori viscosi tra i nodi delle frontiere laterali del modello e i nodi di opportune colonne di terreno monodimensionali (colonne free-field) in grado di descrivere il moto in condizioni di campo libero. Le coordinate dei nodi delle frontiere laterali del modello e delle colonne free-field possono essere uguali. È necessario, affinché tali condizioni al contorno siano applicabili, che le frontiere laterali del modello siano perfettamente verticali.

Le componenti della velocità dei nodi delle colonne laterali ad ogni istante di tempo vengono ottenute mediante una soluzione numerica monodimensionale a masse concentrate dell'equazione di propagazione delle onde. Tale soluzione è affidata ad un processo di calcolo che opera in parallelo rispetto a quello impiegato per la soluzione del modello principale. In altre parole, per il generico passo di integrazione temporale, vengono dapprima ottenute le componenti delle velocità delle colonne di campo libero attraverso la soluzione 1D, per poi essere convertite in carichi applicati al modello principale.

La procedura iterativa che consente di ottenere la risposta non lineare del sistema consiste nell'eseguire una sequenza di analisi lineari, con aggiornamento iterativo dei parametri di rigidità e smorzamento, fino al raggiungimento di un prefissato criterio di convergenza. Il risultato della procedura iterativa sopradescritta non è altro che la storia temporale di

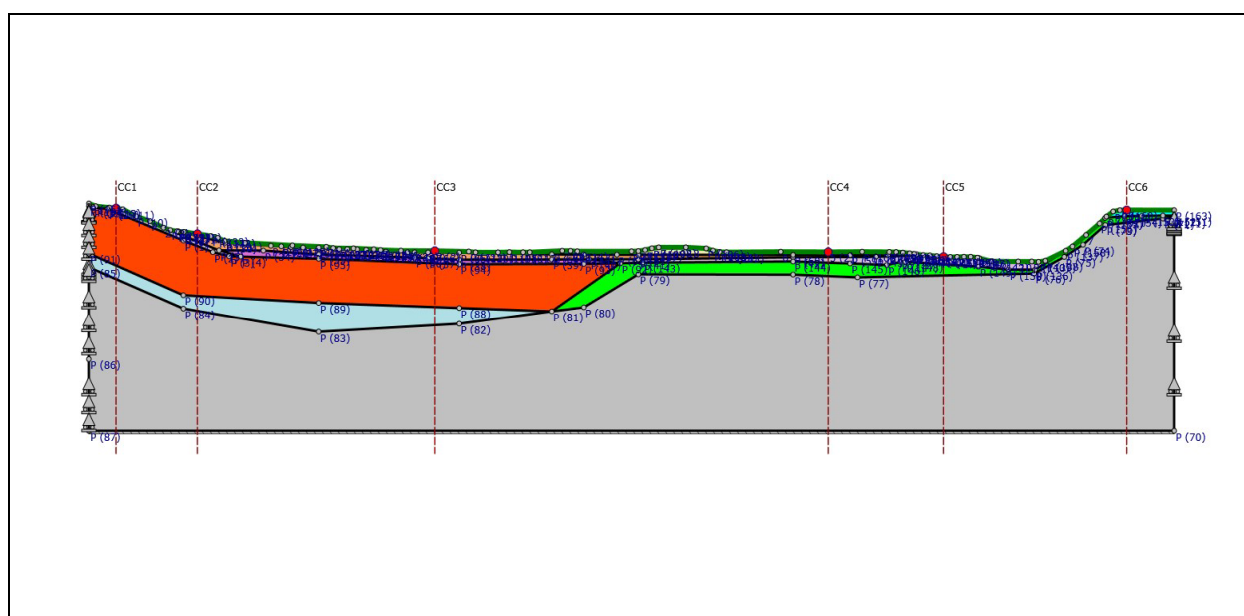


accelerazione, velocità e spostamento di ogni grado di libertà del modello FEM. Tuttavia, dal punto di vista ingegneristico è interessante monitorare la risposta in termini di accelerazione in superficie in corrispondenza di uno o più punti di controllo in modo da comprendere quelli che sono gli effetti indotti dal sito sull'amplificazione della sorgente sismica.

Sulla base del cosiddetto volume significativo di terreno interessato dal problema in esame, viene definita una stratigrafia di progetto che rappresenta l'andamento delle singole lenti di terreno in una sezione verticale.

Tale stratigrafia viene rappresentata nel piano verticale X-Z mediante una serie di spezzate ognuna delle quali identifica l'andamento del singolo strato. La prima di tali spezzate serve ad identificare l'orografia della porzione di sito oggetto di studio.

Di seguito si riporta una rappresentazione grafica della stratigrafia di progetto:



*Stratigrafia di progetto e colonne di controllo successivamente rappresentate mediante lo spettro medio in superficie*

## **9.6. ZONA MUNICIPIO – BIBLIOTECA – SCUOLE MEDIE**

### ***9.6.1. Caratterizzazione geomorfologico – stratigrafica***

L'ambito sede del capoluogo appartiene alla fascia di fondovalle in sinistra del F. Reno costituita dai depositi alluvionali terrazzati AES8a (Post. IV–VI sec d.C.) che, con spessore moderatamente variabile lateralmente, rivestono il substrato roccioso marnoso siltoso sabbioso della Formazione di Cigarellino (CIG), quest'ultimo in direzione occidentale, ovest della S.S. 64 Porrettana, si arricchisce in corpi arenacei (CIG2).

Nel sottosuolo dell'area in oggetto sono assenti faglie e/o orizzonti di roccia intensamente fratturata e sono presenti discontinue unità di modesto spessore: 2/3 m di roccia detensionata.

Dall'analisi comparata tra prospezioni geofisiche: tomografia elettrica 2D (ERT) – tomografia sismica 2D (BS) – verticali Re.Mi./MASW ed HVSr e le indagini geognostiche

sondaggi meccanici (SM) – prove penetrometriche statiche (CPT.Rm) – prove penetrometriche dinamiche superpesanti (DPSH) si evince che lo spessore e le caratteristiche litologiche dei depositi alluvionali variano lateralmente procedendo da ovest verso est.

Nel settore occidentale tra la S.S. 64 Porrettana e l'area sede dell'edificio municipale – via G. Matteotti detti depositi nei primi 4/5 m del sottosuolo sono costituiti da sequenze prevalentemente limoso argillose – limose con locali sottili intercalazioni lentiformi sabbiose – sabbioso ghiaiose; tale unità, arricchendosi in componenti sabbioso ghiaiose, si assottiglia in direzione est riducendosi a 2/3 m ad oriente della ferrovia BO–FI dove le componenti ghiaioso sabbiose prevalgono. In sponda destra del F. Reno superati in depositi alluvionali ghiaioso sabbiosi attuali: b1 si rinviene il substrato roccioso affiorante (CIG).

### **9.6.2. Caratteristiche geotecniche di insieme**

Le verticali CPT. Rm evidenziano una pronunciata variabilità in senso orizzontale dei valori di resistenza al taglio dei terreni che costituiscono i primi 2/3 m del sottosuolo. Questi ultimi nel settore tra via A. Moro e la S.S. 64 Porrettana sono argilloso limosi e generalmente contraddistinti da valori di resistenza alla punta  $q_{cm}=20 \div 30$  kgf/cmq e di resistenza ad attrito laterale locale  $f_{sm}=1/1,3$  kgf/cmq, nel settore prossimo all'area sede della chiesa tali materiali denotano caratteristiche dei terreni rimaneggiati/di riporto; analoghe condizioni indicano i primi 1/2 m ad oriente della ferrovia.

