



PROTEZIONE CIVILE
 Presidenza del Consiglio dei Ministri
 Dipartimento della Protezione Civile



Regione Emilia-Romagna



CONFERENZA DELLE REGIONI E
 DELLE PROVINCE AUTONOME

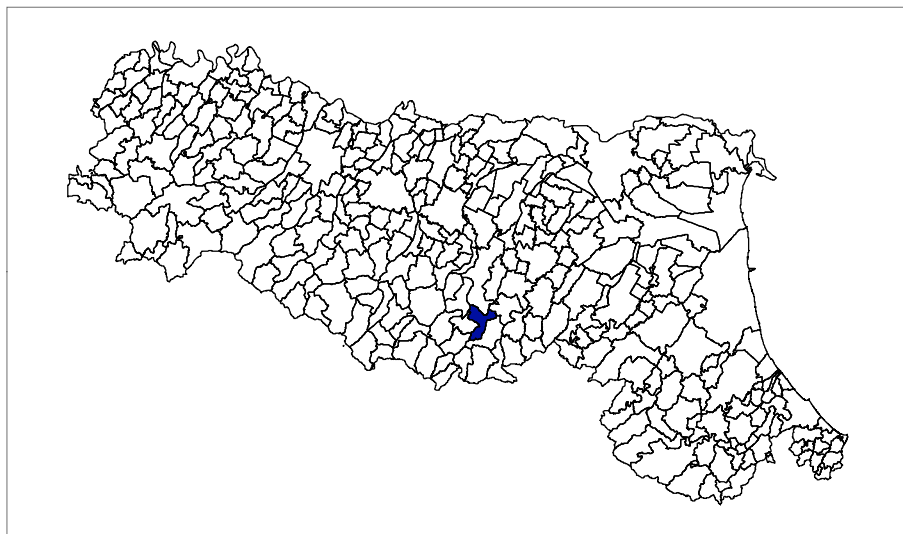
Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n.77

MICROZONAZIONE SISMICA

Modellazione e caratterizzazione geologico sismica e geotecnica

Relazione Tecnica Illustrativa

Regione Emilia-Romagna
Comune di Vergato



<p>Regione Emilia Romagna</p> <p><i>Studio realizzato con il contributo di cui all'OCDPC 344/2016 DET ER 8757/2017. 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> Giuseppe Argentieri</p> <p><i>Responsabile Urbanistica - Edilizia - Ambiente:</i> Katia Lenzi</p> <table border="1" data-bbox="1023 2011 1481 2107"> <tr> <td data-bbox="1023 2011 1252 2107"> <p>Data Febbraio 2021</p> </td> <td data-bbox="1252 2011 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 VERGATO

INDICE

1. INTRODUZIONE.....	1
1.1. INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO	3
2. METODOLOGIA D'INDAGINE.....	5
3. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE	7
3.1. Pericolosità sismica – Definizione del moto di riferimento.....	14
4. ASSETTO GEOLOGICO STRUTTURALE	16
4.1. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.....	25
4.2. DEPOSITI CONTINENTALI.....	27
5. MODELLAZIONE SISMICA.....	29
5.1. CARATTERISTICHE STRUTTURALI E SISMOTETTONICHE.....	29
5.2. INQUADRAMENTO SISMOTETTONICO.....	31
5.3. Attività tettonica.....	33
6. INTERPRETAZIONE ED INCERTEZZE /METODOLOGIA DI ELABORAZIONE E RISULTATI	35
6.1. MICROTREMORI CON LA TECNICA HVSR	36
6.2. PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE ATTIVA/PASSIVA MASW /RE.MI.....	36
7. PRIMO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO.....	38
7.1. CARTA DELLE INDAGINI	38
7.2. CARTA GEOLOGICO TECNICA	39
7.3. CARTA DELLE FREQUENZE NATURALI DEL TERRENO	41
7.4. MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA O DELLE AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI	44
7.4.1. Sintesi modello litostratigrafico	65
8. SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO.....	66
8.1. CARTA DELLE NUOVE INDAGINI	70
8.2. CARTA DELLE VELOCITÀ DELLE ONDE DI TAGLIO S (VS)	70
8.3. CARTA DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE – MICROZONAZIONE SISMICA	72
8.4. Carta dei fattori di amplificazione dell'accelerazione massima orizzontale F.a.P.G.A	74
8.5. Carta dei fattori di amplificazione di intensità di Housner in termini di velocità nell'intervallo FH $0,1 < T < 0,5$ sec.....	75
8.6. Carta dei fattori di amplificazione di intensità di Housner in termini di velocità nell'intervallo FH $0,5 < T < 1,0$ sec.....	75
8.7. Carta dei fattori di amplificazione in termini di accelerazione nell'intervallo FA $0,1 < T < 0,5$ sec.....	76
8.8. Carta dei fattori di amplificazione in termini di accelerazione nell'intervallo FA $0,4 < T < 0,8$ sec.....	76
8.9. Carta dei fattori di amplificazione in termini di accelerazione nell'intervallo FA $0,7 < T < 1,1$ sec.....	77
8.10. LIVELLO DI PERICOLOSITA' SISMICA H_{SM}	77
8.11. Carta del livello di pericolosità nell'intervallo H_{SM} : $0,1 < T < 0,5$ sec.....	77
8.12. Risentimenti sismici - 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. Definizione degli input sismici	80
9.2.1. Prove Dinamiche	83
9.3. Comportamento non lineare dei terreni	87
9.4. OSPEDALE CIVILE DI VERGATO–CASA DELLA SALUTE	89
9.4.1. Caratterizzazione geomorfologico – stratigrafica	89
9.4.2. Caratteristiche geotecniche di insieme.....	89
9.4.3. Parametrizzazione sismica.....	90
9.5. ZONA EDIFICIO MUNICIPIO –SCUOLA DELL'INFANZIA VIA CAVOUR	92
9.5.1. Caratterizzazione geomorfologico – stratigrafico	92
9.5.2. Caratteristiche geotecniche di insieme.....	92
9.5.3. Parametrizzazione sismica.....	92
9.6. ZONE ISTITUTO ISTRUZIONE LUIGI FANTINI – POLO SPORTIVO VIA DEL TENNIS	94
9.6.1. Caratterizzazione geotecnica dei siti.....	94

9.6.2.	CORRELAZIONI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	95
9.7.	ISTITUTO DI ISTRUZIONE SUPERIORE SCUOLA LUIGI FANTINI	97
9.7.1.	Caratterizzazione geomorfologica tecnica	97
9.7.2.	Indagini di caratterizzazione	98
9.7.1.	Pericolosità di liquefazione.....	99
9.7.2.	Parametrizzazione sismica.....	100
9.7.3.	Verifiche di stabilità	102
9.7.4.	Analisi condizioni di stabilità.....	104
9.7.5.	Analisi dinamica semplificata col modello di Newmark	105
	POLO SPORTIVO VIA DEL TENNIS – VIA LISERNA.....	106
9.7.6.	Caratterizzazione geomorfologicotecnica.....	106
9.7.7.	Indagini di caratterizzazione	106
9.7.1.	Pericolosità di liquefazione.....	109
9.7.2.	Parametrizzazione sismica.....	109
9.7.3.	Verifiche di stabilità	111
9.7.1.	Analisi condizioni di stabilità.....	113
9.7.2.	Analisi dinamica semplificata col modello di Newmark	113
10.	CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI.....	115
11.	BIBLIOGRAFIA.....	116

Tav. 1.1	Carta delle indagini pregresse e nuove	1:10.000
Tav. 1.1.1-1.1.4	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. 1.4	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
Schede di verifiche di stabilità
Analisi di laboratorio geotecnico

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 Vergato (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 Vergato, BO, del 2014 – 2016 (*Centrogeo*), validato RER – DPCIV. 07/2016, sono state rielaborate adeguate ai criteri della DGR 630/2010 e standard 4.1.

La microzonazione sismica di III° livello, realizzata con il contributo di cui all'OCDPC 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 Vergato 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 versanti sede di edifici scolastici ed impianti sportivi su depositi di frana.

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 Vergato 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 **dei comuni dell'Appennino Bolognese**: CIG: Z151FAC08A – Progetto n°867, coordinatore dell'Area 3: *Dr. Ing. Emilio Pedone*.

La microzonazione sismica del territorio di Vergato, 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 Vergato – Responsabile Arch. Katia Lenzi, U.O. Urbanistica Geom. Giampaolo Zaccanti*.

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 Vergato si sviluppa su una superficie di circa 59,94 kmq.

Il limite comunale settentrionale si estende, in direttrice ovest – est, da Finanza a M.no del Notaro alla strada per Tolè – strada Madonna del Rodiano, dirigendosi poi a sud assecondando il Fosso dei Bastadini e quindi dopo aver seguito un tratto di Strada dello Stradello si dirige a sud verso Zoncara; successivamente il confine segue il tracciato del Rio del Merlo – Rio delle Rovine sino all’ affluenza al Rio Croara, dirigendosi successivamente a nord verso Cà di Minare ed allineandosi poi al Fosso della Malta sino a strada Malta. Da quest’ultima si dirige a sud est verso M. Radicchio dal quale giunge alla strada per Menfollè e poi si orienta a sud in direzione di Sanguineda ed attestandosi sull’ asta del Rio Cornecchio la segue sino alla confluenza con il F. Reno. Il confine segue in direzione sud – sud ovest il percorso di detto fiume sino a Madonna del Bosco e da questa si estende in destra Reno per una fascia che asseconda l’asta fluviale sino al Fosso Fabiani. Da quest’ultimo riprende a seguire il tracciato fluviale in direzione sud dal capoluogo sino a Malpasso a sud del quale passa in destra Reno seguendo il Rio Secco sino a Chiaso dal quale si orienta ad ovest raggiungendo l’asta del F. Reno seguendola sino a Riola all’affluenza a detto fiume del Rio Correcchio – Rio Sassone e seguendoli in direzione nord sino a Sassone. Successivamente si estende in verso nord congiungendosi al Fosso Nadia sino alla sua confluenza con il T. Aneva che è assecondato sino a Cà Giuseppe – Mottaruglio. Da questi ultimi si dirige a nord verso Castellaro – Campo Murato dal quale si orienta a nord ovest verso il T. Vergatello e dopo averlo seguito per un breve tratto si dirige a nord ovest a Rocca di Roffreno. Prosegue poi a nord verso Strada sino alle pendici occidentali di M. Pigna intercettando Strada Santa Lucia e seguendola sino a Le Coste dalla quale flette ad ovest in direzione di Aia Vecchia sino al Fosso dei Prati che è seguito sino al Rio della Ghiaia e si allinea allo stesso sino a C. Ghiaia dalla quale asseconda la Strada Manzali sino a Trada – Santa Croce per dirigersi poi a nord verso Finanza.

Il territorio del Comune di Vergato (BO) appartiene alle tavole 237 NO SAVIGNO e 237 SO VERGATO del F° BOLOGNA N° 87.

L’area in analisi ricade nelle sezioni della Carta Tecnica Regione Emilia Romagna:

CEREGLIO N° 237050

VEDEGHETO N° 237060

CASTEL D’AIANO N° 237090

VERGATO N° 237100

RIOLA N° 237130

MONTEACUTO RAGAZZA N° 237140

Il territorio comunale ha geometria sub trapezoidale con lati maggiori ai confini occidentale ed orientale, e base maggiore in quello settentrionale.

L'area comunale è delimitata:

- dai meridiani:
 - 662.080 ad ovest
 - 672.420 ad est
- dai paralleli
 - 4899430 a sud
 - 4912160 a nord.

Dal punto di vista altimetrico i terreni sono compresi tra 145/150 e 700/900 m slm; le quote relative minori, tra 145/150 m slm, contraddistinguono la fascia di fondovalle F. Reno al confine settentrionale mentre quelle che caratterizzano i principali rilievi corrispondenti ai 883 ÷ 808 ÷ 792 m slm di M. Pigna, M. Croce e M. Mantino nella zona nord occidentale; 760 ÷ 645 m slm di Monte Pero e M. Poggio nel settore centro-settentrionale; 695 m slm in corrispondenza del Monte Radicchio nella zona nord orientale; 716 m. slm nella zona a nord di Palazzaccio nel settore meridionale.

Tali quote collocano il territorio in esame nella fascia collinare e 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 le altimetrie minori nella fascia centrale del territorio estesa sud nord, che asseconda l'andamento del F. Reno, nella quale le quote sono mediamente comprese circa tra 150 e 250 m e presentano assetto morfologico a blanda pendenza; a tale settore appartengono il capoluogo ed alcuni insediamenti con quote medie di 190 e 210 m slm. Gli altri areali urbanizzati sono ubicati nella zona nord occidentale del comune, Cereglio e Tolè, con quote che si attestano rispettivamente ad altitudini medie di 640-650 e 670-680 m slm, e Riola, sita all'estremità meridionale in sinistra fondovalle Reno, con quote medie di 250-280 m slm.

Il territorio di Vergato appartiene ad una placca formata la litozone prevalentemente arenacee nella zona settentrionale ed all'estremità sud occidentale, è altresì costituito da litozone principalmente argillitiche - argillose nel settore centro meridionale e orientale; tali litotipi si rinvengono anche all' estremità nord occidentale ed in una parte del territorio settentrionale centrale Tra Cereglio -M. Cornudo - M. Croce.

La presenza di tipi rocciosi a diverso grado di resistenza all'erosione, unitamente agli assetti strutturali, ha determinato aspetti del passaggio a pronunciata differenziazione caratterizzati da morfologie discretamente vivaci nei settori meridionali occidentali (zona di Soprasasso), centro-settentrionali, nord-orientali e nord-occidentali, formati da tipi rocciosi competenti; questi ultimi per processi erosivi di tipo selettivo hanno determinato forme di incisione che disegnano il territorio con aspetti rupestri con diffusa presenza di versanti con acclività di 40° ÷ 50° omogeneamente distribuiti in tali zone del territorio. Detti versanti prevalgono tendenzialmente nelle aree settentrionali (da ovest ad est) e meridionali, nelle quali i rilievi sono principalmente costituiti da formazioni arenacee e calcaree, zona di Soprasasso, e nelle zone settentrionali arenacee conglomeratico arenacee: area tra M. Pero, M. Radicchio, M. Croce, M. Sette Croci.

Detti aspetti oltre al grado di resistenza all'erosione 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 di Vergato, in funzione delle quote medie 450/650 /750 m slm, era caratterizzato da ambiente morfoclimatico periglaciale.

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

Morfologie a bassa acclività si rilevano o nella parte settentrionale, dove costituiscono zone ad altopiano come tra Tolè – Palazzetto delle Suore – Bortolani, o ripiani morfologici di estensione relativa inferiore che generalmente sono perimetrati, non completamente, da versanti ad acclività medio elevata: 20° ÷ 40°. Tali superfici sono osservabili tra Cà Giardino – Le Coste, Praticcioli – Locare del Bello – Caponara – Le Coste, a nord di Cereglio tra Pradanera ed il crinale ad ovest di Grotta la Sponga.

Quest'ultima presenta una morfologia sub ellittica allungata ovest est per 1,4/1,5 km, con asse circa sub parallelo alla SP. Valle del Lavello e nel settore ad oriente di detta SP. è ascrivibile ad un avvallamento doliforme.

Le rimanenti aree a bassa pendenza, correlate a litozone con grado di consistenza relativo inferiore e ad accumuli di frana quiescenti o attivi, di maggior estensione si osservano nella fascia centrale meridionale estesa ovest est circa tra Canovetta – Pieve di Rottofreno, e più ad est nella zona tra Prunarolo e Cà Berti, a sud ovest tra Colombacciaro – la Serra e La Ghiara/Monzane.

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 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° 29 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°50 verticali a stazione singola di acquisizione microtremori con metodo verticale 29 delle quali restituite con profilo verticale delle velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio.

Per le disamine di M3 sono state eseguite ulteriori 18 prospezioni Re.Mi./MASW, 19 verticali a stazione singola HVSR, 14 profili in tomografia sismica 2D, 11 prove penetrometriche dinamiche superpesanti DPSH, 1 sondaggio meccanico a carotaggio continuo con esecuzione di prove di penetrazione codificata: SPT, prelievo di campioni indisturbati ed analisi di laboratorio geotecnico; oltre a questi sono stati utilizzati i dati di un indagine geognostica e sismica effettuati da Dr. T. Veronese nell'area sede dell'Istituto Scolastico Fantini su commissione di Città Metropolitana di Bologna e dalla stessa messi a disposizione.

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.

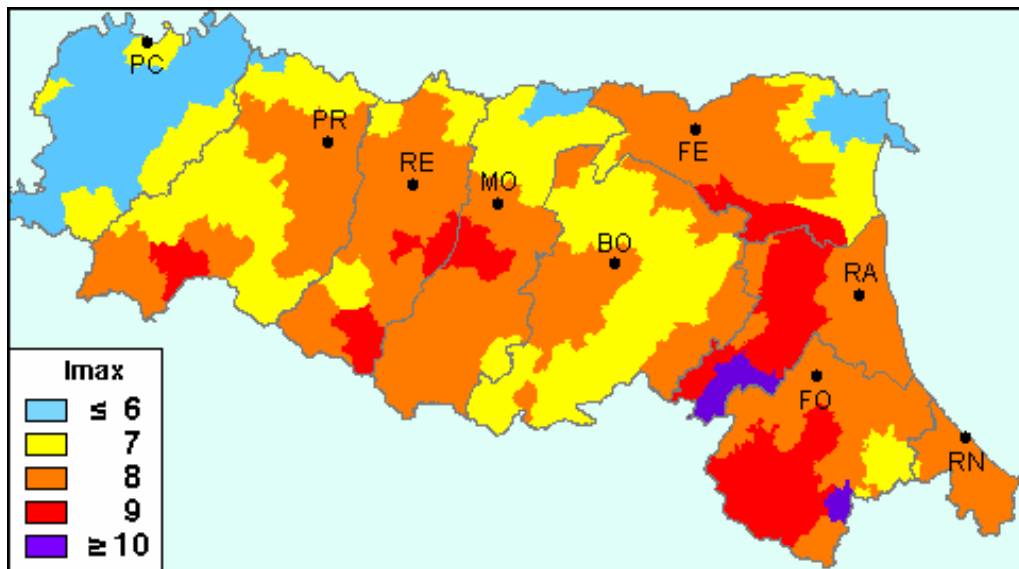
Le ulteriori prospezioni per le analisi di MS3, unitamente ad indagini geognostiche prove penetrometriche statiche CPT.Rm e prove penetrometriche dinamiche superpesanti DPSH, effettuate da AA.VV. negli ambiti immediatamente adiacenti alle aree oggetto dei locali approfondimenti di III° livello hanno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

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) ed è connessa a meccanismi focali compressivi e compressivo trascorrenti nelle zone sorgente di media profondità (15 ÷ 35 km) e subordinatamente profondi (≥ 35 km).