Nella zona sede dell'edificio municipale i valori della resistenza alla punta nei primi 0,5/2 m del sottosuolo si riducono a  $q_c=12 \div 15$  kgf/cmq e quelli di resistenza all'attrito laterale ad  $f_{sm}=0,5 \div 0,7$  kgf/cmq.

Superati i primi 2/3 m sino a -4/-5 m pc si riscontra una moderata variabilità laterale sia delle componenti litologiche principalmente limoso argillose – limose che dei valori di resistenza alla punta generalmente compresi tra  $8/10 \div 12$  kgf/cmq e di resistenza all'attrito laterale media oscillante tra  $f_{sm}=0,4 \div 0,6$  kgf/cmq.

Successivamente da -4,5/-5,5 m pc a -6/-7 m pc si riscontrano sabbie – sabbie ghiaiose addensate contraddistinte da  $q_{cm}=26 \div 32$  kgf/cmq nelle sabbie e  $q_{cm} > 80$  kgf/cmq per le sabbie ghiaiose nelle quali  $N_{20}=20 \div 30$ .

### **9.6.3. Sezione litotecnico sismica**

L'analisi comparata tra le indagini geognostiche e prospezioni geofisiche è visualizzata nell'allegata sezione geologico tecnica.

Superati i primi 2/3 m, a pronunciata variabilità laterale dei parametri di resistenza, si riscontra sino a -4/-5 m pc una moderata variabilità laterale sia delle componenti litologiche principalmente limoso argillose – limose, che dei valori di resistenza alla punta generalmente compresi tra  $8/10 \div 12$  kgf/cmq e di resistenza all'attrito laterale media oscillanti tra  $f_{sm}=0,4 \div 0,6$  kgf/cmq.

Successivamente da -4,5/-5,5 m pc a -6/-7 m pc si rilevano sabbie – sabbie ghiaiose addensate contraddistinte da  $q_{cm}=26 \div 32$  kgf/cmq nelle sabbie e  $q_{cm} > 80$  kgf/cmq per le sabbie ghiaiose nelle quali  $N_{20}=20 \div 30$ .

**Sezione litotecnica sismica**

In base all'analisi comparata tra le indagini geognostiche e prospezioni geofisiche, visualizzata nell'allegata sezione geologico tecnica, la sequenza litologico - sismica del sottosuolo dell'area sede dell'edificio municipale - biblioteca - casa della cultura - scuole medie, è schematicamente riassumibile come di seguito esposto:

<p><b>Unità 1</b> da piano campagna a -1 ÷ -2 m pc</p>	<p>Limi argillosi, a zone sostituiti da materiali di riporto, contraddistinti da valori di resistenza alla punta a pronunciata variabilità laterale compresi tra <math>q_{cm} = 10/15 \div 30/35</math> kgf/cm<sup>2</sup> e di resistenza all'attrito laterale oscillante tra <math>f_{sm} = 0,5 \div 1,2</math> kgf/cm<sup>2</sup>; i parametri di resistività variano tra 20/40 ohm·m; la velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio è mediamente compresa tra <math>V_s = 80/100 \div 160</math> m/sec.</p>
<p><b>Unità 2</b> da -1,0 ÷ -2,0 a -4,0 ÷ -5,0 m pc</p>	<p>Limi argillosi prevalenti nel settore occidentale che si arricchiscono in componenti sabbiose - sabbioso ghiaiose nel settore orientale: est della ferrovia, contraddistinti da resistività <math>\rho = 10 \div 20</math> ohm·m ad ovest della ferrovia e <math>\rho = 40/60</math> ohm·m ad est della stessa con incrementi con l'approssimarsi al F. Reno; i valori di velocità variano tra <math>V_s = 200/270</math> m/sec; i valori di resistenza alla punta sono caratterizzati da pronunciata variabilità orizzontale e sono mediamente compresi tra <math>q_{cm} = 20/30</math> kgf/cm<sup>2</sup> ed <math>f_{sm} = 0,8 \div 1,2</math> kgf/cm<sup>2</sup> ed ovest di via A. Moro e variano tra <math>q_{cm} = 10 \div 14</math> kgf/cm<sup>2</sup> ed <math>f_{sm} = 0,5 \div 0,6</math> kgf/cm<sup>2</sup> ad est della stessa.</p>
<p><b>Unità 3</b> da -4,0 ÷ -5,0 a -7,0 ÷ -8,0 m pc</p>	<p>Sabbie ghiaiose - ghiaie sabbiose contenenti subordinate intercalazioni lentiformi limose - limoso sabbiose, contraddistinte da valori di resistività oscillanti <math>\rho = 150 \div 200</math> ohm·m ad ovest di via A. Moro e tra <math>\rho = 150 \div 300</math> ohm·m ad est della ferrovia; i valori delle velocità delle onde sismiche di taglio variano tra <math>V_s = 370/400 \div 570</math> m/sec; i valori di resistenza alla punta sono compresi tra <math>q_{cm} = 30/40 \div &gt; 80</math> kgf/cm<sup>2</sup> con minimi di <math>q_{cm} = 8 \div 12</math> kgf/cm<sup>2</sup> in corrispondenza dei livelli lentiformi limosi limoso sabbiosi, la resistenza all'attrito laterale oscilla tra <math>f_{sm} = 0,4 \div 0,8</math> kgf/cm<sup>2</sup>.</p>
<p><b>Unità 4</b> da -7,0 ÷ -8,0 a -40,0 ÷ -42,0 m pc settore ovest di via G. Matteotti</p>	<p>Marne siltoso sabbiose a basso grado di fratturazione (CIG) contraddistinte da <math>V_s = 600 \div 620</math> m/sec che ad est di via G. Matteotti sono sostituite da substrato più consistente.</p>

<b>Unità 5</b> da -7,0 ÷ -8,0 a -16,0 ÷ -18,0 m pc settore est di via G. Matteotti Da -40,0 a -50,0 ÷ -55,0 m pc ad ovest di via G. Matteotti	Marne siltoso sabbiose (CIG) a grado di fratturazione molto basso caratterizzate da $V_s=670 \div 730$ m/sec, subaffioranti in sponda destra F. Reno.
<b>Unità 6</b> da -16,0 ÷ -18,0 a >-50,0 ÷ -60,0 m pc est di via G. Matteotti Da -50,0 ÷ -55,0 a >- 60,0 m pc ad ovest di via G. Matteotti	Substrato marnoso siltoso sabbioso (CIG) consistente contraddistinto da $V_s > 800$ m/sec.

Di seguito si riporta la descrizione sismostratigrafica utilizzata per il calcolo di scuotimento in superficie con codice di calcolo 2D.

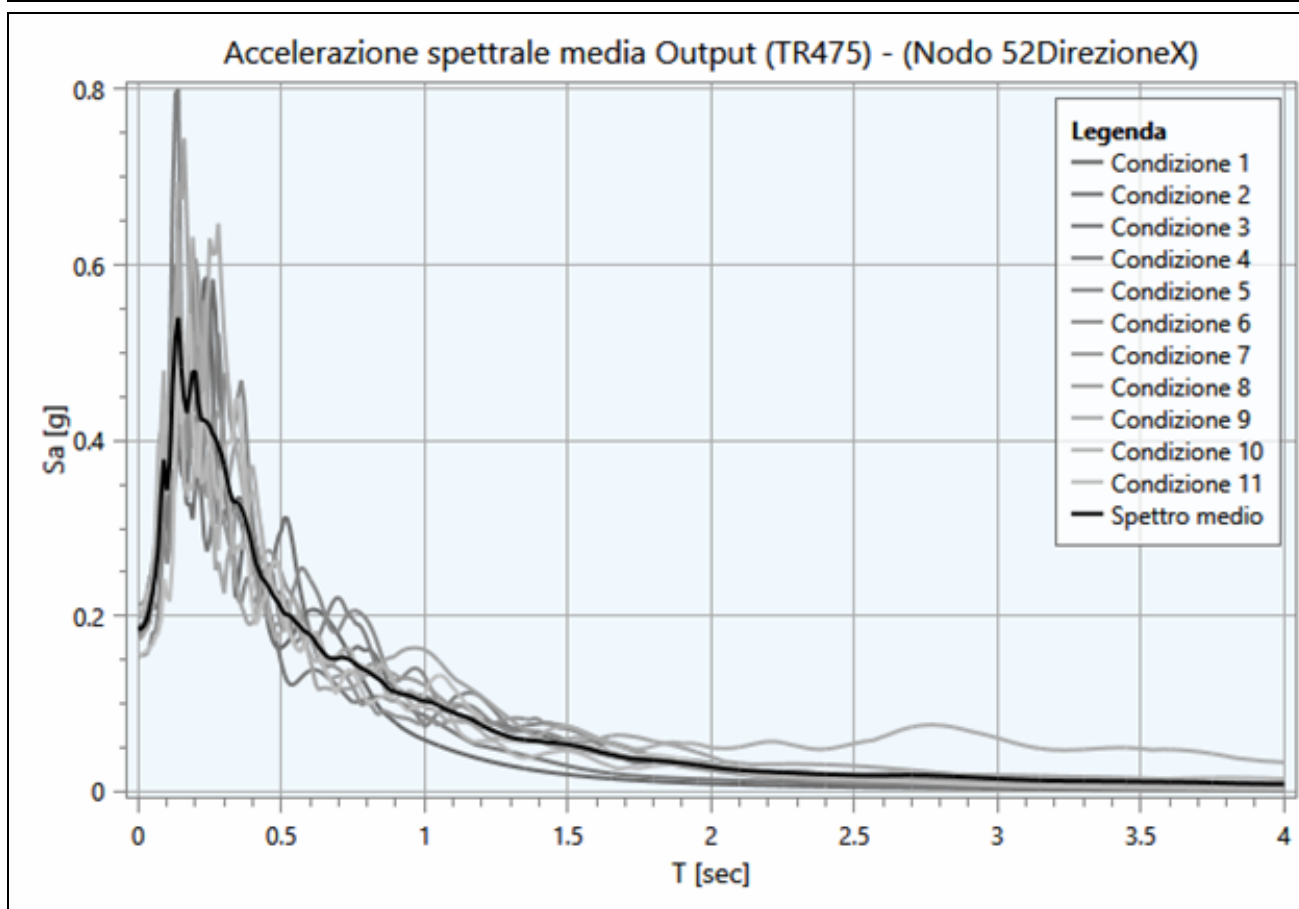
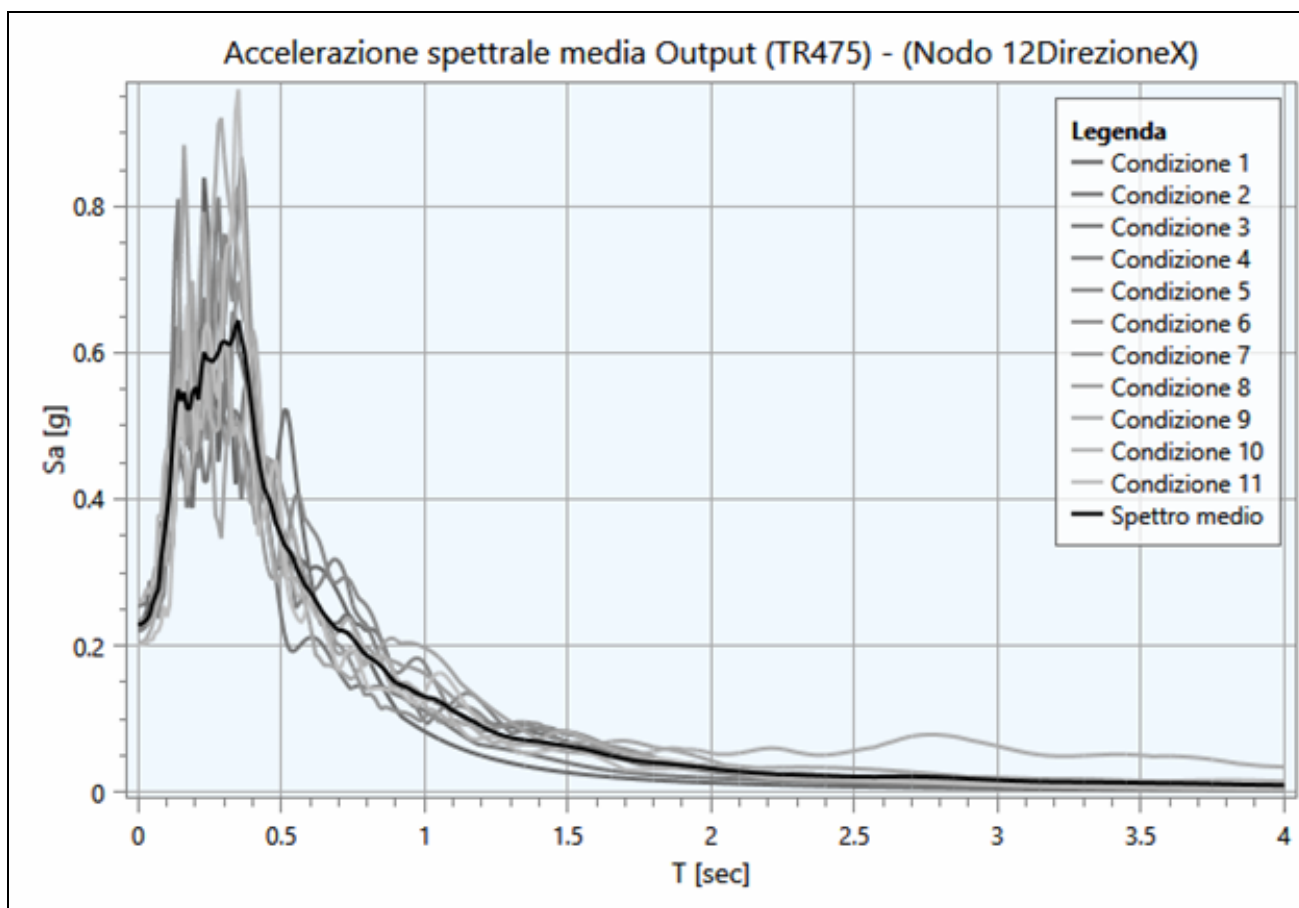
L'ubicazione della linea di verifica è visualizzata nell'elaborato 3.1 "Carta punti di verifica RSL con codice di calcolo".