Nell'ambito in cui ricade il territorio comunale di Vergato (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:

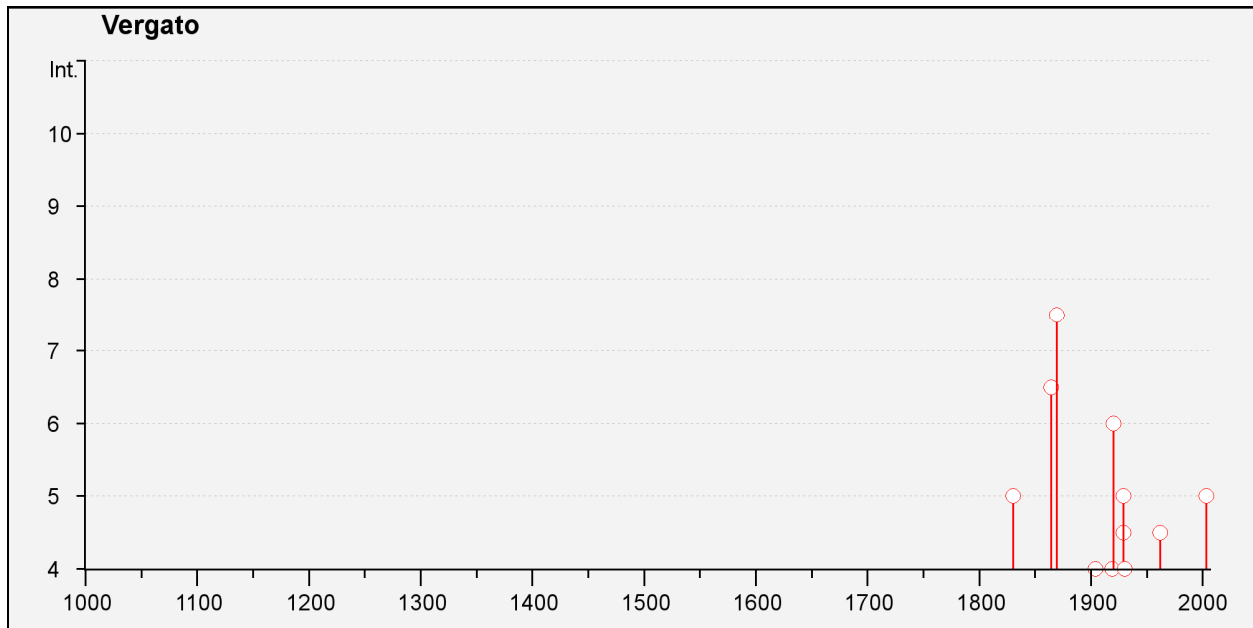


Nell'area a cui appartiene il territorio di Vergato, BO e dei comuni contermini, il Database Macrosismico DBMI15 utilizzato per la compilazione del catalogo parametrico CPTI15 (a cura di Rovida A., Locati M., Camassi R., Loli B., Gasperini P. (eds), 2016. CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue 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 Vergato
Numero di eventi: 31

Effetti	In occasione del terremoto del:				
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io	Mw
5	1830.01.26 04:30	Appennino bolognese	11	5-6	4.74 ± 0.65
6-7	1864.03.15	ZOCCA	13	6-7	4.90 ± 0.71
7-8	1869.06.25 13:58	Media valle del Reno	18	7-8	5.42 ± 0.48
3	1895.05.18 19:55	Fiorentino	401	8	5.43 ± 0.08

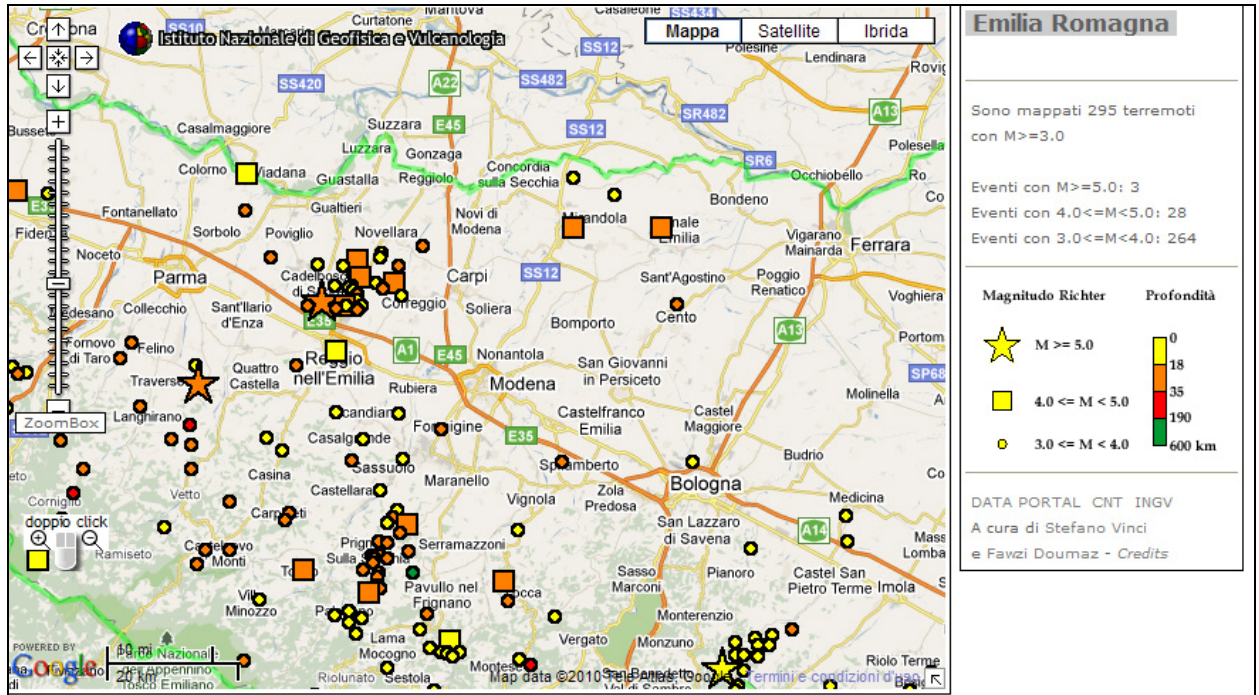
Effetti	In occasione del terremoto del:				
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io	Mw
F	1898 03 04 21:05	Valle del Parma	313	7-8	5.41 ±0.09
4	1904 11 17 05:02	Pistoiese	204	7	5.15 ±0.14
NF	1908 06 02 22:30	FRIGNANO	18	4-5	4.52 ±0.25
NF	1909 08 25 00:22	MURLO	283	7-8	5.37 ±0.10
NF	1911 02 19 07:18	Romagna meridionale	181	7	5.28 ±0.11
2-3	1911 09 13 22:29	Chianti	115	7	5.19 ±0.14
3	1913 02 13 16:39	Appennino tosco-emiliano	27	5	4.54 ±0.25
NF	1913 07 21 22:35	VALLE DEL LAMONE	43	5-6	4.78 ±0.19
3	1916 05 17 12:49	Alto Adriatico	132		5.95 ±0.14
4	1919 06 29 15:06	Mugello	566	10	6.29 ±0.09
6	1920 09 07 05:55	Garfagnana	756	10	6.48 ±0.09
4-5	1929 04 10 05:43	Bolognese	87	7	5.03 ±0.13
5	1929 04 19 04:15	Bolognese	82		
5	1929 05 11 19:22	Bolognese	64		
4	1930 05 24 22:02	FIUMALBO	43	5	4.81 ±0.17
2	1931 09 05 01:25	Mugello	28	6	4.80 ±0.22
3	1931 12 15 03:31	Mugello	26	6	4.85 ±0.24
3	1937 12 10 18:03	APP. MODENESE	28	6	5.17 ±0.25
4-5	1962 05 11 01:05	Appennino tosco-emiliano	7	4-5	4.42 ±0.25
2-3	1983 11 09 16:29	Parmense	850	6-7	5.06 ±0.09
NF	1984 04 29 05:02	GUBBIO/VALFABBRICA	709	7	5.65 ±0.09
NF	1986 12 06 17:07	BONDENO	604	6	4.61 ±0.10
NF	1992 04 17 11:59	Monteveglia	56	4-5	4.32 ±0.18
2	1995 10 10 06:54	LUNIGIANA	341	7	4.85 ±0.09
3	1999 07 07 17:16	Frignano	32	5	4.70 ±0.09
NF	2000 05 10 16:52	Emilia Romagna	151	5-6	4.86 ±0.09
5	2003 09 14 21:42	Appennino bolognese	133	6	5.29 ±0.09



*Dove: Io ed Mw = 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 Vergato 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 Vergato 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 10/12 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 Vergato 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 forti terremoti Italia (CFTI-2020) che testimonia un terremoto 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 indicati per il sisma del 20/12/14 con $M_e = 4,9$ nella media valle del F. Reno (Località Borghetti).

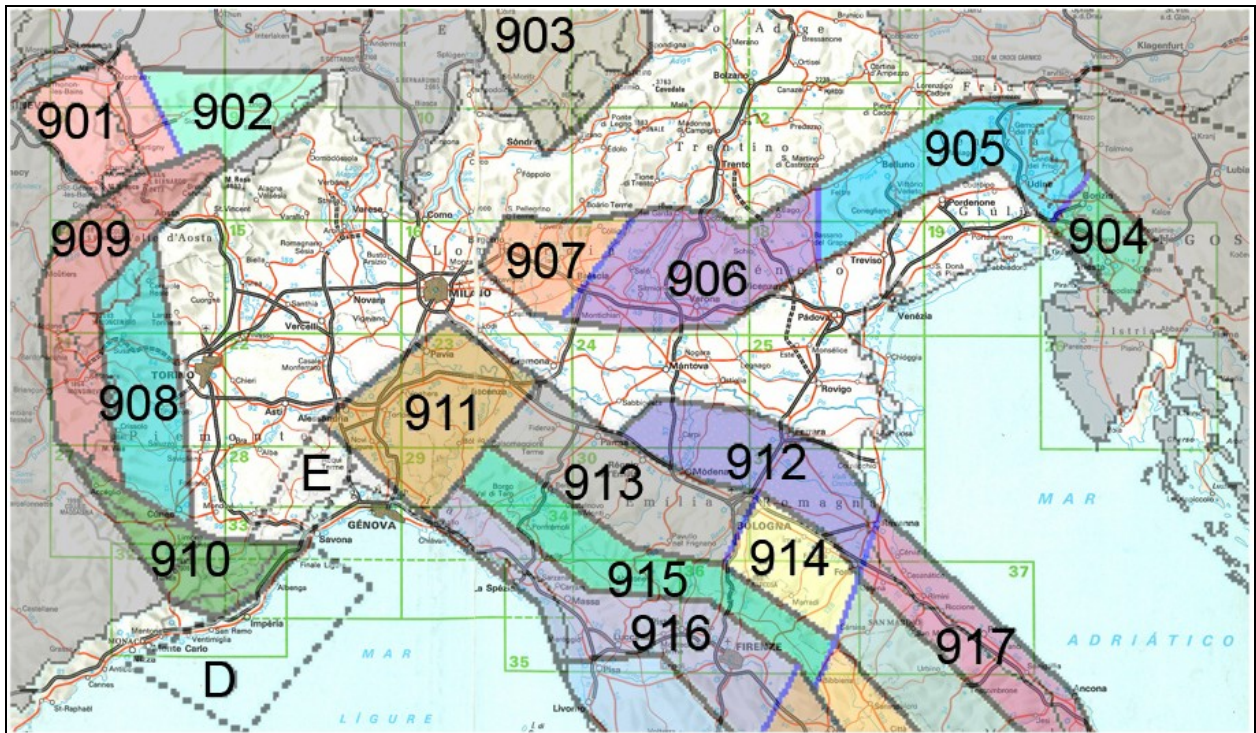
Nei periodi successivi al 1850 il catalogo CPTI 15 documenta un evento sismico che ha indotto effetti con $I = 7-8$ con $M_e = 5,4$ avvenuto il 25/06/1869 con epicentro circa 1 km a nord di Molinello.

In tempi seguenti la fine del 1800 sono testimoniati 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 Vergato ha generato effetti: $I = 7-8$ ed in quello di Marzabotto effetti: $I = 7$; per gli eventi sismici avvenuti successivamente 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 Vergato 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 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 Vergato e le zone circostanti: Marzabotto, 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 appenninico, risentono 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 Vergato e Marzabotto, 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.

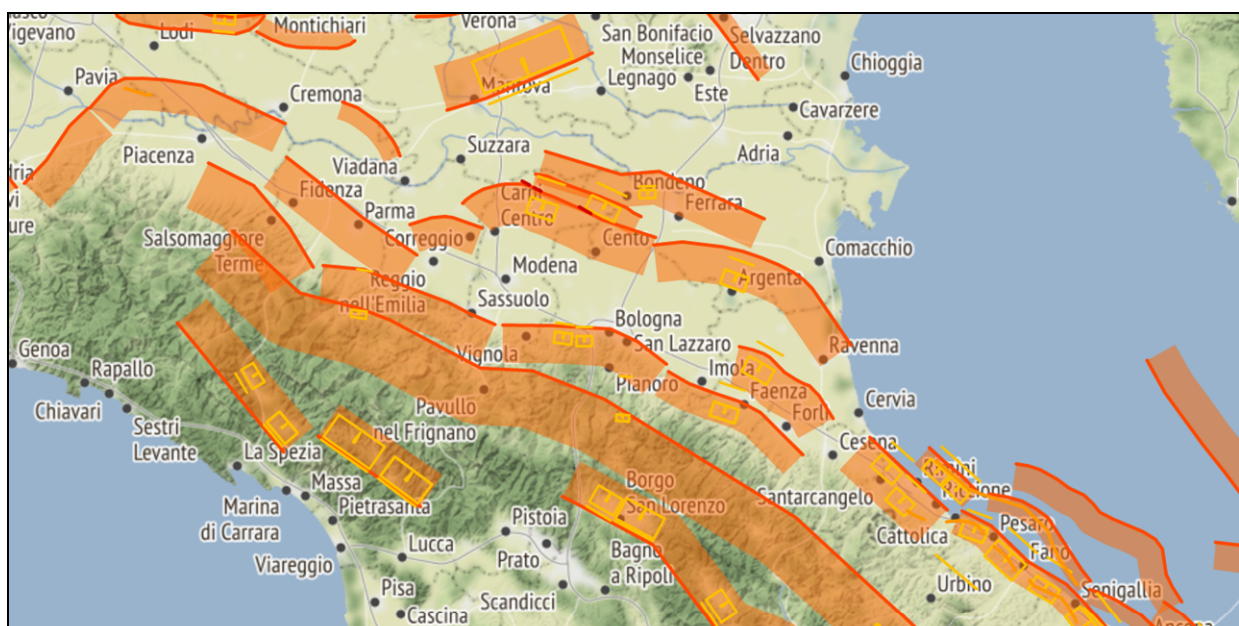
Quest'ultima nell'adiacente fascia dell'appennino settentrionale modenese si estende in direzione sud ovest-nord est circa secondo l'allineamento Montelungo-Palagano, Montebaranzone è caratterizzata da sismi di media magnitudo.

1.1.1.3 *Zone sismogenetiche – DISS 3.2.1*

Il territorio di Vergato appartiene alla zona sorgente sismogenetica composta ITCS027 Bore – Montefeltro – Fabriano – Laga, estesa in direzione nord ovest – sud est circa da Solignano/Castelnovo 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 $M_w=6,2$.

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 20/22 km ad est di Vergato capoluogo, classificata in seguito all'evento sismico del 14/09/2003, è caratterizzata da ipocentri tra -16 e -19 km dal piano campagna, $M_w=5,3$ e contraddistinta da meccanismi focali compressivi – compressivo trascorrenti.



1.1.1.4 Classificazione sismica

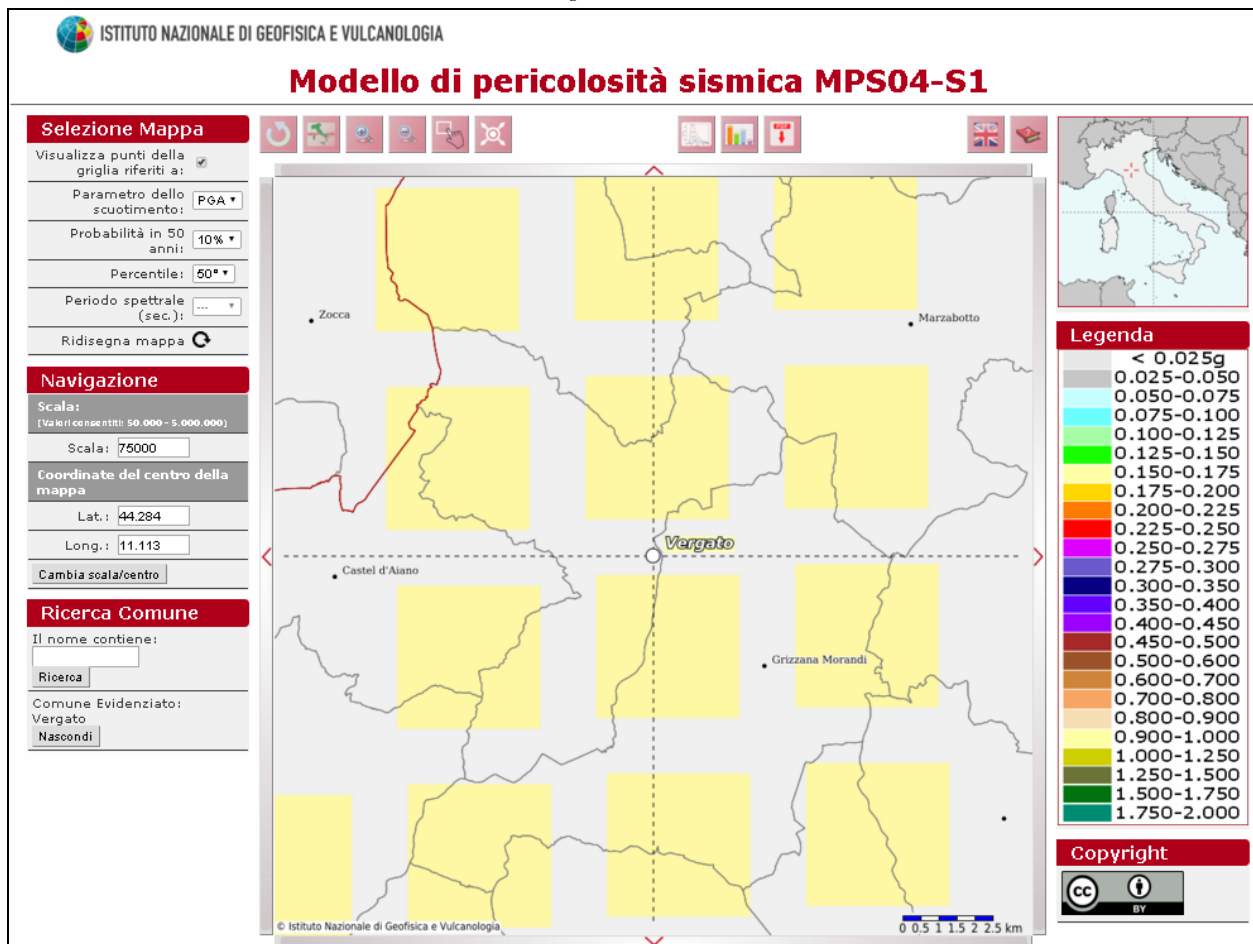
La riclassificazione sismica del territorio nazionale OPCM 3274/2003, NTC 17/01/2018 attribuisce il Comune di Vergato, alla zona 3 con grado di sismicità equivalente ai precedenti ambiti S6.

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

$$\text{Vergato } a_{gref} = 0,160 \text{ g}$$

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 Vergato, risulta compresa tra:

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



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

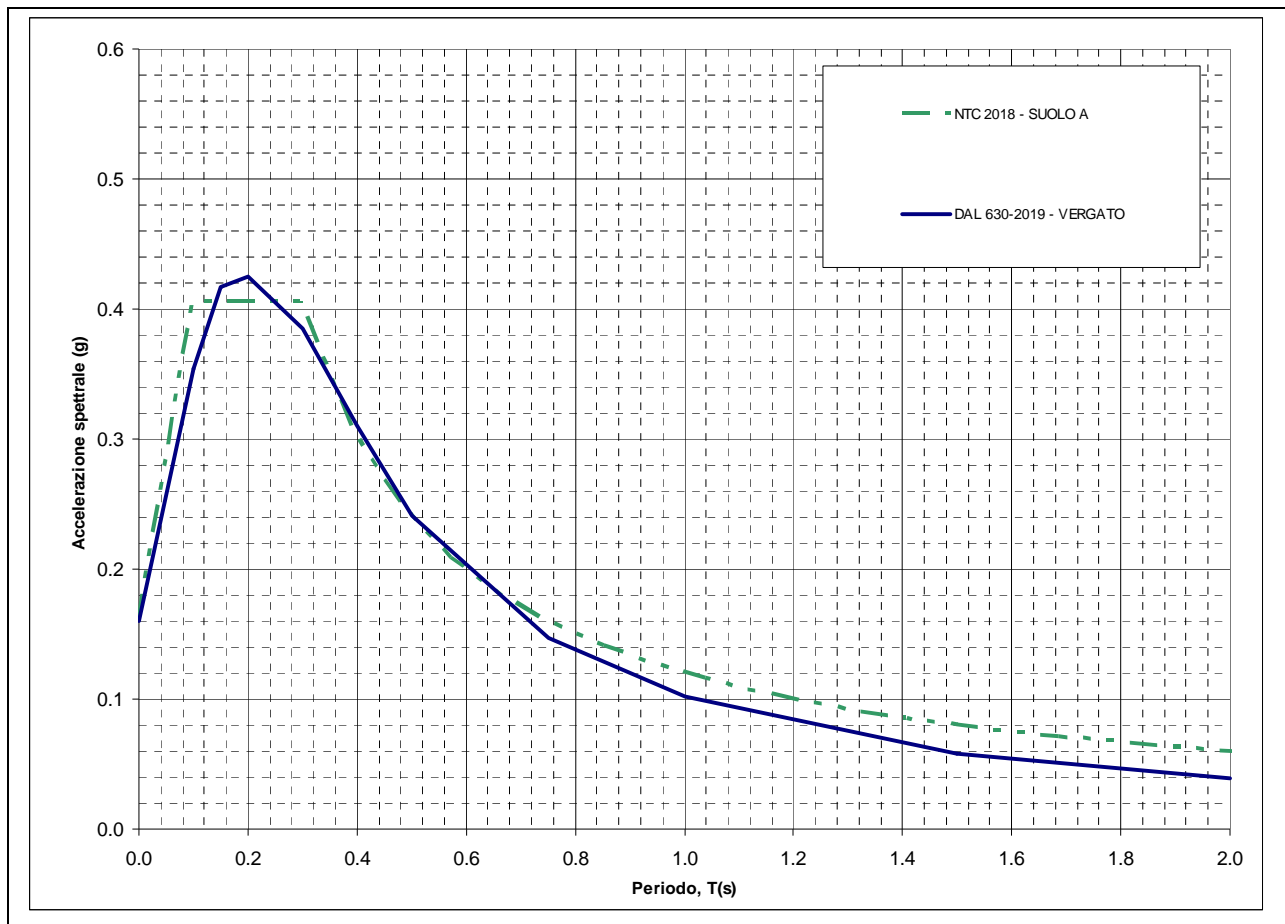
Tali valori, a livello territoriale aumentano in direzione sud e sud est.