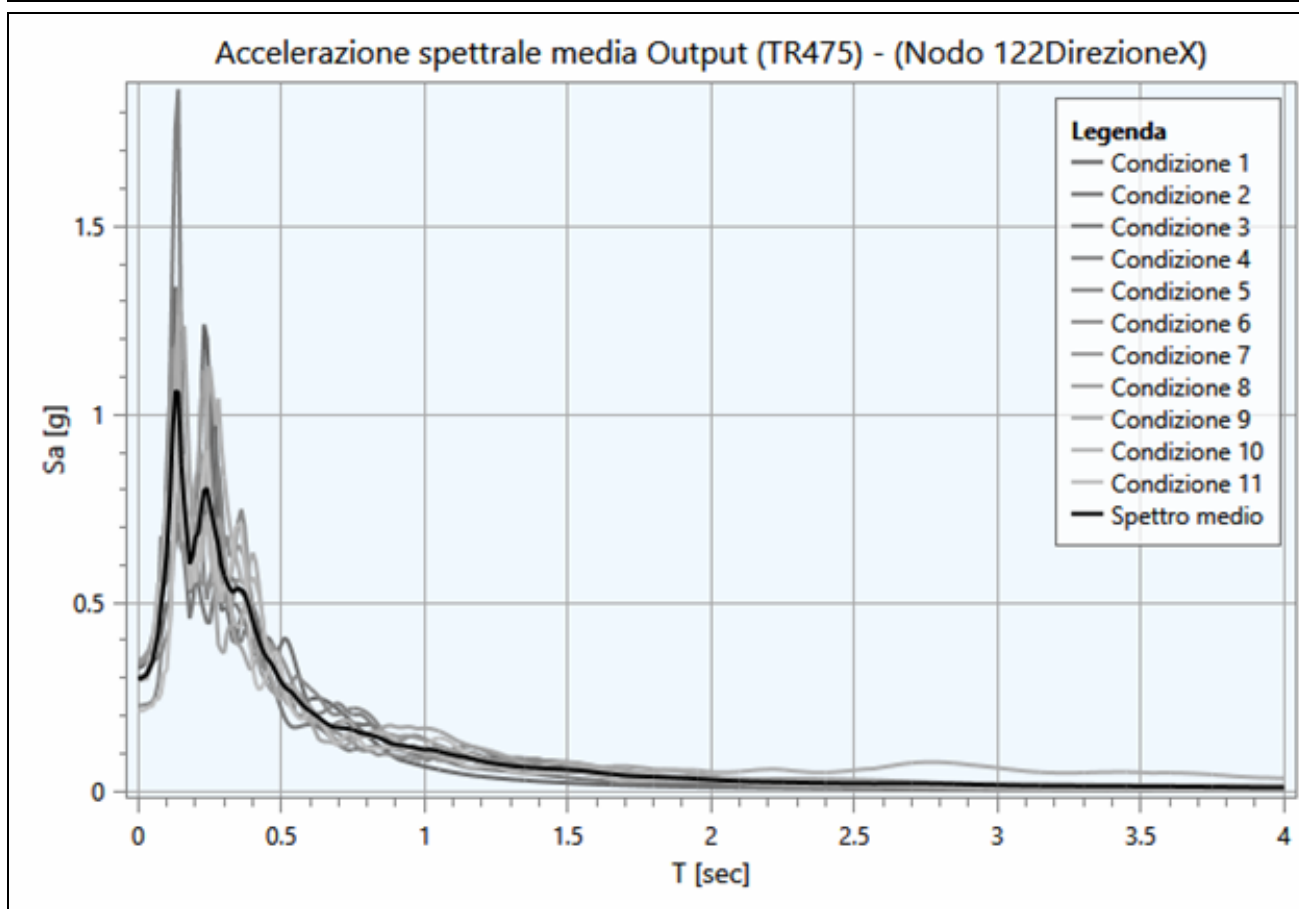
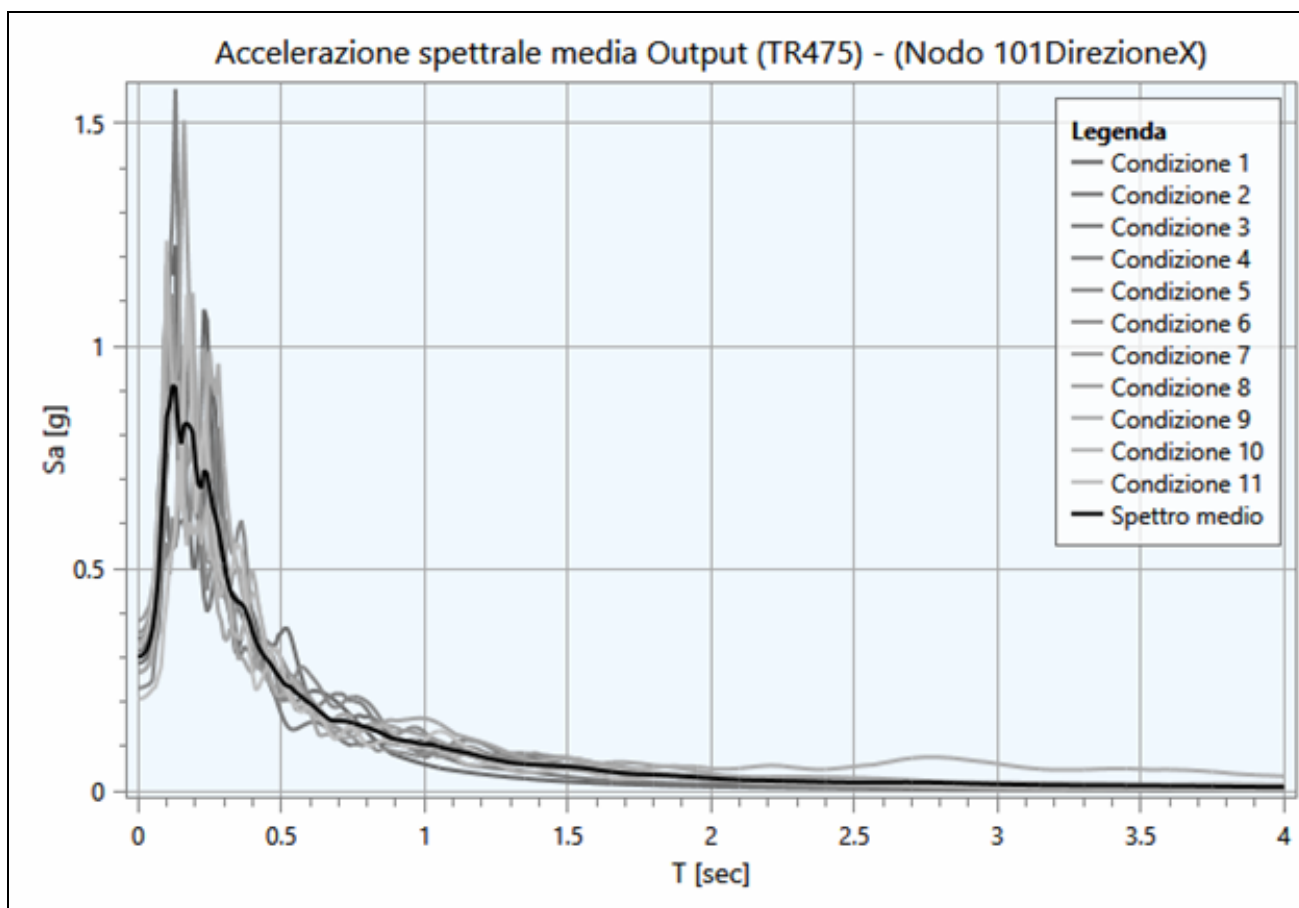
Profilo 2D						
Profondità (m)	Litotipo n°	$V_s$ (m/sec)	$G_{max}$ (MPa)	Peso di Volume (KN/mc)	Fattore di smorzamento iniziale (%)	Localizzazione e tipo del terremoto di input
da p.c. a -1/-2 m	2	100	18	18	-	-
da -1/-2 a -4/-5 m p.c.	4	200/270	75	18.5	-	-
da -4/-5 a -7/-8 m p.c.	4	400/450	318	19.5	-	-
da -7/-8 a -40/-42 m p.c.	5	570/620/640	850	21	1,3/1,7	-
da -7/-8 a -16/-18 m p.c.	-	700	1100	21.5	1	-
Oltre 18/40 m	-	800	1500	22	0.3	Outcrop

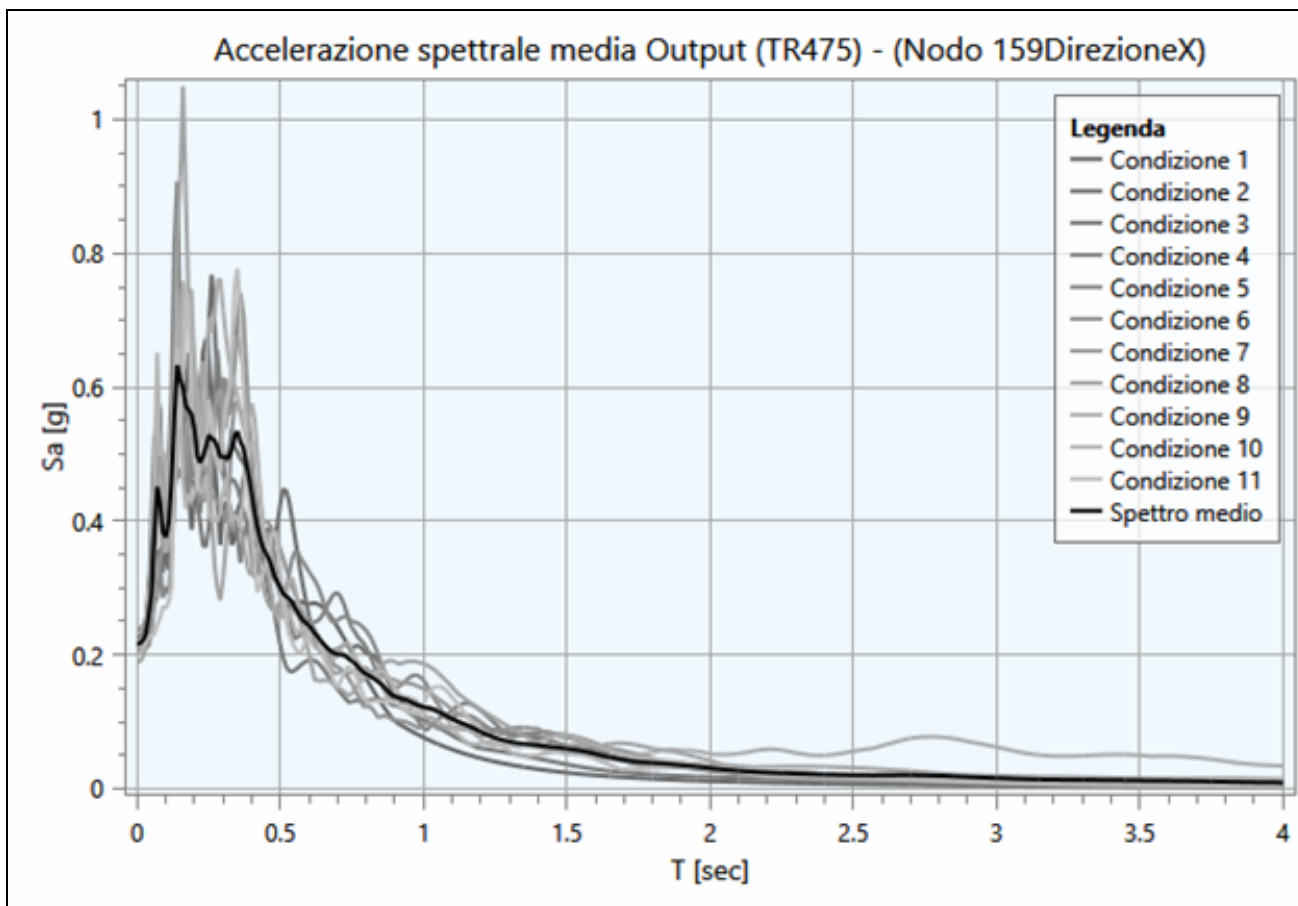
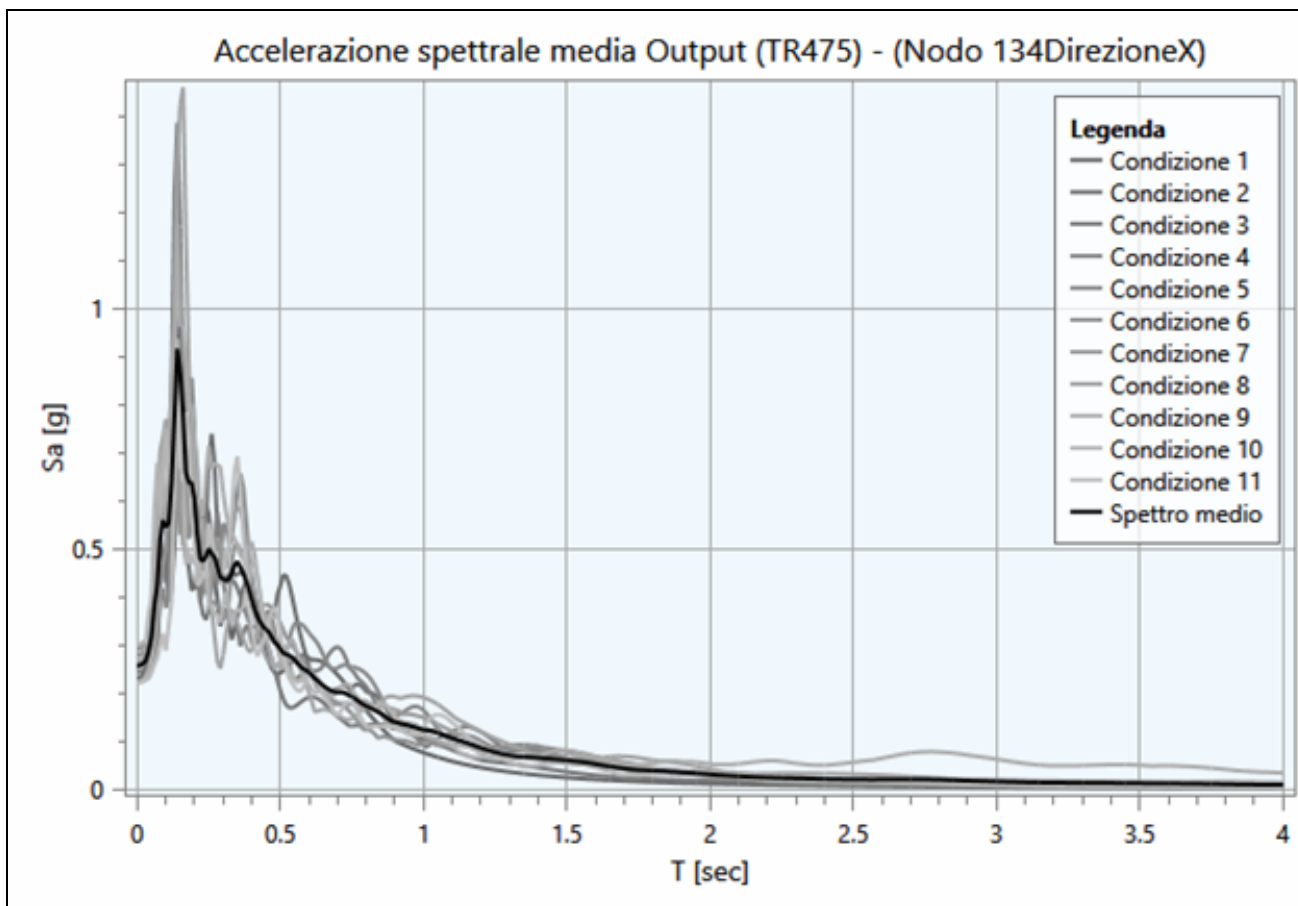
#### 9.6.4. Spettri Output