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 $0,150 \div 0,175$ 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 Vergato, 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 Vergato. 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 VSH che competono alle unità litostratigrafiche che costituiscono le varie parti del territorio comunale, sono stati determinate le amplificazioni in superficie, in funzione dei valori dei fattori di amplificazione in accelerazione FA e di velocità FH, dell'accelerazione di gravità F_{PGA} , secondo i parametri

esposti nelle tabelle dell'Allegato A2.1 della D.G.R. 1238-630/2019; 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 Vergato, 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 Vergato (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 soprattutto dalla sovrapposizione di falde tettoniche.

L'area comunale e le zone ad essa circostanti sono geologicamente attribuibili 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) e più a settentrione 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, brecce poligeniche, lembi basaltici o ofiolitici, presenti in piccoli areali nella zona meridionale del territorio di Vergato ad est di Cà di Sasso, tra Castellina e Spareda di Sopra, nord di Biancheria – est di Castelnuovo. 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 ultime ha prodotto pieghe isoclinali compresse nelle liguri interne, che sono state ulteriormente ripiegate nella seconda fase che ha ancor più raccorciato le preesistenti strutture. Le fasi liguri hanno determinato la chiusura del preesistente oceano ligure e con l'impilamento delle successioni dei Domini Liguri si sono generati vari bacini marini minori nei quali si sono depositate le successioni delle sequenze epiliguri.

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

tettonici ne hanno obliterato i rapporti della originaria sovrapposizione stratigrafica per tettonica disgiuntiva neogenico 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 linee 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.

A nord est del territorio di Vergato, in comune 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 Vergato, 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**
- **Dominio Subligure**

Di queste, di seguito schematicamente elencate, le prime sono costituite da depositi continentali superficiali recenti e medio recenti di variabile 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 successioni e formazioni del Dominio Subligure sono principalmente costituite da arenarie, calcareniti marnose, argille e calcari.

Le unità litostratigrafiche presenti nel territorio Comunale di Vergato e zone contermini sono schematicamente riassunte, dall'alto verso il basso in senso stratigrafico, come di seguito esposto:

SUCCESSIONE NEOGENICA – QUATERNARIA DEL MARGINE APPENNINICO PADANO

SUBSISTEMA 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 dei terrazzi nelle zone intravallive.

SUBSISTEMA 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.

SUCCESSIONE EPIGIGURE

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

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

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.

MEMBRO DI CALVENZANO (PAT3a) (Burdigaliano sup – Langhiano inf)

Litozona arenitica

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.

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

Brecce argillose poligeniche a matrice argillosa prevalentemente grigia, con clasti eterometrici di calcilutiti, 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 rara 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.

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 micorconglomeratiche in strati da medi a spessi, gradati, talora amalgamati, con peliti scure e rare brecce e conglomerati.

LITAZIONE ARENACEO PELITICA (LOI2) (*Luteziano Terminale - Bartoniano*)

Brecce e conglomerati in matrice arenitica, areniti calcaree fini-calcari marnosi.

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

BAIap con inclusi arenaceo pelitici

BAImp con inclusi marnosi varicolori

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.

DOMINIO LIGURE**FORMAZIONE DI MONTE MORELLO (MLL)** (*Ypresiano*)

Calcareni - calcari marnosi e marne verdine, in banchi e in strati da spessi a molto spessi, contenenti intercalazioni di masse ofiolitiche franate.

SUCCESSIONE DELLA VAL ROSSENNA

FORMAZIONE DI MONGHIDORO (MOHa) (*Maastrichtiano sup. - Thanetiano*)

Alternanze arenacee con rapporto A/P>>1.

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

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

FORMAZIONI PRE-FLYSCH AD ELMINTOIDI

ARENARIE DI SCABIAZZA (SCB) (*Turoniano sup.? - Campaniano inf.*)

Alternanze torbiditiche arenaceo-pelitiche e pelitico arenacee in strati da molto sottili a sottili, costituite da arenarie fini e finissime passanti ad argille marnoso siltose grigio scure; subordinata presenza di calcilutiti verdognole e marne calcaree grigio chiare.

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.

ARGILLE VARICOLORI DI GRIZZANA MORANDI (AVT) (*Cenomaniano sup. - Santoniano sup.*)

Argilliti e argille rosso violacee, verdastre e grigio scure, con subordinate siltiti subordinate grigio scure e calcilutiti risedimentate grigio verdi

ARGILLE PALOMBINI (APA - APAA) (*Cretacico Inf. - Turoniano*)

Argille e argilliti fissili grigio scure, raramente verdi e rossastre, intercalate a calcilutiti grigie in strati da medi a spessi; subordinate alternanze arenaceo - pelitiche grigio scure. **APAA** Litozona argillitica costituita da argilliti grigie e a luoghi verdognole, in qualche caso silicizzate; sono alternate a calcilutiti grigie in strati medi e spessi con subordinate pacchi di strati sottili di alternanze arenaceo - pelitiche giallastre e nocciola. All'interno della formazione sono presenti lembi di ofioliti (OFL)

OFIOLITI E BRECCHE OFIOLITICHE (OFL) (*Giurassico medio med/sup - Cretacico inf*)

Masse di rocce ofiolitiche parzialmente distinte in: basalti, gabbri (gamma), serpentiniti, ofiolitici, plagiograniti e breccie sedimentarie a prevalenti elementi ofiolitici (bp), contatti meccanici con APA.

DOMINIO LIGURE**ARENARIE DI PONTE BRATICA (ARB)** (*Chattiano - Aquitaniano*)

Alternanze torbiditiche arenaceo - pelitiche in strati da sottili a medi costituiti da areniti grigio - giallastre fini o medie passanti a marne argillose grigie.

FORMAZIONE DI MONTEPASTORE (MPA) (*Ypresiano - Luteziano*)

Alternanze torbiditiche calcarenitico - marnose in strati da medi a molto spessi e in bianchi. Base degli strati biocalcarenitica da fine a grossolana, passante a marne calcaree biancastre. Rari orizzonti di biocalciruditi e biocalcareniti a macroframmiferi.

ARGILLE E CALCARI DEL TORRENTE LAVINELLO (AVN) (*Campiano sup? - Ypresiano*)

Argille rosse, rosate e grigie, con intercalati spezzoni di strato (da sottilissimi a molto spessi) e "bundins" di calcilutiti grigio chiare e verdastre e di calcareniti fini biancastre e rosate o verdognole e marne grigio chiare.

CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA

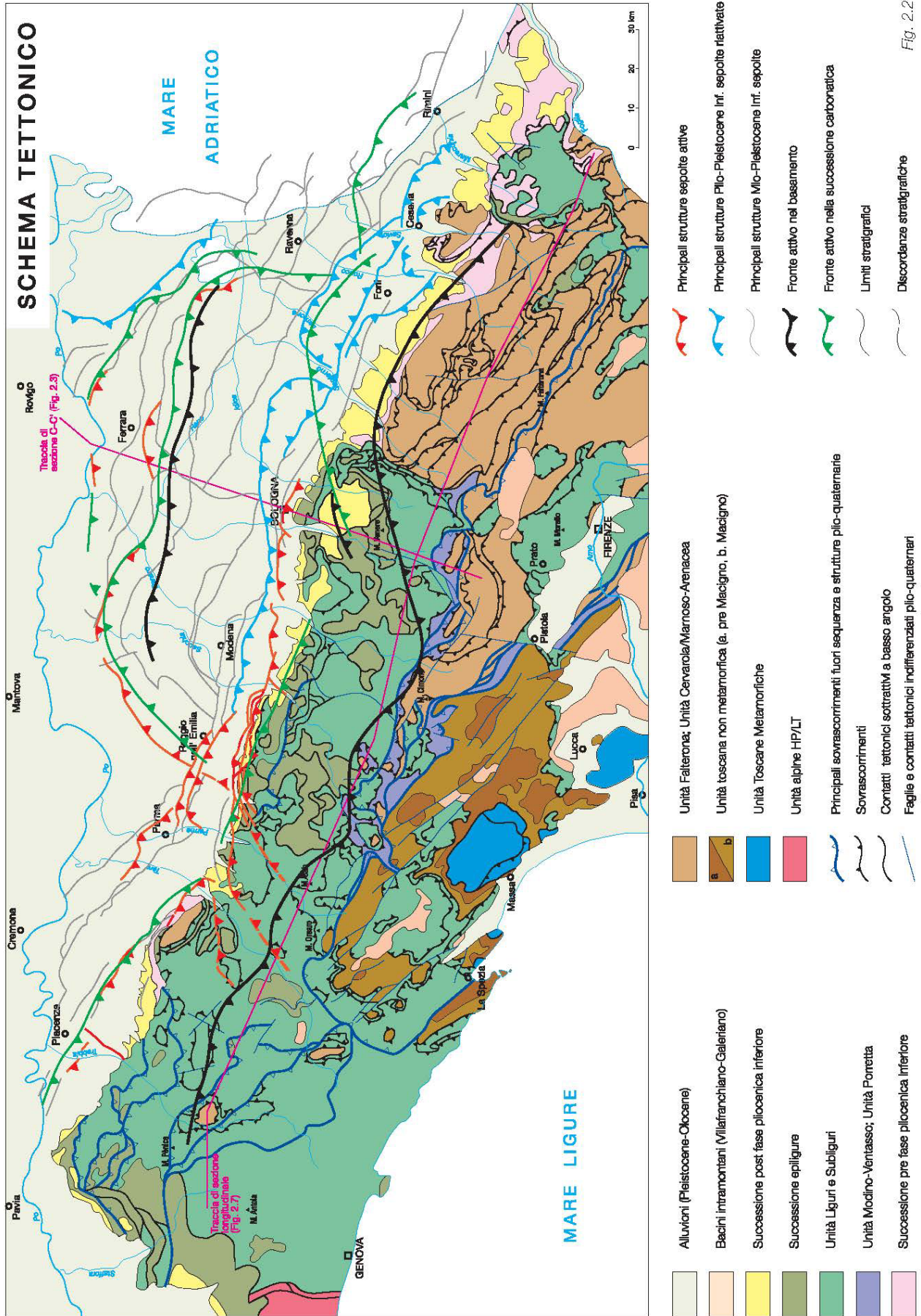
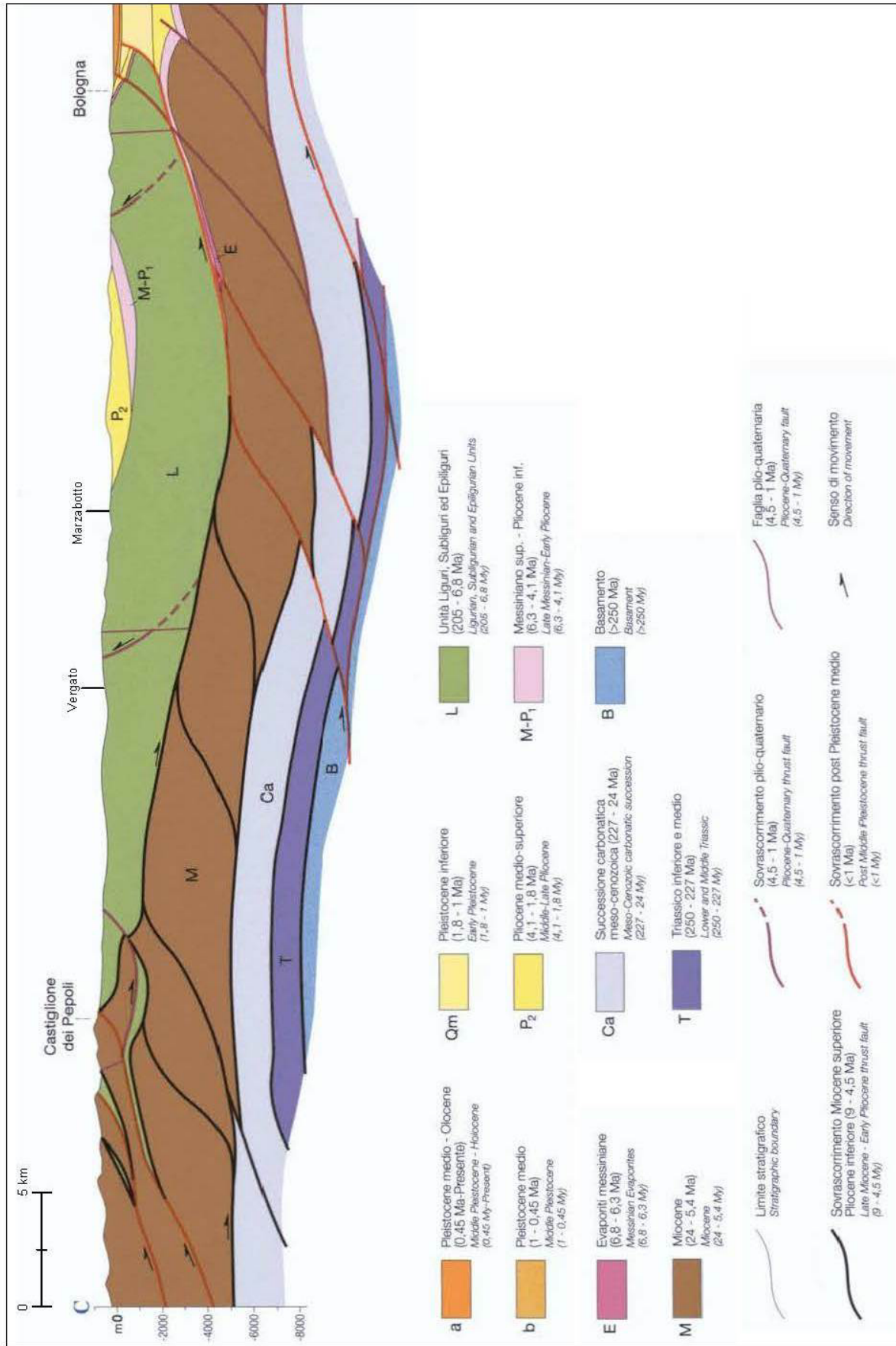


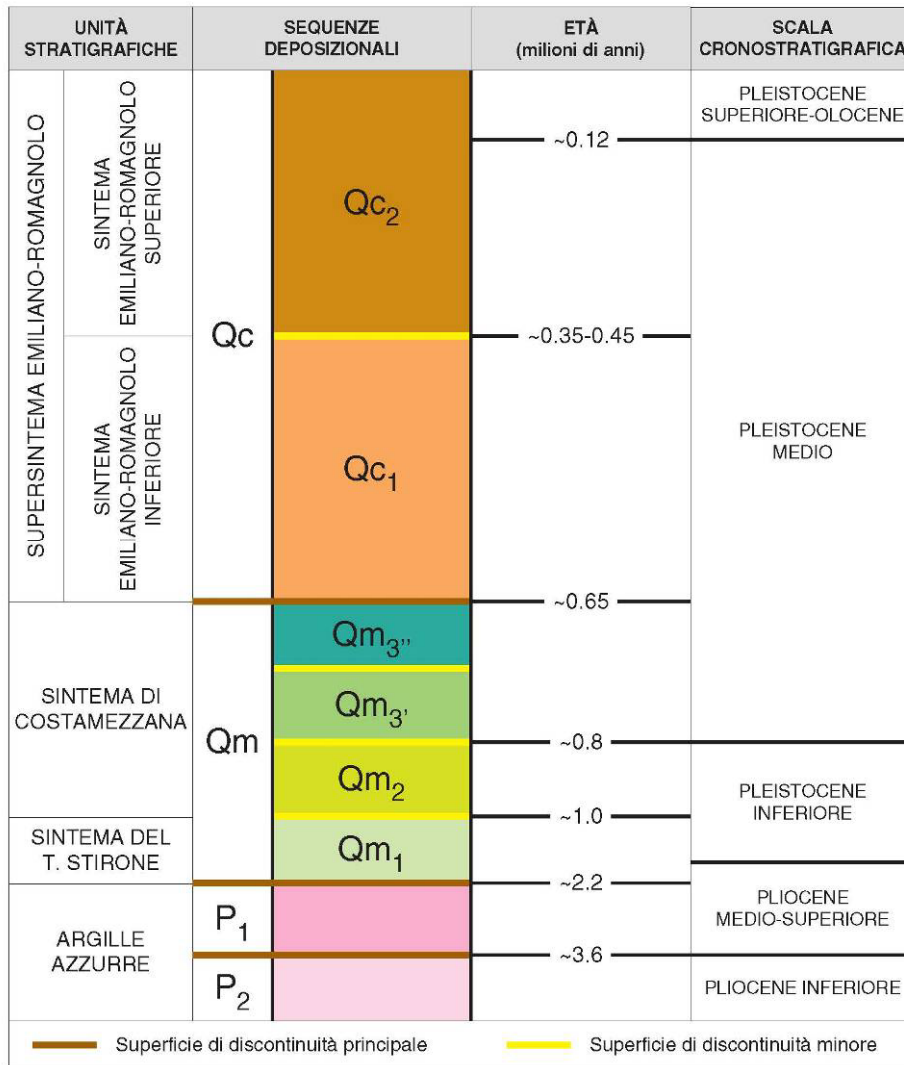
Fig. 2.2



SCALA GEO-CRONOMETRICA IN MA			SCALA CRONOSTRATIGRAFICA	
			EPOCHE	ETÀ STANDARD
0	PLEISTOCENE			1.7 CALABRIANO
5	PLO-CENE			2.8 PIACENZIANO 4.2 TABIARIANO 5.2 MESSINIANO 6.6
10	MIOCENE	SUPERIORE		TORTONIANO 11.5
15		MEDIO		SERRAVALLIANO 15.5 LANGHIANO 16.5
20		INFERIORE		BURDIGALIANO 22.5 AQUITANIANO 24
25	OLIGOCENE	SUPERIORE		CATTIANO
30				32
35		INFERIORE		RUPELIANO
40	EOCENE	SUPERIORE		PRIABONIANO
45				40 BARTONIANO 44
50		MEDIO		LUTEZIANO
55				49
60	PALEOCENE	SUPERIORE		YPRESIANO
65				53.5
		INFERIORE		THANETIANO 60
				DANIANO 65