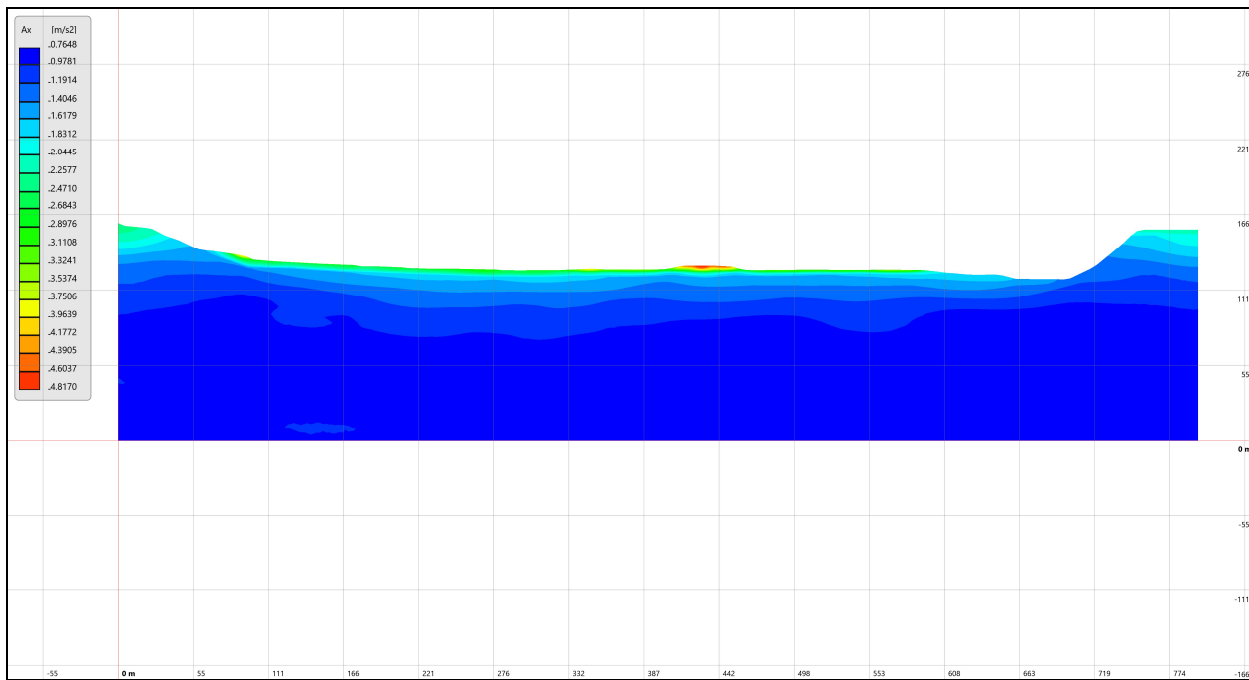
Di seguito vengono riportati, a titolo esemplificativo, gli spettri relativi alle varie analisi effettuate ed alle rispettive condizioni di carico per alcuni punti di controllo ubicati lungo la superficie e visualizzati nella precedente rappresentazione grafica.

Successivamente sono riportate le color maps relative alle accelerazioni, velocità e spostamenti derivanti dall'interpolazione dei risultati ottenuti per ogni nodo della mesh precedentemente definita contenente 27118 elementi e 14180 nodi.