UNITA' DELLA SCALA STANDARD																
DATAZIONE IN MA	EON	ERE	ERATEC	PERIODI	EPOCHE	ETÀ	ALTRE UNITA'	UNITA' LOCALI E NOMI ABBANDONATI								
				SISTEMI	SERIE	PIANI										
1.8	CENOZOICO	QUATERNARIO			OLOCENE	VERSILIANO	FLANDRIANO	IRECENTE								
5					PLEISTOCENE	TIRRENIANO	CRIDONIANO									
						MILAZIANO										
						SICILIANO										
						EMILIANO										
24					NEOGENE	PLIOCENE										
												CALABRIANO				
												PIACENZIANO				
												ZANCLEANO				
												MESSINIANO				
												TORTONIANO				
												SERRAVALLIANO				
37					MIOCENE											
												LANGHIANO				
53.5					MIOCENE											
	BURDIGALIANO															
65	PALEOGENE															
									OLIGOCENE							
									CATTIANO							
									RUPELIANO							
									PRABONIANO							
									LUTEZIANO							
									YPRESIANO							
									PALEOCENE							
									THANETIANO							
									MONTIANO							
									DANIANO							
									MAASTRICHTIANO							
									CAMPANIANO							
									SANTONIANO							
									CONIACIANO							
TURONIANO																
96	MESOZOICO	CRETACICO														
ALBIANO																
APTIANO																
BARREMIANO																
HAUTERIVIANO																
VALANGINIANO																
BERRIASIANO																
PORTLANDIANO																
KIMMERIDGIANO																
OXFORDIANO																
143									MESOZOICO	GIURASSICO						
MALM																
DOGGER																
CALLOVIANO																
BATHONIANO																
BAJOCIANO																
AALENIANO																
TOARCIANO																
LIAS																
PLIENSCHACHIANO																
SINE MURIANO																
HETTANGIANO																
RETICO																
NORICO																
CARNICO																
212	MESOZOICO	TRIASSICO														
superiore																
medio																
ANISICO																
inferiore																
SCITICO																
TATARIANO																
KAZANIANO																
KUNGURIANO																
ARTINSKIANO																
SARKARIANO																
ORENBURGIANO																
GZELIANO																
MOSCOVIANO																
BASHKIRIANO																
SERPUKHOVIANO																
247	MESOZOICO	PERMIANO														
superiore																
inferiore																
VISEANO																
TOURNAISIANO																
FAMENNIANO																
FRASNIANO																
GIVETIANO																
EIFELIANO																
EMSIANO																
SIEGENIANO																
GEDINNIANO																
PRIDOLIANO																
LUDLOVIANO																
WENLOCKIANO																
416	MESOZOICO	SILURIANO														
superiore																
inferiore																
VALENTIANO																
ASHGILLIANO																
CARADOCIANO																
LLANDEILIANO																
LLANVIRNIANO																
ARENIGIANO																
SKIDDAVIANO																
TREMADOCIANO																
509									MESOZOICO	ORDOVICIANO						
superiore																
inferiore																
superiore																
inferiore																
superiore																
inferiore																
superiore																
inferiore																
superiore																
inferiore																
superiore																
inferiore																
superiore																
575	MESOZOICO	CAMBRIANO														
superiore																
medio																
inferiore																
superiore																
inferiore																
superiore																
inferiore																
superiore																
inferiore																
superiore																
inferiore																
superiore																
inferiore																
superiore																

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



4.1. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Il territorio di Vergato appartiene alla fascia del medio appennino e ricade prevalentemente nel bacino idrogeografico 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 sono state individuate forme e processi correlati ad ambiente periglaciale (*Panizza e Mantovani*, 1974, Conca di Pavullo; *A. Colombetti*, Zocca – Castel d’Aiano 1975; *G.P. Mazzetti* 1978, 2018, Sinclinale di Carpineti). A queste seguono nelle aree intravallive i depositi fluviali terrazzati del Quaternario medio-recente, continentale, (AES8a – AES8 e limitati brandelli AES7 a nord di Camugnone – Pioppe di Salvaro); più a settentrione, nord di Marzabotto, seguono litozone costituite da sedimenti marini marginali del Quaternario antico-medio

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 tra Calvenzano – Pioppe di Salvaro/Sibano – Pian di Venola/Marzabotto – Lama di Reno, che tra Salvaro/Sibano e Pian di Venola incide litotipi arenacei più resistenti all’erosione delle adiacenti litozone marnose – marnoso argillose. Analoghe caratteristiche 12 km a nord est evidenzia anche il T. Setta tra Gardelletta – Allocco – Sirano.

Il territorio di Vergato, per quanto riguarda le fasce morfostrutturali dell’Appennino appartiene alle strutture del medio appennino costituito dalle Unità Liguri e Successioni Epiliguri (*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, Successione Neogenica Quaternaria, 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 litomeccaniche che degli assetti strutturali. Si osserva infatti una netta prevalenza di versanti contraddistinti da pendenze tra 20° ÷ 40° nelle zone settentrionali orientali e centro settentrionali occidentali e sud occidentali, costituite da formazioni prevalentemente arenacee e marnoso – siltose, correlate al loro minor grado di erosione rispetto alle litozone argillitico argillose. Queste ultime caratterizzano i settori centrale occidentale e meridionale orientale, nei quali le pendenze sono generalmente compresse tra 10 e 20° e minori di 10° in corrispondenza dell’asse di fondovalle F. Reno e dei T. Vergatello – T. Aneva.

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

Nell'Unità territoriale in esame la paleosuperficie di maggior estensione si osserva tra Tolè e Montepastore dove costituisce un ripiano morfologico terrazzato di 100 m.

Altro areale con simili caratteristiche morfologico è osservabile 0.8–1.0 km a sud est tra le Coste – Locare della Scuola – Caprara. Una superficie con equivalenti conformazioni è presente a settentrione di Cereglio nella fascia sub ellittica allungata in senso ovest–est sub parallela alla S.P. Valle del Lavino circa da Pradoneva al crinale ad est di Grotta della Sponga, che in rapporto alla morfologia dei versanti che la perimetrano e dei depositi che ne rivestono il fondo, è correlabile, almeno per la parte più orientale, a processi di dissoluzione carsica di tipo superficiale che si sviluppano in rocce calcaree impure (*Cvijic*, 1960; *M. Panizza*, 1968 B).

Le sopracitate morfologie, con quote di 650/670 m slm e di 690/720 m slm, in funzione delle loro conformazione, sono probabilmente riconducibili a processi correlabili a sistemi morfoclimatici periglaciali (*Wurm*).

Altre forme ereditarie nel territorio sono rappresentate da depositi alluvionali terrazzati (AES7) riscontrabili in limitati brandelli a nord ovest di Camugnone in destra del F. Reno ed a nord di Pioppe di Palvaro in sinistra dello stesso; sono inoltre presenti depositi alluvionali recenti (AES8-8a) nella zona ai lati del F. Reno e torrenti Aneva e Vergatello, depositi alluvionali in evoluzione e parzialmente stabilizzati in corrispondenza dell'asta dei fiumi e torrenti.

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 nelle zone meridionali centrali orientali, fascia centrale ovest est assecondante l'andamento del T. Vergatello, nel settore tra la sponda settentrionale di quest'ultimo e l'allineamento M. Sette Croci – Cereglio – Susano – Marmocchio, ai fianchi del versante sud orientale di M. Pero, tra località Palazzina capoluogo – Liserna – F. Reno, ai lati del Rio Groaro nel settore centrale orientale, nell'areale circa compreso tra Cerè di Sopra – Cogni di Sotto – Cà Nova – Grotta la Sponga – Lo Spicchio – il crinale di strada del Monte – Castello – Rio delle Rovine – I Pianazzi; analoga zona, con diffusa presenza di corpi di frana, si rinviene nel settore nord occidentale tra Selvatica – Strada Valgrossa – Cimitero di Tolè – Selva – Cà de Toni – confine comunale nord ovest ed ovest nord – Rio della Ghiaia.

Gli accumuli più imponenti tra quelli presenti nelle sopra descritte aree sono rappresentati dalla frana quiescente complessa tra Ceradella – Roncaglia e Cà dei Berti/Rio Grande, zona settentrionale centrale, che si sviluppa per una lunghezza di circa 1.6/1.7 km e nella parte frontale assume spessori maggiori di 15/20 m; simili caratteristiche presenta la frana quiescente complessa, con prevalenza di movimenti per colata, nel settore centrale

occidentale circa tra Canovetta – Pieve di Rottofreno – Fosso della Chiese che si estende in direzione ovest est per una lunghezza di 1.8 km e nella zona frontale dell'accumulo assume spessori non inferiori a 15 m; significativi sono in tale zona gli accumuli che si sviluppano in sponda settentrionale del Fosso Lamazzetto, tra M.no Della Pieve e Monte Sette Croci e più ad est tra Cà di Ca – Monzone e Rio Dozzone – Fosso Lamazzetto che si estendono per lunghezze di 1.0/1.1 km e nelle parti frontali assumono spessori di 10/15 m.

Simili imponenti accumuli sia quiescenti che attivi, sono presenti nel versante ad est della strada Castelnuovo – sino al settore sud del capoluogo, in sponda sinistra del F. Reno, sino a Riola ed in sponda destra di detto fiume tra Cà de Bombi e Molinaccio/Cà Siberia; diffusi corpi di frana sia attivi che quiescenti di colata e complessi di significativa estensione, lunghezze di 0.7/1.0 km e larghezze di 0.1/0.2 km, caratterizzano il versante in sponda meridionale del T. Aneva tra lo stesso e la strada per Castelnuovo.

Le azioni erosive di maggior intensità delle acque incanalate si sviluppano in corrispondenza dell'asta dei torrenti Aneva e Vergatello, F. Reno. Quest'ultimo ed il tratto terminale dei sopracitati assi idrici sono delimitati da depositi alluvionali terrazzati con altezze di incisione di 5 ÷ 10 m; l'intesa attività di incisione è correlata alla presenza di rocce prevalentemente argillose.

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.

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 importanza fondamentale nelle previsioni d'uso del territorio in quanto la dinamica e le forme in atto dei versanti determinano 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 Vergato la presenza di litozone prevalentemente argilloso argillitiche nel settore meridionale orientale centrale e settentrionale ha generato i depositi per accumulo di frana, attivi e quiescenti, sensibilmente diffusi come denota l'indice di franosità territoriale corrispondente al 24 %.

4.2. DEPOSITI CONTINENTALI

Le condizioni che influenzano principalmente le amplificazioni del moto sismico in superficie sono correlate agli spessori e variazioni laterali in potenza dei depositi che rivestono i versanti ed il fondo valle, al detensionamento ed alla fratturazione delle rocce di substrato, loro diverso grado di consistenza/detensionamento, cementazione, assetto strutturale, alle caratteristiche topografiche correlate ai differenziati gradi di resistenza all'erosione delle unità rocciose.

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

Questi ultimi, come descritto nel precedente paragrafo sono diffusamente presenti nell'area comunale.

I depositi di versante si sono principalmente riscontrabili nelle aree costituite da litozone arenaceo – arenitiche che formano il settore sud occidentale e le zone settentrionali centro occidentali e settentrionali. In queste ultime dette coperture si localizzano prevalentemente in aree che formano vallecole sospese o rivestono fianchi di versanti; analoghe caratteristiche denotano i depositi del versante tra la Piastra – Susano – Spezzona di Sopra e versante a nord del crinale Lo Spiccio – Via Monte – M. Pero correlabili a detriti di falda non attivi.

Caratteristiche diverse evidenziano i depositi di versante presenti nel settore occidentale settentrionale che occupano posizioni altimetriche più elevate 700 m a Locare della Scuola – Caponare e La Croce – Montina, che costituiscono ripiani a pendenza molto bassa tra loro correlabili, compresi tra i rilievi che descrivono morfologie sub elettriche, probabilmente correlabili a processi di dissoluzione carsica superficiale.

La paleosuperficie tra Tolè – Palazzetto della Suora – Case Bortolani – Monte Postaro/Pianella, nella quale sono diffusamente presenti depositi eolici pedogenizzati a pseudoglay, costituisce un altopiano attualmente sopraelevati 80/100 m rispetto all'incisione del Rio della Ghiaia presente 1 km a nord ovest e di circa 300 m rispetto al principale asse idrico presente ad ovest – nord ovest: T. Samoggia.

Tali profondità di erosione indicano un elevato grado di corrispondenza con quelle sviluppatesi nella fase post wurmiana per le prime e post rissiana per le seconde, riscontrate in altre zone dell'appennino Val di Secchia – Val d'Enza (G.P. Mazzetti, 1978, 2018) Val d'Enza (M. Cremaschi, C. Tellini, M. Bernini, 1980).

Nella fascia sud orientale – orientale – nord orientale del territorio estesa sud sudovest – nord nord est ed il settore centrale orientale nel tratto di confluenza del T. Vergatello al F. Reno, al quale appartiene il capoluogo, sono diffusamente presenti depositi alluvionali terrazzati, separati da orli di scarpata con altezze di 10 – 15 m. Tali sedimenti nella zona centro settentrionale, tra Camugnone e Pioppe di Salvaro, sono rappresentati da locali brandelli (AES7) sopraelevati di 90 – 75 – 60 m rispetto all' alveo del F. Reno; quanto esposto conferma il rapido approfondimento delle incisioni fluviali che negli ultimi 12 – 15.000 anni.

I depositi alluvionali relativamente più recenti: AES8 – AES8a costituiscono le fasce adiacenti al F. Reno e T. Vergatello sopraelevate di 5/10 ÷ 15 m rispetto all'alveo del F. Reno e mediamente di 5 m in quello del T. Vergatello.

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 10/12 m.

L'attuale alveo del F. Reno è caratterizzato da depositi alluvionali recenti che costituiscono superfici terrazzate per altezze di 2 – 4 m. ai lati del canale fluviale, 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 Vergato, sono rappresentate dalle formazioni membri del Dominio Ligure (39%) e da quelle della Successione Epiligure (52%), in subordine dalle Subliguri (9%). Queste ultime si rinvengono all'estremità nord occidentale del territorio; le liguri si riscontrano nel settore centrale e meridionale; le sequenze epiliguri formano la parte centrosettentrionale – settentrionale e l'estremità sud ovest dell'area in narrativa.

Queste ultime sono prevalentemente arenitiche, marnoso siltoso sabbiose e le subordinate litozone marnoso argillose – argillitiche si rinvengono nel settore orientale centrale (Susano – Lamari).

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 38% 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.

I complessi tettonici liguri, che soggiacciono il Ciclo Pliocenico e la Successione Epiligure, presenti nella zona, sono suddivisibili nelle quattro unità stratigrafiche strutturali: Unità Tettonica Coscogno, Unità Tettonica Cassio, Unità Tettonica Monghidoro, Unità Tettonica Leo.

L'Unità Monghidoro non presente nel territorio di Vergato, affiora circa 12 Km ad est in comune di Rioveggio in corrispondenza della fascia di faglie transpressive che costituisce la Linea di Vergato (*F. Panini, 2002*), che in corrispondenza del T. Setta giustappone le formazioni di Monte Venere e di Monghidoro alla Successione Epiligure.

L'Unità Tettonica Leo affiora nella parte meridionale orientale del territorio di Vergato, in corrispondenza della fascia di faglie prevalentemente trascorrenti che costituisce la linea di Vergato che giustappone le Argille a Palombini alla Formazione di Pantano.

L'Unità Tettonica Cassio, Sub Unità del Panaro, non affiorante nel territorio di Vergato, rinvenibile immediatamente a nord del confine settentrionale occidentale, è rappresentata dalle formazioni pre-flysch costituite dalle Argille a Palombini ed Arenarie di Scabiazza, che mediante il sistema di faglie trascorrenti inverse della linea Tolè – M. Bonsara – Lavino, sono giustapposte in direzione sud est all'Unità Tettonica di Coscongno, mentre in verso nord ovest sovrascorrono parzialmente l'Unità Tettonica Samoggia.

I depositi della Successione Epiligure che, costituiscono la fascia meridionale occidentale e la parte centro settentrionale e settentrionale orientale, non sigillano completamente il substrato ligure ed aumentano di estensione in direzione nord ovest dove costituiscono la placca arenacea di Marzabotto, analoga condizione si riscontra in direttrice ovest – sud ovest dove generano la placca arenacea di Villa d'Aiano – Zocca.

Detta successione è 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/Monticino e Cereglio/Vergato, tra Venola – Lama di Reno – M. Giovine; a detti sovrascorrimenti si associano le faglie appenniniche subverticali distensive tardive localizzate prevalentemente nella fascia ad andamento WNW – ESE circa compresa tra l'allineamento M. Croce – M. Pero – Vergato – Grizzana Morandi – Monteacuto – Valle, e l'allineamento M. Mosca – Camugnone – M. Pezza – Montorio e più a settentrione tra Monzale – Colleguarda – M. Termine – Rioveggio – Lama Grande e M. Castellaccio – Pian di Venola – M. Abele – Murazze – Querceto.

Le faglie antiappenniniche si rilevano principalmente secondo la fascia estesa sud est – nord ovest circa compresa tra l'allineamento Riola – Serra di Gatto – Surano – Monzone e l'allineamento Marano – Castel d'Aiano; nella fascia sud est – nord ovest estesa secondo l'allineamento il Poggio – M. Cornudo – Bortolami.

Analoghe faglie sub verticali antiappenniniche si riscontrano ad ovest dell'allineamento Sibano – Lama di Reno – M. Baco, al confine orientale del confine di Marzabotto in corrispondenza del T. Setta circa da Monte Mario a M. Rumici; nel settore nord ovest si osservano circa secondo l'allineamento Tolè – Vedegheto.

I sistemi trascorrenti hanno orientamento prevalentemente antiappenninico, sud ovest – nord est, e quelli principali assecondano l'andamento del F. Reno tra Riola – Vergato – Cà Venzano – Pioppe di Salvaro – Pian di Venola e più a settentrione tra Sassatello – C. Bergamini e Lama di Reno; analoghe direttrici assumono le faglie trascorrenti tra Pian di Setta – Rioveggio – Quercia e successivamente a quest'ultima proseguono in verso nord est in direzione Allocco dove detta faglia è intersecata dalla trascorrente delle linea della Val di Setta che si estende in direttrice nord–nordovest verso Sasso Marconi.

Nella zona al bordo settentrionale occidentale di Vergato le faglie trascorrenti costituiscono una fascia orientata sud ovest – nord est circa compresa tra l'allineamento Tolè – Montepastore e l'allineamento Savigno - Zocca.

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 soggiacenti 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, catture fluviali, franosità accentuate ed allineate, contropendenze, dislocazione di depositi quaternari ecc.

5.2. INQUADRAMENTO SISMOTETTONICO

Le principali caratteristiche che contraddistinguono i terreni affioranti sono rappresentate dalla diversità di assetto, stile e comportamento tettonico.

Le unità stratigrafiche presenti nella parte settentrionale – settentrionale orientale del territorio di Vergato appartengono alla placca prevalentemente arenitica ad assetto sinforme formata dalle Unità Epiliguri che si sviluppa in modo accentuato a nord ovest in territorio di Marzabotto.

Analoghe caratteristiche contraddistinguono la fascia al bordo occidentale meridionale appartenenti alla placca arenacea di Villa d'Aiano – Zocca.

Il settore centro meridionale occidentale è costituito dalle litozone prevalentemente argilloso – argillitiche delle Unità Liguri; nel settore nord occidentale: Tolè – Cà Bortolani, si rinvengono le argilliti ed argille ed alternanze arenaceo pelitiche dell'unità di Coscogno.

Dette unità tettoniche, differenziate durante la fase ligure, che ne ha causato lo scollamento dalle successioni stratigrafiche ad esse sottostanti (formazioni pre-flysch) e la giustapposizione tettonica alle stesse, sono distribuite secondo fasce ad andamento appenninico.

I principali elementi tettonici lineari del sistema dislocativo appenninico ai quali sono stati attribuiti caratteri neotettonici (*P.F.G.S.N.* 1983) e faglie e sovrascorrimenti sepolti classificati attivi o riattivatisi che interessano il territorio di Vergato sono:

Linee con indizi di caratteri neotettonici

1. Faglia a componente prevalentemente trascorrente, orientata sud nord, circa estesa da Oreglia a Molinello, assecondante l'andamento del F. Reno, circa coincidente con il confine comunale orientale di Vergato, evidenziata da due

- gomiti ed andamento rettilineo dell'asta fluviale tra le sopra indicate località, assecondante l'andamento della linea di Vergato.
2. Faglia orientata sud ovest – nord est tra Gardelletta e Nuzzano – Allocco, assecondante il tratto del T. Setta al bordo orientale del confine comunale di Vergato, evidenziata dall'andamento rettilineo dell'asta torrentizia e due gomiti della stessa tra le località sopra citate.
 3. Faglia trascorrente orientata sud nord circa secondo l'allineamento Rocca Pitigliano – Rocca di Roffeno – Ca Briosi (Tolè) – Goccia – Savigno, evidenziata da selle, gomiti fluvio – torrentizi, andamento rettilineo del T. Samoggia da Goccia a Savigno.

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 Vergato e Lama di Reno, nella zona a nord est del territorio di Vergato, in Comune di Marzabotto, e che si prolunga in direttrice est. A meridione, zone a sud dell'allineamento M. Belvedere – Marano – Montecatino - Loiano, si rinviene la fascia principale di detto fronte con analogo andamento WSW-ENE.
5. Fronti di Accavallamento della Successione Carbonatica Meso–Cenozoica: sovrascorrimento di importanza regionale orientato ovest sud ovest – est nord est, presente nel sottosuolo della zona orientale settentrionale dell'area comunale di Marzabotto, rinvenibile circa tra M. Santa Barbara – M. Del Frate e che si estende in direzione est nord est.

Faglie mio-plioceniche successivamente riattivate

6. Faglie dirette ad andamento ovest nord ovest – est sud est da Cà Masina a Casetto, trasversali rispetto alle principali linee trascorrenti.
7. Faglia diretta orientata sud est – nord ovest circa da Oreglia di Sotto a Serreto – Cà Masina, assecondante la linea S. Riola – Zocca.
8. Faglia trascorrente a direttrice sud est – nord ovest da Capriglia a Castellaro corrispondente alla linea di Calvenzano.
9. Faglia trascorrente orientata sud ovest – nord est circa da nord di Tolè a M. Nonascoso – Poggio di S. Chierlo, compresa tra la linea Tolè – M. Bonsara – Lavino e Linea S. Prospero – Rio Gavignano.
10. Faglia diretta a direzione sud ovest – nord est, adiacente al confine comunale nord orientale di Vergato, estesa da Trebbo a Sassatello – C. Bergamini, corrispondente alla parte settentrionale orientale della linea del Reno.
11. Faglia trascorrente orientata sud sudovest – est nord est da Pian di Setta a Quercia – sud di M. Sole, corrispondente alla linea di Rioveggio.

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.

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

Altra faglia riattivatasi, orientata sud ovest – nord est ed ovest est, è individuata nel settore centrale meridionale a sud del capoluogo da Casetto a Pieve a Rocca Roffreno, che è identificata come linea con caratteri neotettonici; l'adiacente faglia riattivata, orientata SW – NE si estende circa da Rocca Roffreno a Carboncina.

Altre faglie riattivate orientate ovest – est, sono individuate in corrispondenza del tratto del T. Reno tra Campidello e Cà Gualdi, le trascorrenti a direttrice sud ovest nord est al bordo occidentale settentrionale dell'area comunale, da Cà Briossi a Vedrizia – M. Nonascoso – Gavignano.

La fascia sorgenti sismogenetiche composite (DISS.3.2.1– <http://diss.rm.ingv.it/diss/>) che interessa il territorio di Vergato è la Bore – Montefeltro – Fabriano – Laga, a direttrice appenninica.

Detta zona, alla quale appartiene l'area comunale, è delimitata dall'insieme degli sovrascorrimenti sepolti e dalle faglie attive che si estendono nel sottosuolo dell'allineamento Calestano – Casina – Prignano Sulla Secchia – Marzabotto – Castel Del Rio, ed è caratterizzata da ipocentri con profondità di 12 ÷ 22 km e $M_{w\max} = 6,2$.

La carta sismotettonica R.E.R. evidenzia epicentri sismici con magnitudo: $5 < M < 5,5$, circa 3 km a nord del capoluogo, in prossimità di Molinello, con $4 < M < 5$ corrispondente a quello del catalogo CFTI con $M_e = 5,4$, in prossimità di Tolè; $M \geq 5,5$ di Cà Masina/Pieve di Rottofreno; il catalogo CFTI individua inoltre un epicentro con $M_e = 5,6$ circa 8/8,5 km a nord est del capoluogo in prossimità di Pian di Venola.

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.

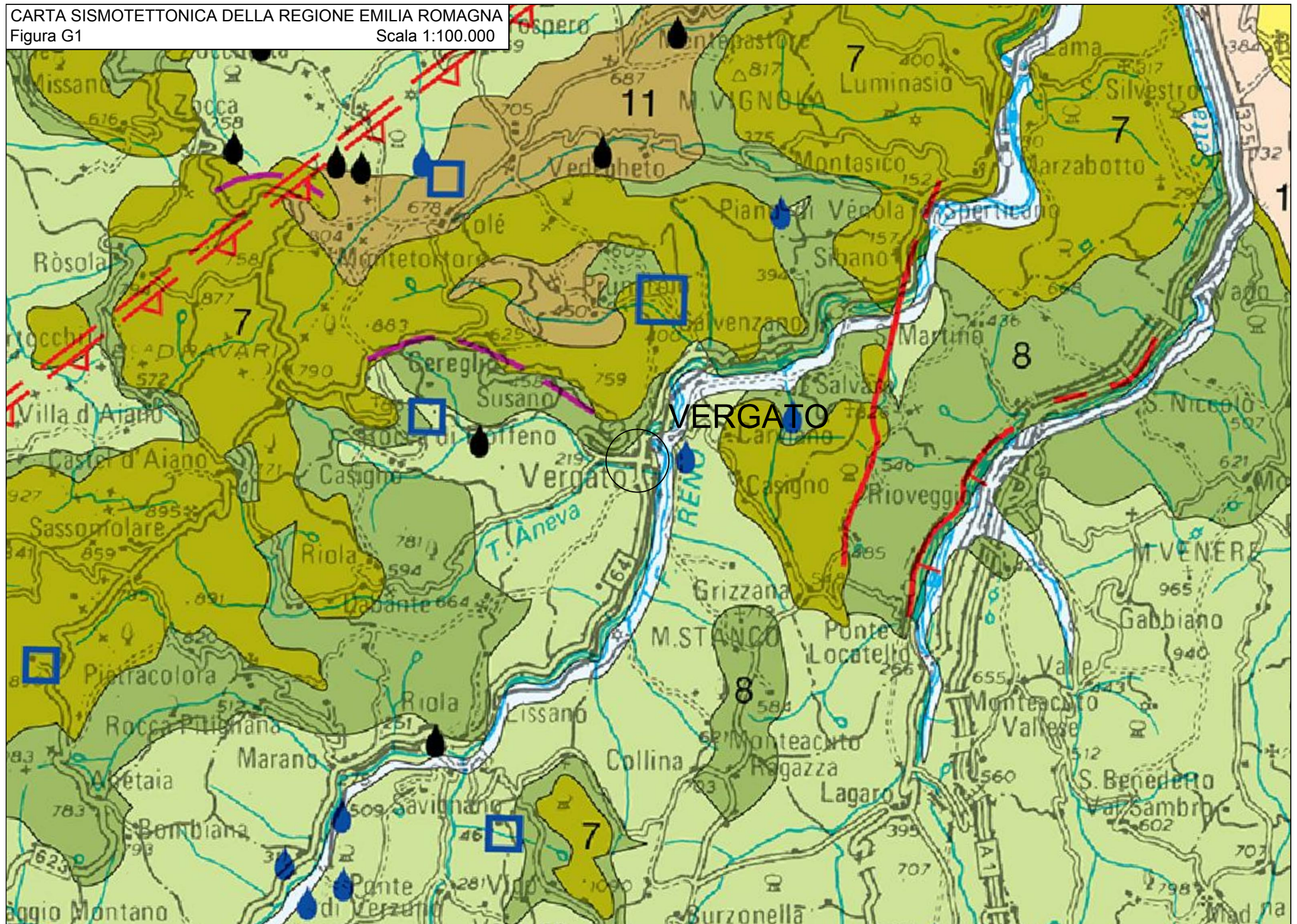
Un'influenza non trascurabile sulla sismicità nel territorio dell'appennino bolognese – modenese, è correlata all'attività sismogenetica delle zone del Mugello e della Garfagnana nelle quali si sono verificati epicentri sismici con $M_e = 6,3 - 6,5$.

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, collegate a meccanismi focali a componenti trascorrenti distensive nei settori meridionali (Fiumalbo – Castiglione dei Pepoli) 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 inferiore e quelli profondi (25÷>35 km) molto 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 - 69 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 fornivano già informazioni relative alle Vs del substrato roccioso e per le indagini geognostiche affidabili informazioni sugli spessori della prima unità litotecnica.

Dette prospezioni, 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 Vergato; 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 Vergato.

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÷0,4 km e localmente di 0,15/0,25 km.

Oltre a quanto esposto sono state effettuate verticali di acquisizione delle Vs anche in altri siti al fine di individuare i valori di Vs di alcuni tipi di roccia in condizioni di substrato litologico rigido affiorante.

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 50/100÷100 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 0,1 e 0,2 kmq.

6.1. MICROTREMORI CON LA TECNICA HVSR

Le indagini a stazione singola di acquisizione di microtremori ambientali effettuate in 50 punti per l'analisi di MS 2, 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'analogica strumentazione TROMINO.

Nelle fasi di MS 3 dette prospezioni sono state implementate da ulteriori 19 verticali.

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 MS 2 e di MS 3, 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 46-69 m. Tali indagini sono state implementate da 1 prospezione MASW in precedenza effettuata 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 Vs 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 esclusivamente 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
 - 26 sondaggi meccanici (SM);
 - 53 prove penetrometriche statiche (CPT);
 - 24 prove penetrometriche dinamiche medie (DPM);
 - 59 prove penetrometriche dinamiche super pesanti (DPSH);
 - 1 profilo sismico a rifrazione attiva, ad antenna monodimensionale, con metodo MASW (MW);
 - 4 verticali di misura di sismica passiva con tecnica a stazione singola HVSR (H);

- Dati nuova esecuzione MS 2
 - 29 prospezioni di sismica a rifrazione passiva/attiva con antenna monodimensionale con metodo integrato Re.Mi./MASW;
 - 50 prospezioni di sismica passiva con tecnica a stazione singola H.V.S.R. tutte validate, 29 delle quali in accoppiamento con le prospezioni Re.Mi./MASW e 21 in singolo punto di rilevazione.

- Dati nuova esecuzione MS 3
 - 18 prospezioni di sismica a rifrazione passiva/attiva con antenna monodimensionale con metodo integrato Re.Mi./MASW;
 - 19 prospezioni di sismica passiva con tecnica a stazione singola H.V.S.R.
 - 14 stendimenti sismici a rifrazione con metodo in tomografia sismica 2D con rilevazione di onde P (BSP)
 - 1 sondaggio meccanico a carotaggio continuo.
 - 11 prove penetrometriche dinamiche super pesanti (DPSH)
 - 7 analisi di laboratorio geotecnico, 4 delle quali su campioni indisturbati

Oltre a ciò, per l'area sede del Polo Scolastico Fantini, sono stati utilizzati dati messi a disposizione da Città Metropolitana di Bologna costituiti da:

- 6 prove penetrometriche dinamiche super pesanti (DPSH)
- 3 sondaggi meccanici a carotaggio continuo.
- 1 verticale sismica in foro di sondaggio con metodo Down Hole
- 2 analisi di laboratorio geotecnico su campioni indisturbati

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 MS 3. 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 sismica 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 (Tav.1.2), 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, evidenzianti le condizioni del dissesto del territorio, è stato redatto integrando le sopra citate cartografie 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 Vergato è suddivisibile in tre domini principali: Dominio Ligure, Successione Epiligure, Successione Neogenica Quaternaria del Margine Appenninico.

L'area comunale è costituita dalle Successioni Liguri nel settore centro meridionale orientale, da affioramenti di limitata estensione dalle Unità Subliguri nella zona

settentrionale, dalla Successioni Epiliguri nella parte settentrionale orientale – centro settentrionale ed occidentale meridionale, con modesta prevalenza (4/5%) delle epiliguri.

Il settore centrale esteso ovest est tra il crinale M. Pigna – M. Sette Croci – M. Pero ed il T. Vergatello, è prevalentemente costituito da litozone a brecce argillose, nelle quali in funzione della natura litologica si sono diffusamente sviluppati processi di frana.

Analoghe caratteristiche di diffusa presenza di processi di dissesto contraddistinguono la fascia al confine nord occidentale e l'area settentrionale occidentale compresa tra M. Pero – M. Mosca – M. Croce – M. Mantino, nelle quali si riscontrano principalmente litozone a sottili alternanze arenaceo pelitiche con arricchimenti in marne argillose e sequenze di litotipi intensamente tettonizzati prevalentemente argillitici.

Il settore centro meridionale orientale, che presenta l'indice di franosità relativo maggiore del territorio comunale, è costituito in netta prevalenza delle litozone argillitiche ed argillose delle Formazioni Pre Flysch delle Unità Liguri.

Gli accumuli gravitativi di maggior estensione e spessore si rinvengono nel settore nord occidentale in sponda settentrionale del fosso dei Monzati tra Cà Frollina e M.no delle Suore, in destra del Rio della Ghiaia tra lo stesso e Pianellini – Lamizzi – La Civetta – Cà Bentini, nella zona settentrionale occidentale tra Fosso dei Contadini/strada Molino del Balone – Basabue – Torre – Cà Selvatica – Cà Farinelli.

Simili caratteristiche con presenza di imponenti accumuli di frana quiescente si rinvengono nella zona settentrionale centrale tra Cogni di Sotto – M.no Spugne – Strada Monte – M. Castello Rio delle Rovine – Fronte del Merlo.

La maggior diffusione di processi di dissesto si rinviene nella parte centro meridionale orientale, a sud del T. Vergatello, dove si riscontrano gli accumuli di frana di maggior dimensione classificati in evoluzione quali quelli tra Cà dei Coni – Berleda e Serra del Gatto – Cà dell'Anitra, il versante a sud ed est della strada di Castelnuovo ed a nord della stessa tra gli allineamenti Cà Nova – Serra di Gatto – Polzano e l'allineamento Cà Pescar – Castelnuovo – Casone – Cà del Fabbro.

I depositi di versante sl, eluvio – colluviali sono presenti nella zona settentrionale del territorio comunale tra Tolè e Palazzetto delle Suore, nella piana tra Lacore della Scuola – Caponara e nella fascia estesa con andamento sub parallelo alle SP. Valli del Lavino.

Detti depositi nella zona di Tolè costituiscono un altipiano e nelle zone più a sud: Locore della Scuola – SP. Valle del Lavino, formano superfici che in rapporto alle loro quote ed altezze di incisione, conformazioni, sono con tutta probabilità correlabili ad ambiente di tipo periglaciale.

La minor conservazione di equivalenti depositi nei territori ad oriente indica un probabile maggior sollevamento relativo di questi ultimi zone nella fase post wurmiana.

Le coperture detritiche presenti nel territorio comunale, hanno spessori variabili mediamente compresi tra 2/3 e 5/8 m per quanto riguarda i depositi eluvio colluviali, di 5/10 sino a 20 ÷ 30 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 cui i corpi delle coperture presentano spessori inferiori a 3 m.

La fascia orientale del territorio comunale, estesa sud nord con andamento assecondante quello del F. Reno, è costituita da depositi alluvionali terrazzati di diversi ordini.

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 10/11 m 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. Nelle aree di conoide alluvionale, con analoghe caratteristiche di pericolosità, gli spessori sono mediamente compresi tra 13 e 20 m.

L'andamento "sub meandriforme" del F. Reno circa tra Sibano e Vergato, 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 al minor grado di erosione delle litozone a settentrione di Vergato e ad un probabile più accentuato sollevamento relativo delle fasce di territorio nelle zone a nord tra Marzabotto e Sasso Marconi.

Analoghi depositi, di estensione relativa inferiore sono presenti fascia centrale del territorio, in corrispondenza del T. Vergatello, nel quale gli spessori sono generalmente compresi tra 2 e 5 m.

I rapporti stratigrafici e l'assetto tettonico delle unità e formazioni che costituiscono il sottosuolo del territorio comunale di Vergato, nei settori sede dell'urbanizzato e di previsto sviluppo, 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
 - 29 prospezioni geofisiche a rifrazione passiva/attiva, con antenna monodimensionale, (ReMi/MASW) con lunghezza di stendimento di 46 – 69 m,
 - 50 Verticali a stazione singola con acquisizione di microtremori (HVSR)
- Dati MS3
 - 18 prospezioni geofisiche a rifrazione passiva/attiva, con antenna monodimensionale, (ReMi/MASW) con lunghezza di stendimento di 46 – 69 m,
 - 19 Verticali a stazione singola con acquisizione di microtremori (HVSR)
- Dati acquisiti
 - 1 Verticale in foro di sondaggio con metodo DH

Dette indagini geofisiche sono state integrate da quelle precedentemente effettuate da AA/VV, 1 profilo sismico a rifrazione attiva con metodo MASW, 4 verticali a stazione singola con acquisizione di microtremori HVSR, indagini geognostiche prevalentemente localizzate 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 MS 3 per le valutazioni delle caratteristiche meccaniche dei terreni sono state utilizzate indagini geognostiche, prove penetrometriche dinamiche DPSH, un sondaggio meccanico, eseguiti in precedenza da AA.VV. nell'area sede del Polo Scolastico Fantini.

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), risulta evidente l'utilità di detta tipologia di indagine 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	Ampiezza A
$0,5 < F_0 < 1$	
$1 < F_0 < 2$	
$2 < F_0 \leq 3$	$A < 2$
$3 < F_0 \leq 5$	$2,0 < A < 3,0$
$5 < F_0 \leq 10$	$3,0 < A \leq 5,0$
$10 < F_0 \leq 15$	
$15 < F_0 \leq 19$	

Dette associazioni sono state riportate nella "Carte delle Frequenze Naturali del Terreno" Tav. 1.6; le misure sono state identificate tramite 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 mostrano un comportamento di risposta sismica non del tutto omogeneo. Per le medesime formazioni coesistono valori di frequenza ed ampiezza spesso notevolmente 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 post budigalina (PAT) sostanzialmente arenitiche, indicano medi - medio bassi risentimenti dal punto di vista sismico evidenziati da frequenze di risonanza $f_0 = 3/5$ Hz con ampiezze $A = 2.5/3.5$ e localmente $A = 6/9$.

Analoghe risposte sismiche denotano anche le arenarie epiliguri post burdigaliane (LOI) con valori medi compresi tra $f_0 = 3/5$ Hz, $A = 3$; simili risentimenti evidenziano le litozone marnoso siltose - marnose ed argillitiche (CTG - ANT - MVT) di dette successioni contraddistinte da valori medi $f_0 = 3/3.5$ Hz, $A = 3/3.4$.

Le formazioni arenaceo pelitiche ed argillitiche dell'Unità Subligure di Cosogno (ARB-AVN) denotano prevalentemente medio bassi - medi risentimenti evidenziati da $f_0 = 1.5/2$ Hz ed $A = 2/3$.

Le alternanze arenaceo pelitiche e calcareo marnose liguri dell'Unità Monghidoro (MOH-MOV) indicano gradi di risentimento sismico medi - medio elevati con valori di $f_0=8/11$ Hz ed $A = 3.5/4$.

Le litozone prevalentemente argillitico - argillose liguri dell'unità LEO (APA-AVT-AVTa) evidenziano risentimenti sismici generalmente medio bassi - medi con valori di solito compresi tra $f_0 = 2 - 2.5$ Hz, $A = 2/2.5$.

Le zone nelle quali sono presenti coperture detritiche, indipendentemente dal tipo di substrato litologico, denotano in genere gradi di risentimento sismico medi - medio elevati con $f_0 = 4/6/13$ Hz ed $A = 2/3/4$; le aree con presenza di frane indicano risentimenti medi - medio elevati, tendenzialmente maggiori negli accumuli di scivolamento - complesso, contraddistinti da $f_0 = 3.5/4/6$ Hz ed $A = 3/3.5$; tali valori appaiono leggermente inferiori per le frane di scivolamento in blocco e colata caratterizzate da $f_0=2.2/3$ Hz ed $A = 2/3$.

Gli areali con presenza di depositi alluvionali (AES8/8a) evidenziano generalmente risentimenti sismici medio bassi - medi: $f_0 = 2/3/4$ Hz ed $A = 2/2.5$ con eccezione della fascia di terrazzo alluvionale nel settore meridionale centrale nello sviluppo Riola, nella zona prossima all'asse ferroviario, con substrato arenaceo pelitico nella quale si è riscontrato $f_0 = 8$ Hz ed $A = 2$.