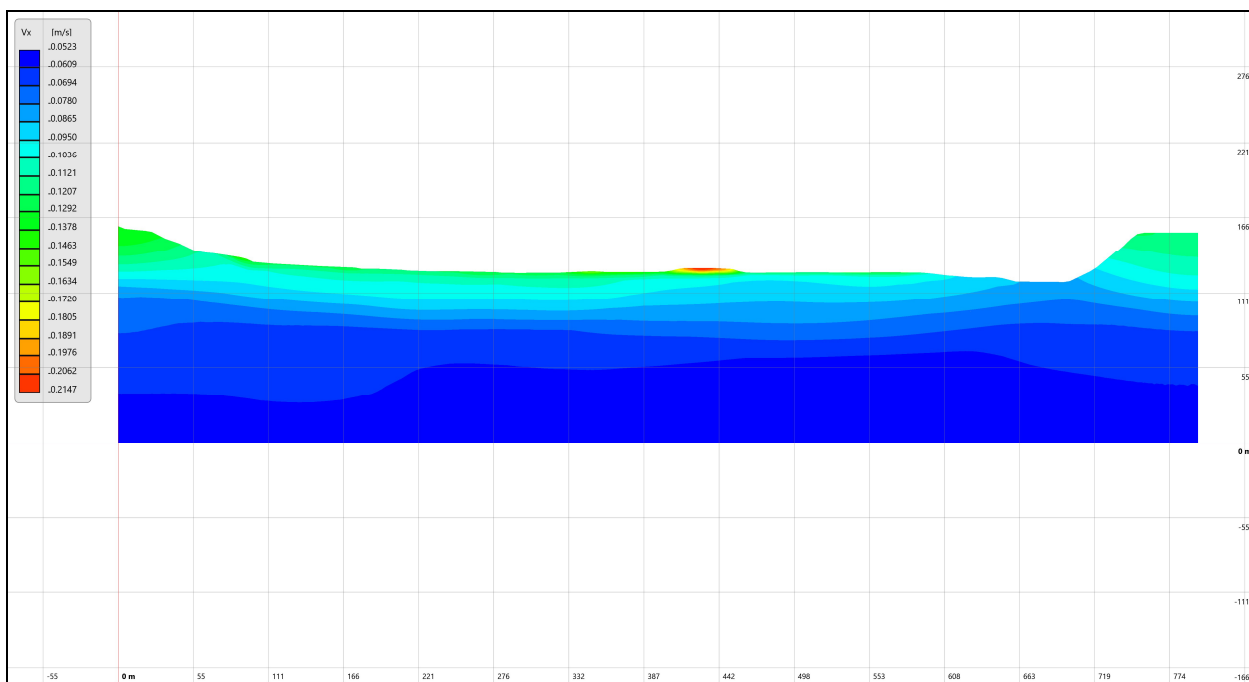






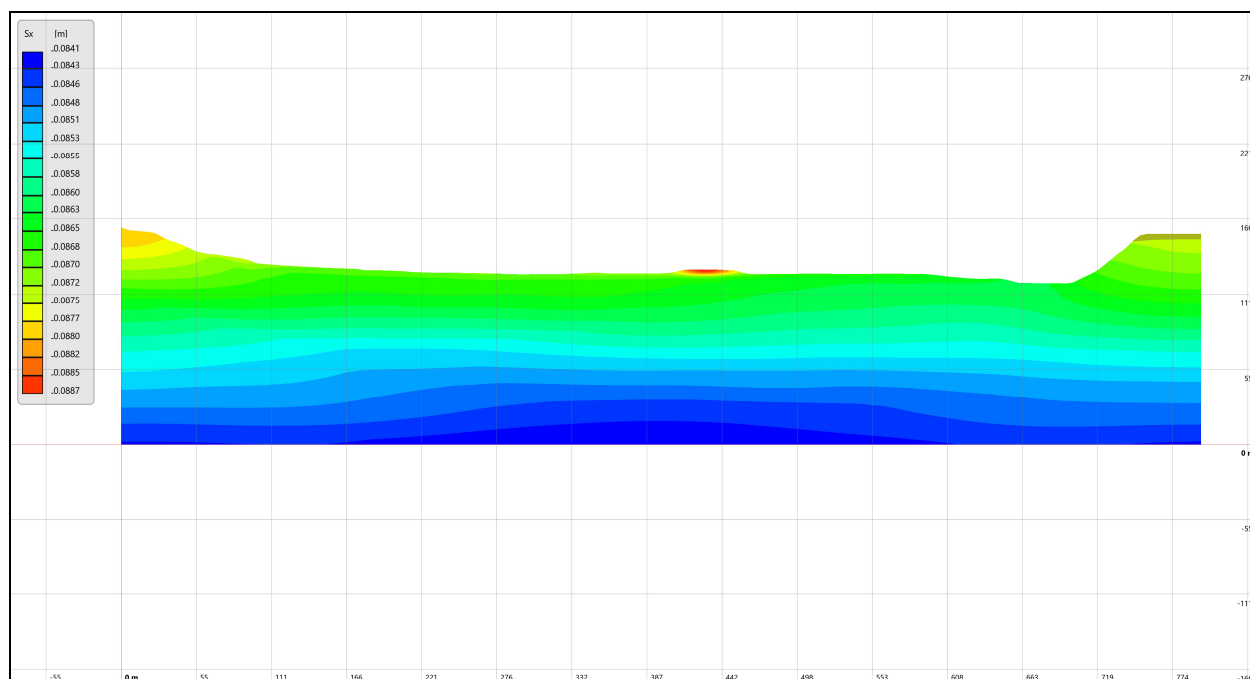


Color map accelerazioni (m/sec<sup>2</sup>)



Color map velocità (m/sec)





*Color map spostamenti (m)*

Le color map, con particolare riferimento a quella in accelerazione evidenziano i valori massimi nella zona centrale della valle, con il relativo più elevato in corrispondenza del rilavato sede della ferrovia BO-FI, e una sensibile diminuzione ai bordi della stessa. Moderati incrementi sono rilevabili ai bordi della sezione ed attribuibili essenzialmente alle condizioni topografiche. Risulta evidente inoltre come l'amplificazione del moto sismico avvenga sostanzialmente nei primi 10/15 m del sottosuolo, corrispondenti allo spessore dei depositi alluvionali sovrastanti roccia con comportamento assimilabile a bedrock sismico.

Il calcolo dei fattori di amplificazione, necessariamente discretizzato per verticali con valori riportati nelle carte di microzonazione evidenzia valori di FPGA variabili tra 1,4/1,2 a bordo sezione e 1,8/1,9 a centro valle. I fattori di amplificazione per gli alti periodi tendono invece a decrescere con valori di 1,4/1,2. I valori di detti fattori sono riassunti di seguito facendo riferimento alle colonne di controllo precedentemente identificate ubicate da ovest verso est.

Le pericolosità sismica per  $H_{SM}=0,1 < T < 0,5$  sec evidenzia una classe moderata:  $H_{SM}=484 \div 589$  cm/sec<sup>2</sup> in tutta l'area; nell'intervallo  $H_{SM}=0,4 < T < 0,8$  sec. la totalità della zona esaminata appartiene alla classe moderata:  $H_{SM}=181 \div 288$  cm/sec<sup>2</sup>; per la classe  $H_{SM}=0,7 < T < 1,1$  sec. l'area è attribuibile alla classe moderata:  $H_{SM}=117 \div 157$  cm/sec<sup>2</sup> con incremento dei valori da est verso ovest.


<b>Colonna di controllo</b>	<b>pga (g)</b>	<b>FPGA</b>	<b>FH0105</b>	<b>FH0510</b>	<b>FA0105</b>	<b>FA0408</b>	<b>FA0711</b>	<b>H<sub>SM</sub> 0105</b>	<b>H<sub>SM</sub> 0408</b>	<b>H<sub>SM</sub> 0711</b>
<b>CC1</b>	<b>0.229</b>	<b>1.43</b>	<b>1.53</b>	<b>1.37</b>	<b>1.51</b>	<b>1.46</b>	<b>1.3</b>	<b>519</b>	<b>288</b>	<b>157</b>
<b>CC2</b>	<b>0.256</b>	<b>1.6</b>	<b>1.31</b>	<b>1.24</b>	<b>1.41</b>	<b>1.26</b>	<b>1.21</b>	<b>484</b>	<b>248</b>	<b>146</b>
<b>CC3</b>	<b>0.299</b>	<b>1.87</b>	<b>1.58</b>	<b>1.09</b>	<b>1.71</b>	<b>1.19</b>	<b>1.06</b>	<b>589</b>	<b>235</b>	<b>128</b>
<b>CC4</b>	<b>0.302</b>	<b>1.89</b>	<b>1.4</b>	<b>1.02</b>	<b>1.57</b>	<b>1.05</b>	<b>1</b>	<b>541</b>	<b>207</b>	<b>121</b>
<b>CC5</b>	<b>0.185</b>	<b>1.16</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1.02</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>353</b>	<b>181</b>	<b>117</b>
<b>CC6</b>	<b>0.216</b>	<b>1.35</b>	<b>1.34</b>	<b>1.24</b>	<b>1.36</b>	<b>1.29</b>	<b>1.2</b>	<b>468</b>	<b>254</b>	<b>144</b>

## 10. CONFRONTO CON I DANNI DEGLI EVENTI PASSATI

Per gli eventi passati non è stato possibile reperire attendibili ed affidabili informazioni sulla distribuzione territoriale delle tipologie dei danni poiché per l'evento del febbraio 1455 è riportato che "crollarono molte case e che ci fu molto panico nella popolazione lungo la media valle del F. Reno" e che non ci furono vittime, senza specifica localizzazione degli effetti; analogamente anche per il sisma del giugno 1896 non sono descritti gli effetti. Ne consegue che non è effettuabile il confronto con le analisi e stime di pericolosità di Microzonazione Sismica sviluppate.

Da queste ultime si evince che gli effetti dello scuotimento si sono manifestati principalmente con amplificazioni per effetti della stratigrafia. Detti risentimenti in rapporto ai dati forniti dalle verticali a stazione singola HVSR, che in presenza dei depositi alluvionali latitanti il F. Reno evidenziano ampiezze generalmente di 4 - 6 e non di rado tra 6 e 10, si possono manifestare con effetti più accentuati nelle fasce dei terrazzi alluvionali latitanti il sopracitato fiume e fasce al bordo dello stesso.