Le ampiezze relative maggiori: $3/5$ si rinvergono nelle zone arenaceo pelitiche - calcareo marnose di Riola e marnoso siltose, marnose, argillose di Cereglio; simili ampiezze, con valori leggermente inferiori $2/3 \div 3/5$, denotano le litozone argillitiche - arenaceo pelitiche affioranti nell'area di Tolè.

Le zone prevalentemente argillitico argillose evidenziano in genere ampiezze inferiori ad $A = 2/3$.

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 Dip. Prot. Civ. e Conf. Delle Regioni e Province Autonome, DGR.ER 630/2019-1238/2020, 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 di tipo lineare ed antenna monodimensionale (metodo integrato Re.Mi./MASW) che puntuali a stazione singola (HVSR), direttamente eseguite, per una più attendibile individuazione delle unità litologiche contraddistinte da substrato con $V_s > 800$ m/sec nei primi 30 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, prospezioni geognostiche e geofisiche effettuate, integrando dette documentazioni con valutazioni redatte con criterio topografico e geomorfologico – geotecnico.

Nel contesto delle analisi territoriali sono inoltre state utilizzate le documentazioni a 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, resi 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.

Per la delimitazione delle aree a diverse caratteristiche litotecniche si è utilizzata la 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 soggette a processi in atto e non in evoluzione, 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 nelle aree suscettibili di effetti locali del PTCP Bologna.

Le disamine delle caratteristiche litotecniche sono state integrate dall'analisi d'insieme delle caratteristiche di fragilità dei depositi e di rigidità delle formazioni litologiche, grado di fratturazione di queste ultime, le condizioni di acclività dei versanti.

L'attribuzione del substrato alle classi con diversa velocità di propagazione delle onde sismiche di taglio nei primi 30 m del sottosuolo e del relativo contrasto di impedenza, si è attuata in riferimento alle verticali sismiche, direttamente eseguite nel contesto del presente studio e ad indagini precedentemente effettuate da AA.VV., che hanno esaminato le formazioni affioranti nell'Appennino Bolognese e Modenese in zone con caratteristiche geomorfologiche, litologico-meccaniche e grado di fratturazione equivalenti a quelle del territorio di Vergato; oltre a ciò è stato fatto alla carta delle aree suscettibili di effetti locali, riduzione del rischio sismico, del PTCP BO.

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 Vergato, 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 ÷ 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 D.G.R. 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°, 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, zona 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 con $V_s < 800$ m/sec. e di coperture con spessori tali da indurre effetti locali, zone da 2002 a 2009 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 indicati in premessa, dall'Allegato A2 della DGR 630/2019.

- **zone suscettibili di 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: $Z_{A_{FR}} \quad 30xy2017 - 30xy2018 - 30xy2019 - 30xy2020$, aree con spessore delle coperture e profondità del substrato pronunciatamente variabili sulla verticale e sull'orizzontale; zone con pendenza del versante maggiore di 50° , zone potenzialmente instabili perimetrate come aree a rischio idrogeologico molto elevato. Ai fini delle analisi di microzonazione sismica in tali zone lo strumento urbanistico comunale dovrà richiedere approfondimenti di terzo livello.

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

ZONE STABILI POTENZIALMENTE NON SOGGETTE AD AMPLIFICAZIONE PER EFFETTI LOCALI

1022 - Aree stabili con substrato subaffiorante con $V_s > 800$ m/sec

studi richiesti: indagini per caratterizzare V_s ; in caso $V_s > 800$ m/s, nessuna ulteriore indagine; in caso $V_{s_{30}} < 800$ 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 - Aree stabili con substrato sub affiorante con $V_s > 800$ soggette ad amplificazioni topografiche

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

studi richiesti: indagini per caratterizzare V_s ; valutazione del coefficiente di amplificazione correlato alle topografiche;

microzonazione sismica: secondo livello di approfondimento.

2002 - 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, 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; nell'eventualità di casi con presenza di terreni scarsamente consistenti terzo livello di approfondimento per stima cedimenti.

2003 – 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- 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.

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.

2009 - Aree stabili con presenza di depositi eolici;

effetti attesi: amplificazione stratigrafica, cedimenti;

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

microzonazione sismica: secondo livello di approfondimento in assenza di livelli compressibili, in presenza di questi ultimi terzo livello di approfondimento per stima dei cedimenti; terzo livello di approfondimento in presenza di depositi con spessori variabili lateralmente e/o di pendenza dei versanti $> 15^\circ$.

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 rigidità 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_{s30} ; in caso $V_{s30} > 800$ m/s è richiesta la sola valutazione del coefficiente di amplificazione dovuto alle caratteristiche topografiche; in caso $V_{s30} < 800$ m/s è richiesta la valutazione del coefficiente di amplificazione dovuto sia alle caratteristiche litologiche che a quelle topografiche;

microzonazione sismica: in funzione del tipo di roccia o depositi presenti, valutazione del coefficiente di amplificazione per effetti della topografia.

ZONE SUSCETTIBILI DI INSTABILITA'

30xy2017 – 30xy2018 – 30xy2019 – 30xy2020 - **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.

Nelle aree di cui alle zone da 2001 a 2009 e 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 dall'Allegato A2 della DGR 630/2019.

Nella zona 1022, nelle successive fasi dovranno prioritariamente essere determinati gli spessori dei depositi di versante e la profondità del substrato detensionato/alterato. Nel caso in cui lo spessore della copertura o la profondità del substrato non alterato sia 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 ed a pronunciata variabilità laterale in profondità, per la microzonazione sismica è richiesto il terzo livello di approfondimento.

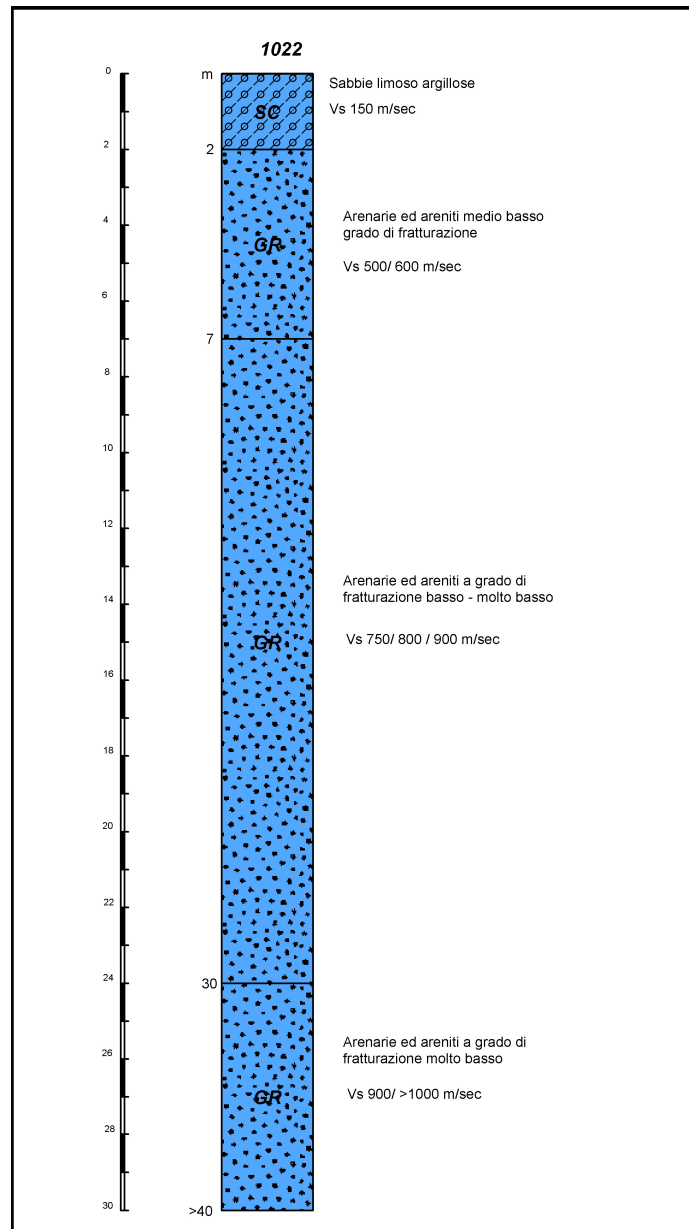
Il terzo livello di approfondimento è comunque richiesto nelle aree in cui è prevista la realizzazione di opere di rilevante interesse pubblico, nelle aree individuate nelle Tav 2C IV-V: carte aree suscettibili di effetti locali della variante in materia di riduzione del rischio sismico del PTCP. BO, come:

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

qualora si prevedano interventi sul territorio e/o 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).

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.



1022 - Depositi eluvio colluviali, sabbioso limoso argillosi, di modesto spessore, <2/3 m, su substrato arenaceo - arenitico non stratificato, consistente, a comportamento rigido, con $V_s > 750/800/900$ m/sec

Effetti attesi: assenza di potenziali effetti locali.

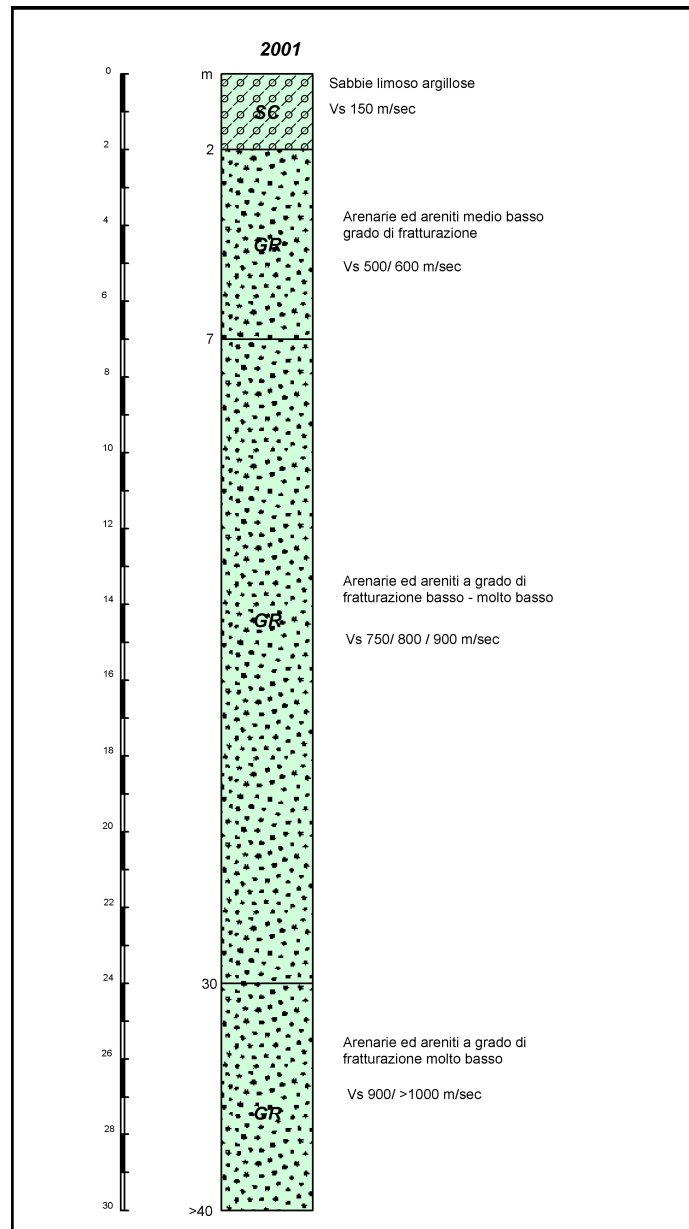
Studi richiesti: indagini per caratterizzazione del $V_{s_{30}}$.

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 limoso argillosi, di modesto spessore, <2/3 m, su substrato arenaceo - arenitico non stratificato, consistente, a comportamento rigido, con $V_s > 750/800$ m/sec

Effetti attesi: potenziale amplificazione per caratteristiche topografiche.

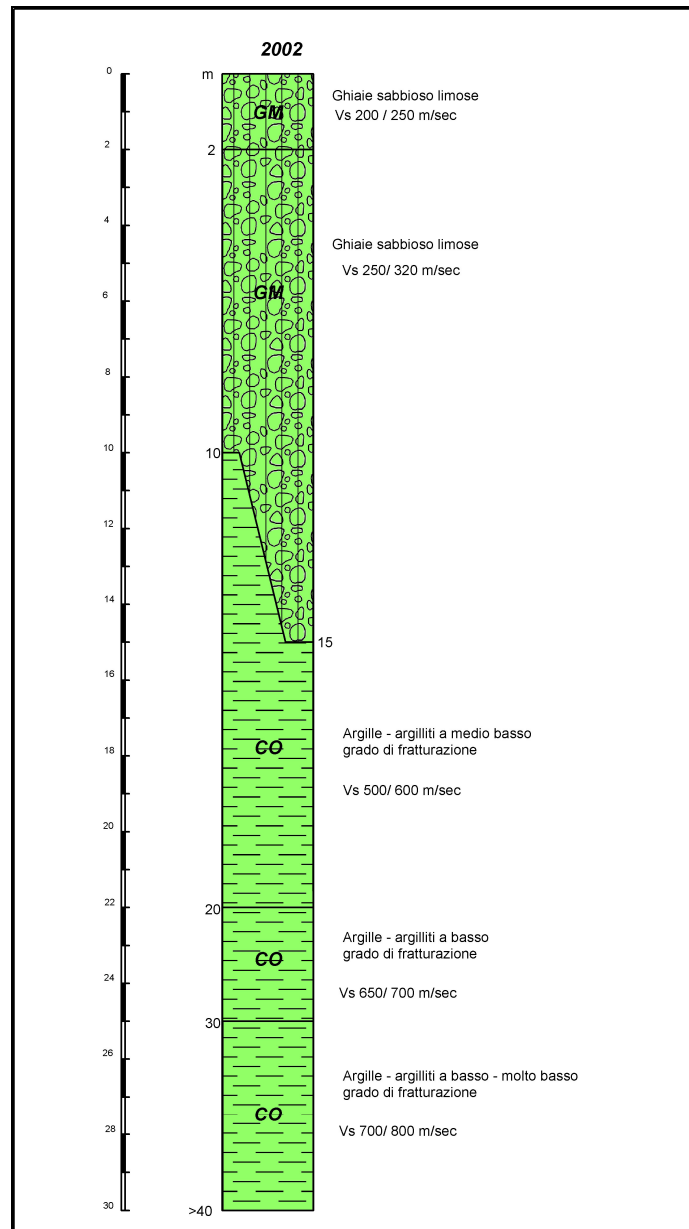
Studi richiesti: indagini per caratterizzazione del V_{s30} , valutazione amplificazione topografica.

Microzonazione sismica: se $V_{s30} < 750/800$ m/sec approfondimenti di II° livello; valutazione dell'amplificazione per effetti della topografia.

FA.PGA: 1-1,4

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

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



2002 - Depositi di conoide alluvionale ghiaioso sabbiosi - ghiaioso sabbioso limosi, su substrato argillitico, consistente, a comportamento non rigido, con $V_s < 650/750$ m/sec

Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche.

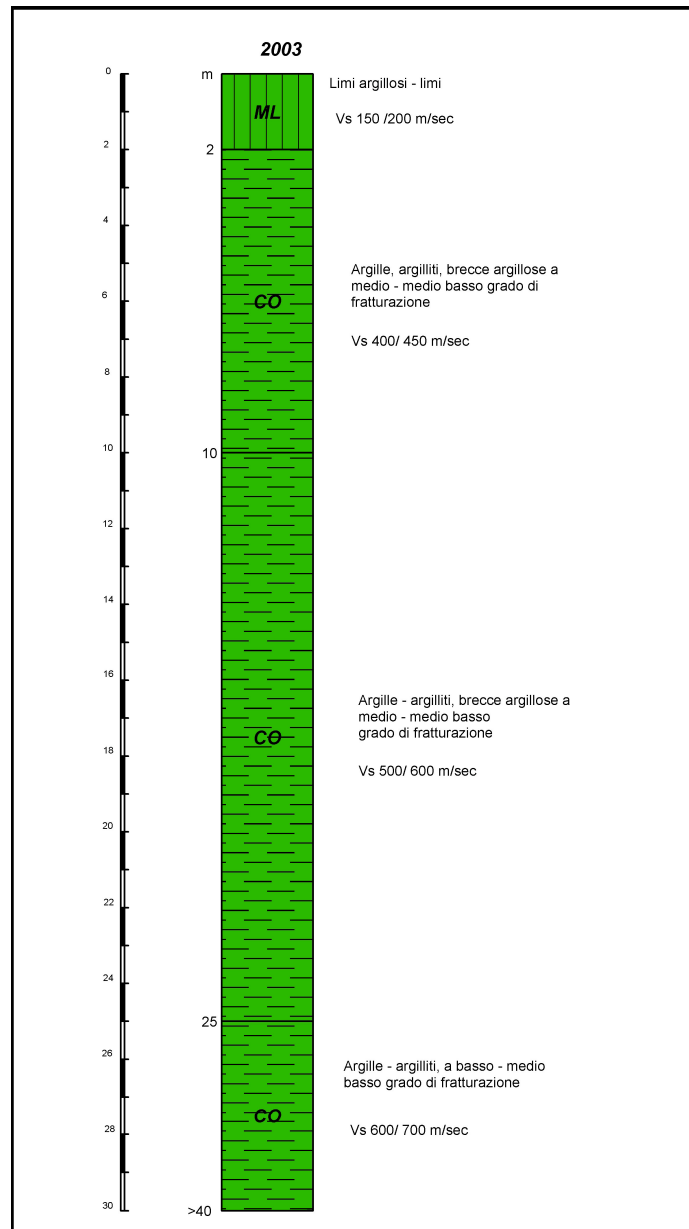
Studi richiesti: valutazione del coefficiente di amplificazione stratigrafico.

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

FA.PGA: **1,6 - 1,8**

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

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



2003 - Depositi eluvio colluviali, di modesto spessore, <2/3 m, su substrato argilloso - argillitico - a breccie argillose non stratificato, a medio elevato grado di consistenza, a comportamento non rigido, con $V_s < 600/700$ m/sec

Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche.

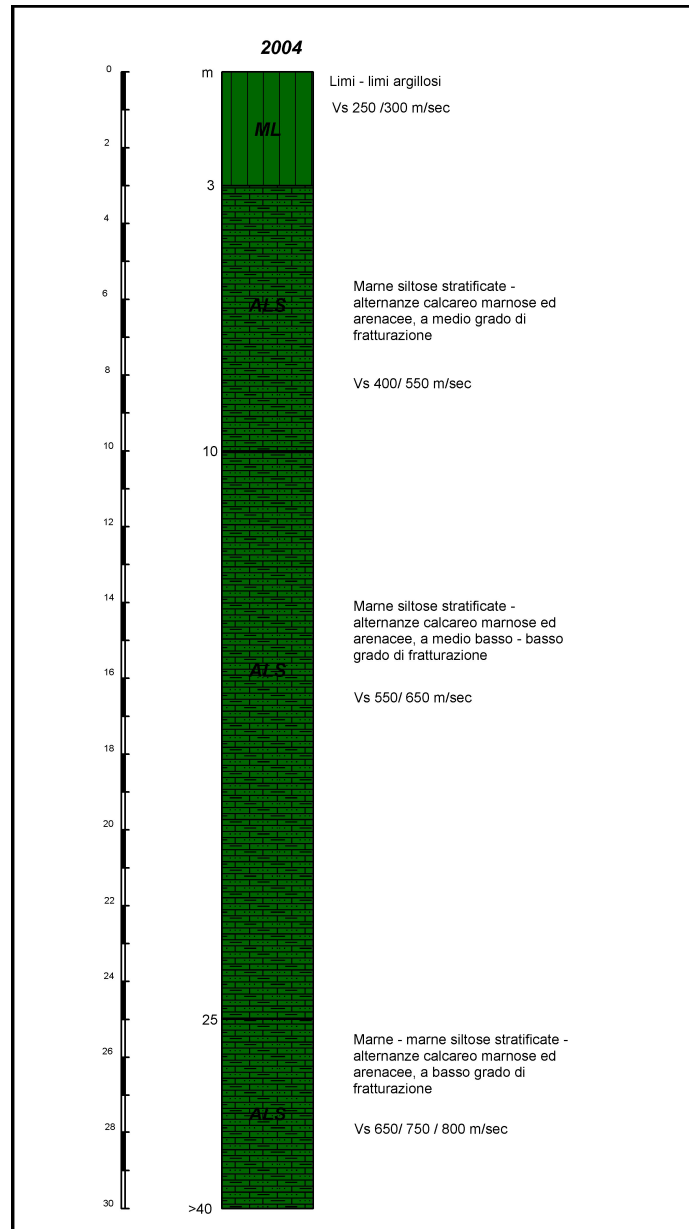
Studi richiesti: valutazione del coefficiente di amplificazione stratigrafico.

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

FA.PGA: **1,4-1,7**

FA.IS 0,1-0,5 sec: **1,4 - 1,8**

FA.IS 0,5-1,0 sec: **1,3 - 1,7**



2004 - Depositi eluvio colluviali, limoso argillosi, di modesto spessore, <2/3 m, su substrato arenaceo - arenitico stratificato, consistente, a comportamento non rigido/rigido, con $V_s \geq 750/800$ m/sec

Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche.

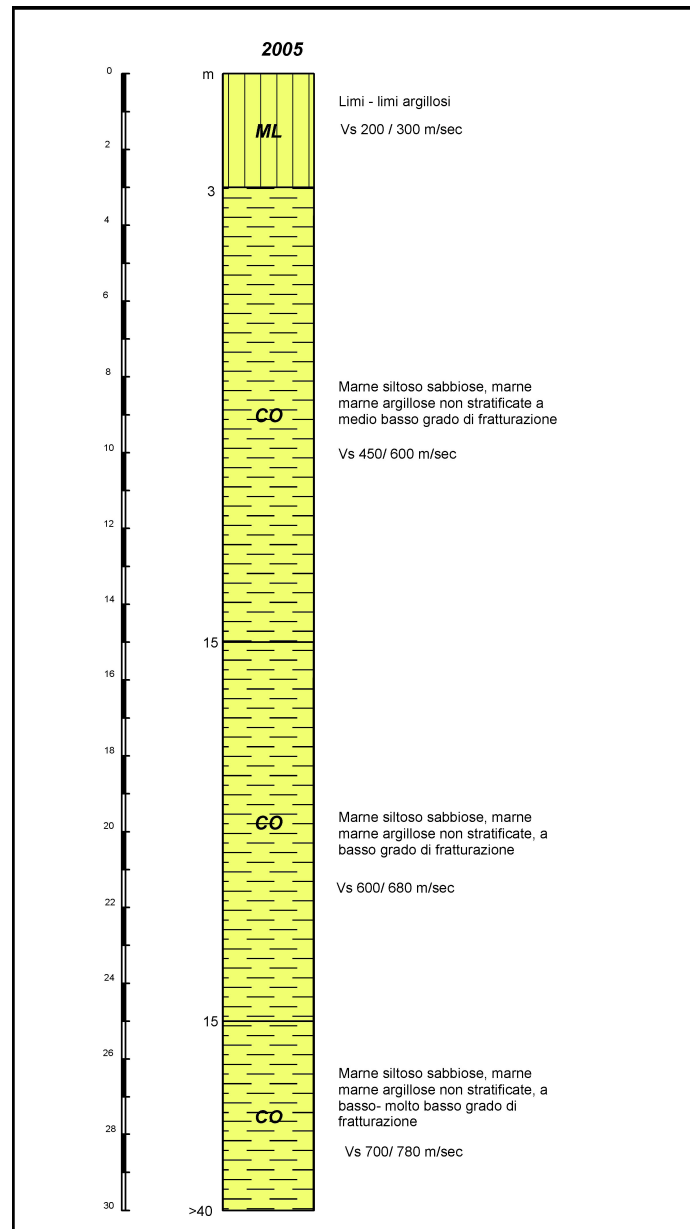
Studi richiesti: valutazione del coefficiente di amplificazione stratigrafico.

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

FA.PGA: **1,2-1,4**

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

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



2005 - Depositi eluvio colluviali, limosi - limoso argillosi, di modesto spessore, <2/3 m, su substrato marnoso siltoso sabbioso - marnoso argilloso, non stratificato, consistente, a comportamento non rigido, con Vs < 600/750 m/sec

Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche.

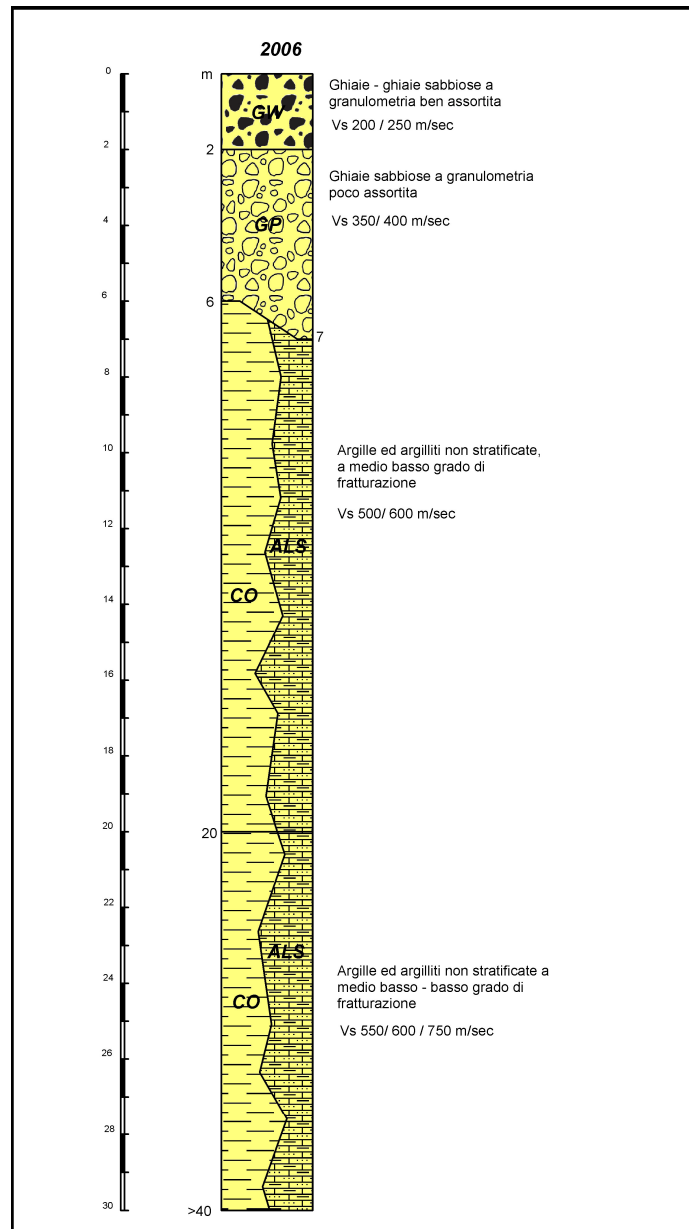
Studi richiesti: valutazione del coefficiente di amplificazione stratigrafico.

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

FA.PGA: **1,2-1,5**

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

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



2006 - Depositi alluvionali ghiaiosi – ghiaioso sabbiosi a granulometria ben assortita, con spessore da 6/7 a 10/11 m, su substrato arenaceo – arenaceo pelitico – marnoso calcareo, a comportamento non rigido, con $V_s < 600/750$ m/sec

Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche.

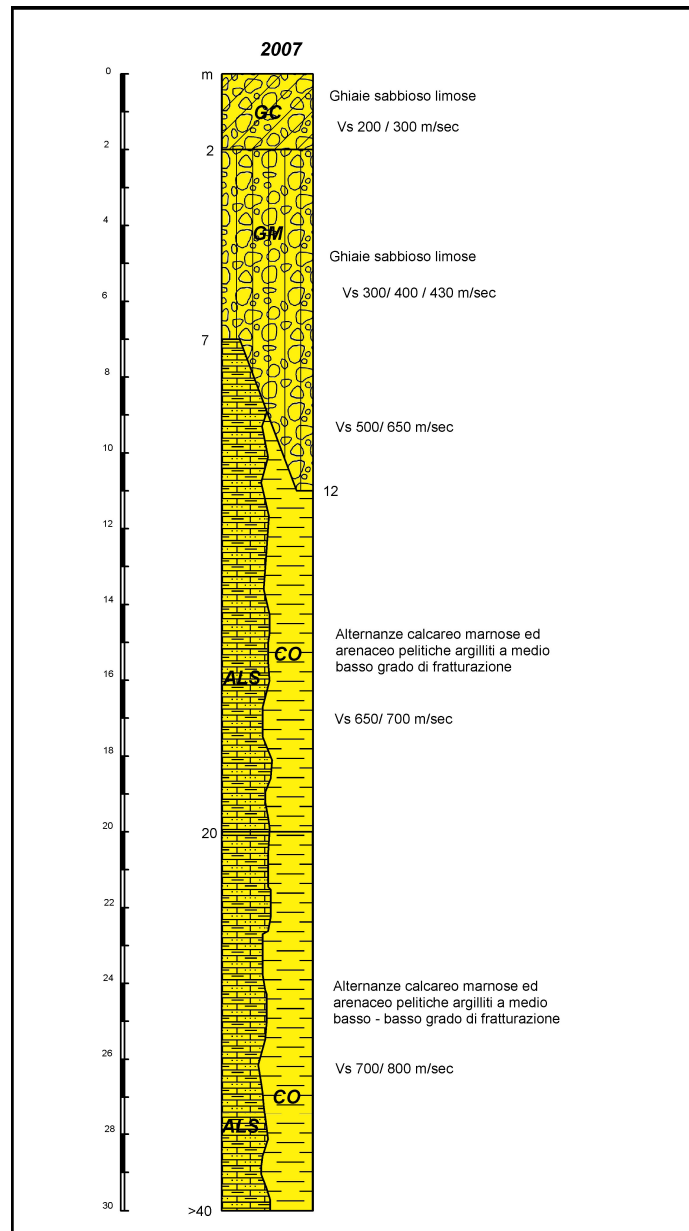
Studi richiesti: valutazione del coefficiente di amplificazione stratigrafico.

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

FA.PGA: **1,2-1,4**

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

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



2007 - Depositi alluvionali ghiaiosi - ghiaioso sabbioso limosi, su substrato arenaceo pelitico – calcareo marnoso – marnoso siltoso sabbioso – marnoso argilloso, stratificato e non, – argillitico – a breccie argillose consistenti, a comportamento non rigido, con Vs < 650/750 m/sec

Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche.

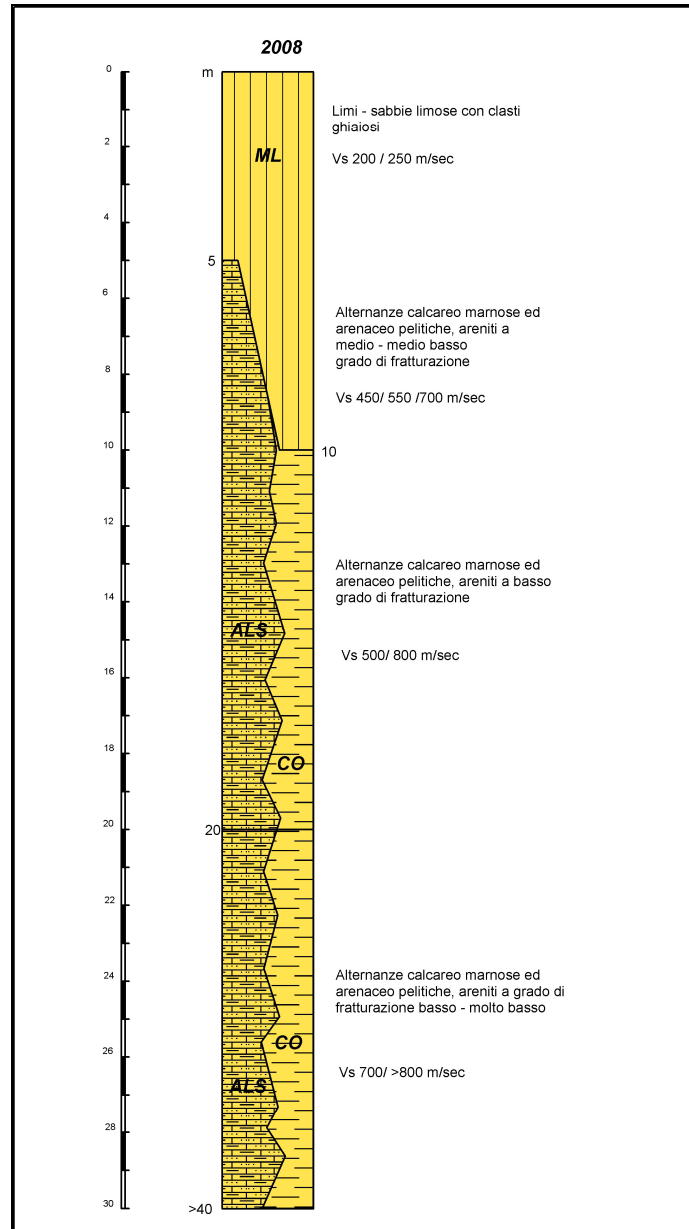
Studi richiesti: valutazione del coefficiente di amplificazione stratigrafico.

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

FA.PGA: **1,3-1,7**

FA.IS 0,1-0,5 sec: **1,4 - 1,7**

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



2008 - Depositi di versante eluvio - colluviali, limoso sabbioso argillosi, con spessori di 5/10 m, su substrato ad alternanze calcareo marnose, arenaceo pelitiche, arenitico stratificato e non, marnoso siltoso, marnoso argilloso, argillitico a breccie argillose, consistente, a comportamento non rigido, Vs < 600/750 m/sec

Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche.

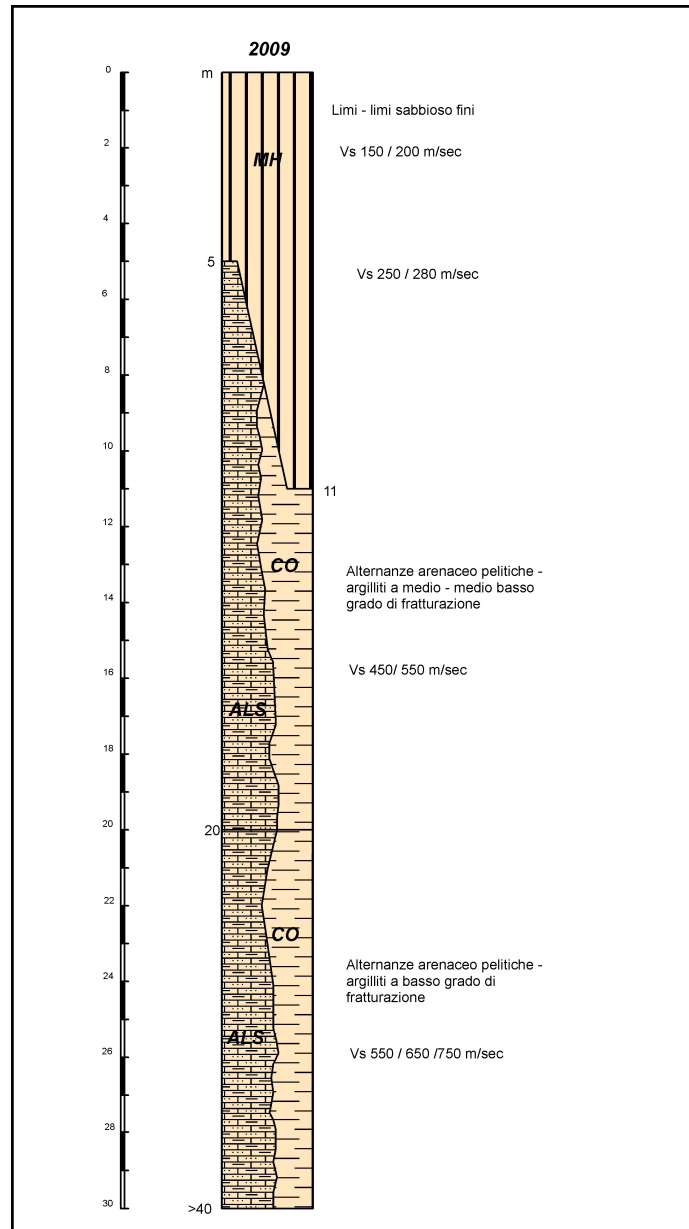
Studi richiesti: valutazione del coefficiente di amplificazione stratigrafico.

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

FA.PGA: **1,3 - 1,7**

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

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



2009 - Depositi eolici limosi - sabbioso limosi con spessori da 5 a 11 m, su substrato ad alternanze arenaceo pelitiche - argillitiche, consistenti, a comportamento non rigido, $V_s < 550/750$ m/sec

Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litostratigrafiche.

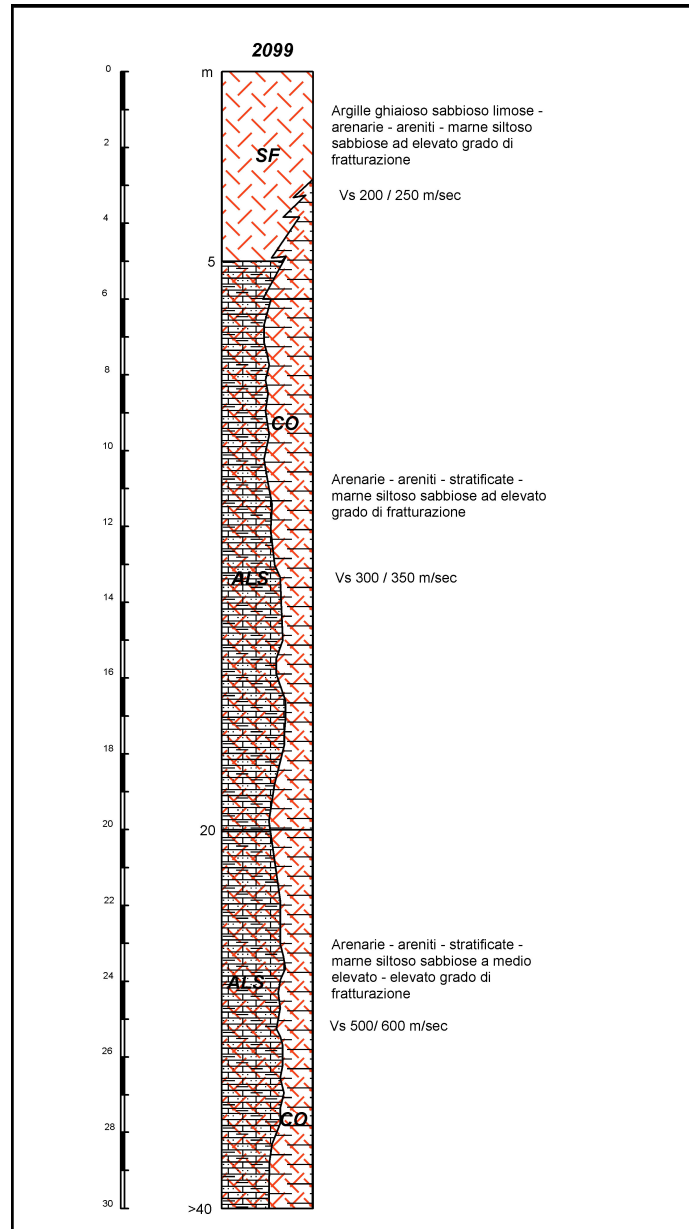
Studi richiesti: valutazione del coefficiente di amplificazione stratigrafico.