Dr. Geol. **GIAN PIETRO MAZZETTI**



*Gian Pietro Mazzetti*

## 11. BIBLIOGRAFIA

- NOTE ILLUSTRATIVE della CARATA GEOLOGICA D'ITALIA (2002) alla scala 1:50.000, foglio 237 SASSO MARCONI. ISPRA SGI Enti realizzatori Regione Emilia – Romagna SGSS, a cura di F. PANINI, G. BETTELLI, M. PIZZIOLO.
- NOTE ILLUSTRATIVE della CARATA GEOLOGICA D'ITALIA (2009) alla scala 1:50.000, foglio 220 CASALECCHIO DI RENO. ISPRA SGI Enti realizzatori Regione Emilia – Romagna SGSS, a cura di L. MARTELLI, A. BENINI, M.T.DE NARDO.
- NOTE ILLUSTRATIVE della CARATA GEOLOGICA D'ITALIA (2005) alla scala 1:50.000, foglio 219 SASSUOLO. ISPRA SGI Enti realizzatori Regione Emilia – Romagna SGSS, a cura di G. GASPERI, F. PANINI, G. BETTELLI, M. PIZZIOLO.
- NOTE ILLUSTRATIVE della CARATA GEOLOGICA D'ITALIA (2002) alla scala 1:50.000, foglio 236 PAVULLO NEL FRIGNNO. ISPRA SGI Enti realizzatori Regione Emilia – Romagna SGSS, a cura di F. PANINI, G. BETTELLI, M. PIZZIOLO.
- NOTE ILLUSTRATIVE della CARATA GEOLOGICA D'ITALIA (2002) alla scala 1:50.000, foglio 235 PIEVEPELAGO. ISPRA SGI Enti realizzatori Regione Emilia – Romagna SGSS, a cura di G. PLESI.
- DGR1302/2012. Deliberazione della Giunta Regionale n. 1302/18/07/2012, “Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione e concessione dei contributi di cui all'OPCM 4007/2012 a favore degli enti locali.” <http://demetra.regione.emilia-romagna.it/> o <http://www.regione.emilia-romagna.it/geologia/>
- REGIONE EMILIA ROMAGNA – REGIONE TOSCANA – UNIVERSITA' DI SIENA 1240, AA.VV., 2013, Assetto tettonico e potenzialità sismogenetica dell'Appennino Tosco – Emiliano – Romagnolo e Val Padana. Centro Stampa – Regione Emilia Romagna.
- NASO G. – MARTELLI L. – BRAGLIONE M. – CASTENETTO S. – D'INTIOSANTE V. – ERCOLESSI G. (2019), *Maps for land management: from geology to seismic hazard*, Boll. Geof. Teor. Appl., Vol.60, DOI 10.4430/bgt0263.
- 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.
- DISS Working Group (2018), Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), versione 3.2.1: A compilation of potential sources for earthquakes 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 .
- MARTELLI L. (coord.), BOVINI 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.
- G. P. MAZZETTI; 2019: Opportunità della Microzonazione Sismica; Territori della Cultura pp 82-84, Centro Universitario Europeo per i Beni Culturali Ravello.
- MANICARDI A. – MAZZETTI G. P. – GILLI S. (2013) Geological characters and strummental seismic response of litho units between ridge and Apennine foothills: areas of the Municipalities of Montese, Zocca, Guiglia, Marano s/P NATURAL HAZARD – E3. Sismic hazard: state of the art and open issues – Pubblicato sul sito <http://www.geoitatia2013.it/>
- LOCATI M., CAMASSI R. E STUCCHI M. (a cura di), 2011. BDM11, *la versione 2011 del Database Microsismico Italiano*. Milano, Bologna, <http://Edius.mi.ingv.it/DBM11>
- 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. [http://www.protezionecivile.it/cms/view.php?dir\\_pk=395&cms\\_pk=15833](http://www.protezionecivile.it/cms/view.php?dir_pk=395&cms_pk=15833)
- DAL 112/2007. Deliberazione dell'assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna n.112 del 2/5/2007: Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art.16 comma 1, della L.R. 20/2000 per “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica”. Boll. Uff. Reg. Emilia-Romagna n.64 del 17/05/2007. <http://demetra.regione.emilia-romagna.it/> o <http://www.regioneemilia-romagna.it/geologia/>
- AGI, 2005: Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica. Linee Guida, Associazione Geotecnica Italiana, Patron Editore.
- MELETTI C. E VALENSISE G., 2004. Zonazione sismogenetica ZS9-Aip. 2 al rapporto Conclusivo. In: “Gruppo di Lavoro MPS (2004). Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCm 3274 del 20 marzo 2003”. Rapporto per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici.
- BOCCALETTI M. – MARTELLI L. – AA.VV. (2003) – Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna. S.E.L.C.A. Firenze.
- OPCM 3274/2003. Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003: “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”. G.U. n. 155, 08/05/2003, suppl. ord. N. 72.
- L.MARTELLI, A. MANICARDI, G.P. MAZZETTI, C. UGOLETTI. (2009). PTCP MODENA Carte Della Sicurezza Del Territorio, Riduzione Del Rischio Sismico, Carta Delle Aree Suscettibili Di Effetti Locali.
- A. CAMPISI, M. GUERRA, F. MANENTI, L. MARTELLI, G.P. MAZZETTI (2007) PTCP DI REGGIO EMILIA: Rappresentazione Della Pericolosità Sismica Locale a Scala Provinciale e Indirizzi Per La Pianificazione Comunale, 26° Convegno Nazionale Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida, Novembre.
- MAZZETTI G.P. (2006), Evoluzione Geologica Del Territorio Reggiano. pp. 8-20 in “Una Provincia allo Specchio: Reggio Emilia”; Telesio Editrice, Carnate, Milano.
- M. PAGANI, A. MARCELLINI, R. DAMINELLI, L. MARTELLI, G.P. MAZZETTI (2003). Valutazione Della Pericolosità Sismica Di Castelnovo Ne' Monti, Convegno Nazionale, Gruppo Nazionale di Geofisica della terra Solida, C.N.R., Roma.
- MAZZETTI G.P. (1990). Studio geologico per il P.R.G. Di Villa Minozzo (RE). Secondo Seminario Cartografia Geologica, Regione Emilia Romagna, Poster Section. Mem. Carta Geologica d'Italia - Vol. XLVI, Servizio Geologico Nazionale, Poligrafico dello Stato.
- MAZZETTI G.P. – NASSER A.Z. – GILLI S. (2003) – Enza the alluvial cone model trough geoelectric prospection, Atti 4<sup>th</sup> European Congress in Regional Geoscientific Cartography; R.E.R. Ind. Graf. Labanti e Nanni – BO.
- DI DIO G. ET ALII (1998) - Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia Romagna S.E.L.C.A. Firenze
- SCANDONE P. ET ALII (1992) - Struttura geologica, evoluzione cinematica e schema sismotettonico della penisola italiana, Atti, Convegno GNDT.
- BOSELLINI A.- MUTTI E. - RICCI LUCCHI F. (1989) - Rocce e Successioni sedimentarie UTET
- AGIP (1981) - Subsurface geological structure of the Po Plain. Italy - C.N.R.
- BOSELLINI A. (1981) - The Emilia fault: a Jurassic fracture zone that evolved into a Cretaceous Paleogene sinistral wrench fault. Boll. Soc. Geol. It.
- FERRARI G - POSTPISCHL D. (1981) - Le scale macrosismiche C.N.R. P.F. Geodinamica. Pubbl. N° 387. Ist. Topografia, geodesia e geofisica Mineraria, UNIV. MO

- AA.VV. (1990-2012) – Rapporti ed indagini geognostiche sul territorio di Marzabotto BO. Documenti inediti.
- PANIZZA M. – MANTOVANI F. 1974 – Geomorfologia del territorio di Pavullo nel Frignano (Appennino Modenese). Atti Soc. Nat. Mat. Di Modena, 99.
- C.N.R. (1979) - Carte preliminari di scuotibilità del territorio nazionale. Pubbl. N° 227 ESA Editrice - Roma
- IST. GEOL. UNIV. MO (1978) - *Metodologie e primi risultati di neotettonica nel modenese e territori limitrofi. Mem. Soc. Geol. It.*
- VANDENBERG J. & WONDERS A.A.H. (1976) - Paleomagnetic evidence of large fault displacement around the Po-Basin. *Tecnophysics.*
- ENI (1972) - Acque dolci sotterranee - ENI
- AGIP (1969) - Italia II - Geologia e ricerca petrolifera; Pianura Padana Veneta. Enciclopedia del petrolio e del gas naturale, ENI
- LOSACCO U. (1949) - La glaciazione quaternaria dell'Appennino Settentrionale. Riv geografia It, 56 (2)
- COLOMBETTI A, 1975 – Cenni geomorfologici del territorio di Zocca – Castel d'Aiano (Appennino Modenese - Bolognese) L'ateneo parmense – Acta Naturalia.
- PANIZZA M. ET ALII, 1978, Geomorfologia Dell'area Circostante La Pietra Di Bismantova; Servizio Geologico d'Italia, vol. XCVII, C.N.R.
- MAZZETTI G.P. 1978, Geomorfologia della Sinclinale di Carpineti, Tesi non pubblicata, Istituto di Geologia UNIVERSITA' DI FERRARA