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

FA.PGA: **1,7-1,9**

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

FA.IS 0,5-1,0 sec: **1,4 - 1,7**



2099 - Depositi alluvionali - depositi di versante, ghiaioso sabbioso limosi, con spessore <5 m, su substrato arenaceo – arenaceo pelitico – marnoso siltoso sabbioso stratificato e non – argillitico – a breccie argillose, a grado di fratturazione molto elevato nei primi 7/10 m pc e successivamente grado di fratturazione elevato - medio elevato sino a -15/-25 m pc, a comportamento non rigido: Vs < 400/600 m/sec

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

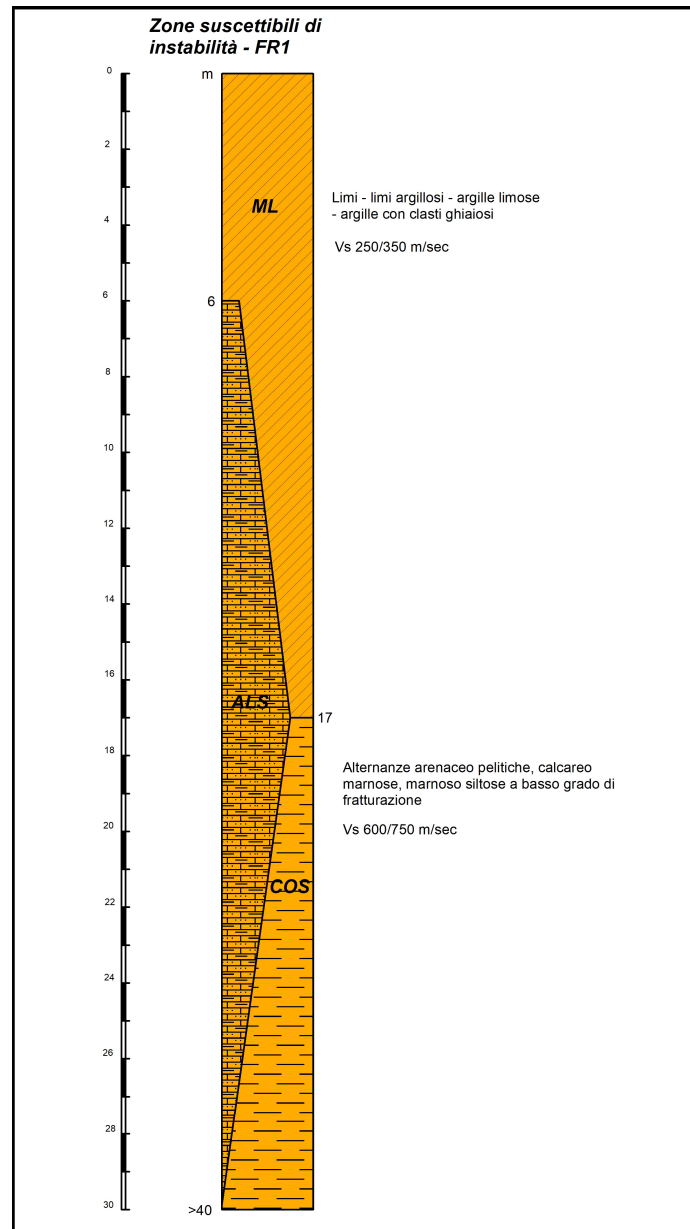
Studi richiesti: valutazione del coefficiente di amplificazione litostratigrafico.

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

FA.PGA: **1,5-1,9**

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

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



FR1 30xy2017 - Accumuli di frana quiescente complessa o colata, con spessori di 8/11/17 m, su substrato arenitico, ad alternanze arenitico pelitiche e calcareo marnose, marnoso siltose a comportamento non rigido, Vs = 600/750 m/sec

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

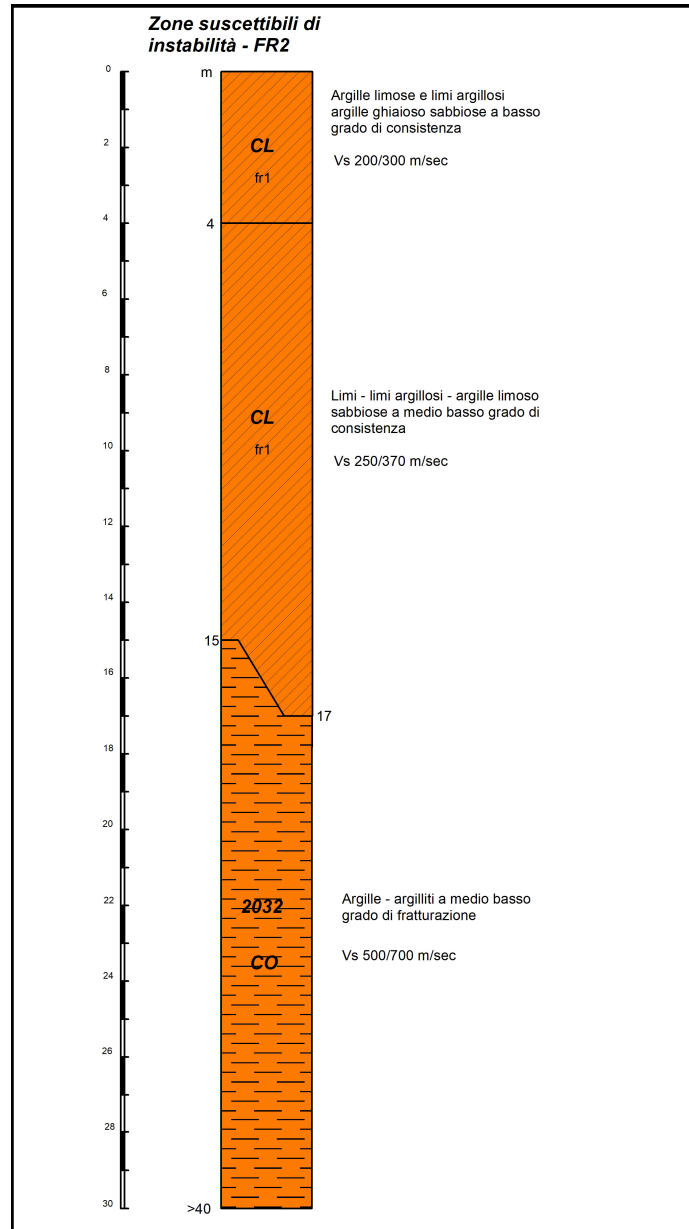
Studi richiesti: valutazione del coefficiente di amplificazione litostratigrafico, valutazione del grado di stabilità in condizioni statiche e dinamiche con metodo pseudostatico o dinamico.

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

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

FA.IS 0,1-0,5 sec: **1,9 - 2,0**

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



FR2 30xy2018 - Accumuli di frana attivi, per scivolamento, complessi, di colata, con spessori di 10/15/17 m, su substrato argillitico, a breccie argillose, argilloso marnoso siltoso, consistente a comportamento non rigido, Vs = 500/700 m/sec

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

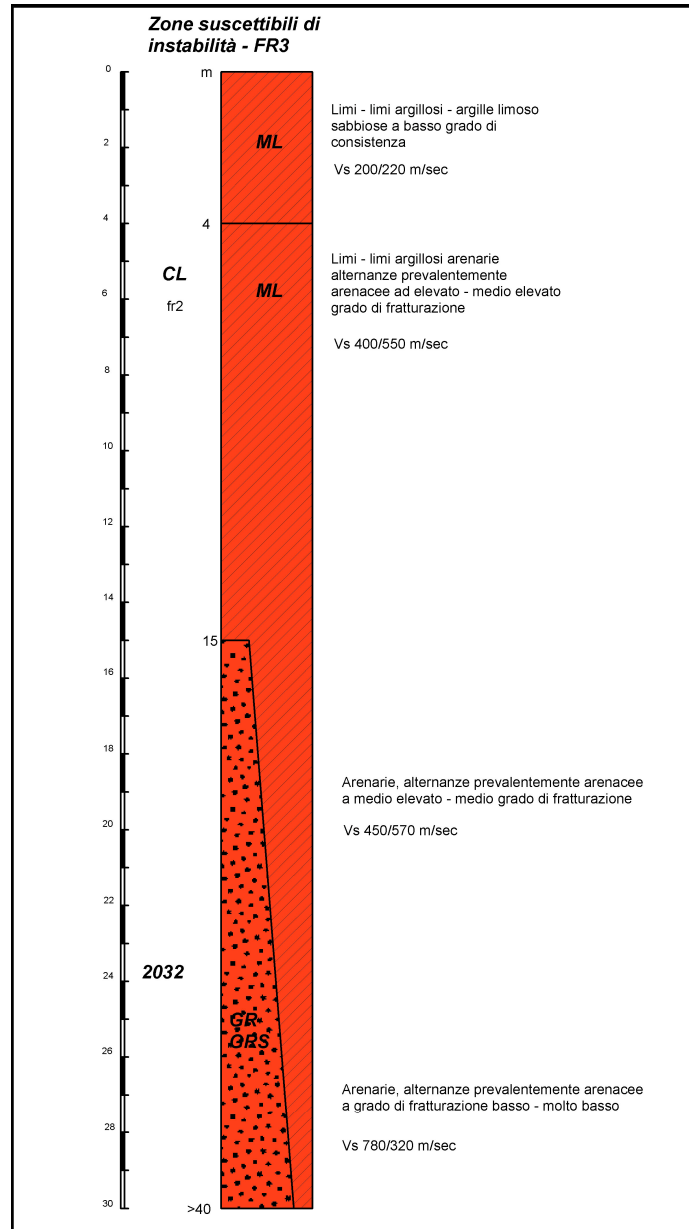
Studi richiesti: valutazione del coefficiente di amplificazione litostratigrafico, valutazione del grado di stabilità in condizioni statiche e dinamiche con metodo pseudostatico o dinamico.

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

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

FA.IS 0,1-0,5 sec: **1,9 - 2,0**

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



FR3 30xy 2019 - Accumuli di frana quiescente ad attiva di scivolamento in blocco o DPGV con spessori di 15/30 m, su substrato arenitico ad alternanze prevalentemente arenacee, ad elevato – medio elevato grado di fratturazione sino a -12/-15 m pc, medio elevata – media fratturazione da -15 a -30 m pc e bassa – molto bassa fratturazione alle profondità sottostanti; substrato a comportamento rigido, Vs = 780/850 m/sec.

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

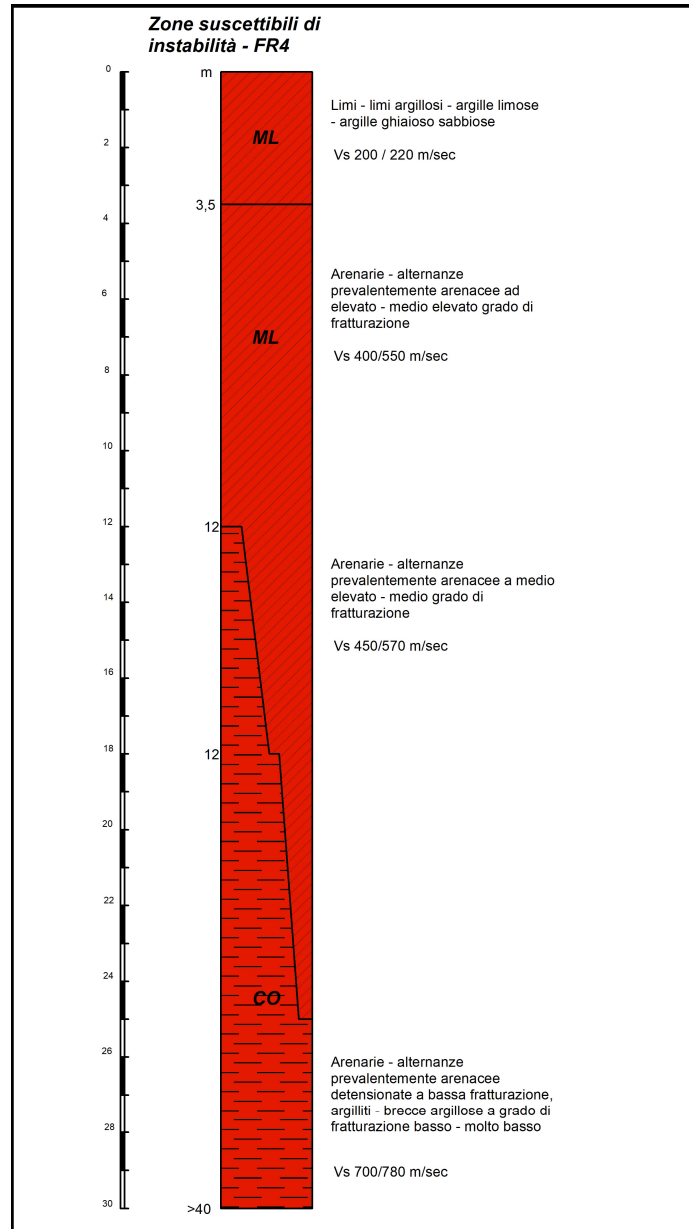
Studi richiesti: valutazione del coefficiente di amplificazione litostratigrafico, valutazione del grado di stabilità in condizioni statiche e dinamiche con metodo pseudostatico o dinamico.

Microzonazione sismica: approfondimenti di III° livello; nei casi di pendenza $\geq 15^\circ$ 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: **1,1 - 1,2**



FR4 30xy 2020 - Accumuli di frana quiescente ad attiva di scivolamento in blocco o DPGV con spessori di 10/15/25 m, su substrato arenitico detensionato – argillitico – a breccie argillose ad elevato – medio elevato grado di fratturazione sino a -10/-12 m pc, medio elevata – media fratturazione da -12 a -25 m pc e bassa – molto bassa fratturazione alle profondità sottostanti; substrato a comportamento non rigido, Vs = 600/700 m/sec.

Effetti attesi: amplificazione per caratteristiche litologico stratigrafiche e variazione laterale del grado di rigidezza, 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 $\geq 15^\circ$ 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**

7.4.1. Sintesi modello litostratigrafico

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

Le alternanze pelitico arenacee prevalentemente pelitiche e litozone a brecce argillose 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, che raggiungono grado medio elevato – elevato nei depositi limosi – limoso sabbioso eolici.

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

Le caratteristiche dei litotipi presenti nel territorio di Vergato, principalmente costituiti da argilliti – argille – marne argillose, indicano risentimenti sismici prevalentemente di grado medio. Fanno eccezione le fasce centro settentrionale orientale formate da rocce prevalentemente arenitiche con effetti di risposta sismica di bassa intensità.

Nelle aree dove sono presenti depositi alluvionali, di conoide alluvionale e depositi di versante, generalmente si riscontrano risentimenti sismici di intensità relativa maggiore di grado medio elevato – medio.

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

Appennino, coperture su substrato rigido

V _{SH} (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 _{SH} (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 _{SH} (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 **SH** (0,1s≤T≤0,5s)

V _{SH} (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** ($0,7s \leq T \leq 1,1s$)

Appemino, coperture su substrato non rigido

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

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

V _{SH} (m/s) → H (m) ↓	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	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 _{S30} (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 _{S30} (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 _{S30} (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 – sub rettangolare con interassi mediamente equivalenti a 150/200÷350 m nell'area capoluogo e nei principali insediamenti urbanizzati. Nelle aree oggetto di MS3 gli interassidi indagine corrispondono a 100/120÷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 Vergato, 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: Re.Mi./ Multichannel Analysis Surface Waves: MASW ;
- Horizontal to Vertical Spectral Ratio: HVSR, in rapporto ad indagini geognostiche - sondaggi meccanici prossimi, prospezioni Re.Mi./MASW coincidenti o prossime.
- Verticale sismica Down Hole

In riferimento ai valori di velocità V_s calcolati con la prima delle metodologie sopra indicate ed all'analisi critica delle prove CPT, DPSH e sondaggi meccanici disponibili, dalla rilevazione in spaccati di sezioni naturali dei versanti tra loro correlabili, 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 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, a6)
 $V_s = 220 \div 250$ m/sec;
- Accumuli di frana
(a1-2b, a1-2d, a1-2g, a1-2d) spessori 5/10 \div 15/20 m
 $V_s = 200/250 \div 300/350/400$ m/sec
(ah1 – ah2) spessore 10/15 \div 25/30 m
 $V_s = 400 \div 550$ m sec
- Depositi alluvionali – conoidi alluvionali, spessori: 5 \div 10/18 m
 $V_s = 250/300 \div 350/400$ m/sec
- Depositi eolici (d1), spessori: 5/10 m
 $V_s = 170/250$ m/sec

Formazioni Epiliguri:

- Prevalentemente arenaceo pelitiche – arenacee – arenitiche
 $V_s = 700 / 750 \div >800$ m/sec
- Prevalentemente marnose – siltoso – sabbiose – pelitico – arenacee – marnose
 $V_s 550/600 \div 700$ m/sec
- Prevalentemente argillitiche – marnoso argillose – brecce argillose
 $V_s = 400/450 \div 600$ m/sec

Formazioni liguri

- Prevalentemente argillitiche – argillose
 $V_s = 500/550 \div 600/700$ m/sec
- Prevalentemente pelitico arenacee – argilliti con subordinate siltiti – alternanze arenaceo pelitiche
 $V_s = 500/550 \div 600/700$ m/sec
- Prevalentemente calcareo marnose
 $V_s = 650 \div 750/800$ m/sec

Rocce fratturate - detensionate

- Prevalentemente arenacee – arenaceo pelitiche – arenitiche
 $V_s = 300/350 \div 400/450$ m/sec
- Prevalentemente pelitico arenacee – argillitiche
 $V_s = 300 \div 350/400$ 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. 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 V_s 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 amplificazioni locali
- 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, che individuano il valore del coefficiente di amplificazione, determinato 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 che ad esse competono, 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; analogamente mostrano accentuate differenze in concomitanza degli accumuli di frana con spessori maggiori: 8 / 10 m e depositi di versante con potenze di $5 \div 8 \div 10$ m, orizzonti di roccia detensionata/fratturata con potenze di $10/15 \div 25/35$ m.

In linea generale le litozone arenitiche della Successione Epiligure (PAT) evidenziano fattori di amplificazione nulli/praticamente trascurabili $FA_{PGA}=1,0$; $FH_{0,1-0,5s}=1,0$; $FA_{0,1-0,5s}=1,0$; $FA_{0,1-0,5s}=1,0$; $FA_{0,4-0,8s}=1,0$; $FA_{0,7-1,1s}=1,0$

Le alternanze arenaceo pelitiche (MOHa) denotano fattori di amplificazione bassi - molto bassi $FA_{PGA}=1,4$; $FH_{0,1-0,5s}=1,0$; $FH_{0,5-1,0s}=1,0$; $FA_{0,1-0,5s}=1,1$; $FA_{0,4-0,8s}=1,0$; $FA_{0,7-1,1s}=1,0$; simili comportamenti a medio - medio basso grado di amplificazione evidenziano le litozone marnoso siltose - siltitico arenacee (CTG), argillitiche (AVN) ed arenacee - arenaceo pelitiche non detensionate/alterate nei primi 10 m pc (LOI) contraddistinte da $FA_{PGA}=1,2$; $FH_{0,1-0,5s}=1,2 - 1,3$; $FH_{0,5-1,0s}=1,3$; $FA_{0,1-0,5s}=1,2$; $FA_{0,4-0,8s}=1,3$; $FA_{0,7-1,1s}=1,3$.

I litotipi arenitici marnoso siltosi detensionati nei primi 8/15 m dal pc (PAT) ed argillitici con alternate calcilutiti (APAA) denotano gradi di risentimento sismico medio: $FA_{PGA}=1,5$; $FH_{0,1-0,5s}=1,4/1,5$; $FH_{0,5-1,0s}=1,1/1,4$; $FA_{0,1-0,5s}=1,5$; $FA_{0,4-0,8s}=1,4$; $FA_{0,7-1,1s}=1,3$

Le litozone a brecce argillose (MVT) mostrano gradi di amplificazione medio elevati evidenziati da amplificazione $FA_{PGA}=1,7/1,8$; $FH_{0,1-0,5s}=1,7$; $FH_{0,5-1,0s}=1,4$; $FA_{0,1-0,5s}=1,7$; $FA_{0,4-0,8s}=1,5$; $FA_{0,7-1,1s}=1,4$

I depositi di versante presentano sensibili differenziazioni del risentimento sismico in rapporto sia ai loro spessori (4/5-8 m) che tipo di substrato coperto; evidenziano infatti fattori di amplificazione medi - medio elevati quando le formazioni sottostanti sono arenaceo pelitiche (MOHa) o marnoso siltose (CTG) come indicano i valori di $FA_{PGA}=1,6/1,5$; $FH_{0,1-0,5s}=1,6$; $FH_{0,5-1,0s}=1,4$; $FA_{0,1-0,5s}=1,5$; $FA_{0,4-0,8s}=1,4$; $FA_{0,7-1,1s}=1,3$; d'altra parte in presenza di substrati argillitici (AVN) con spessori delle coperture di 5/10 m, o arenaceo pelitici parzialmente detensionati (MOH) si riscontrano amplificazioni di grado medio elevato - elevato: $FA_{PGA}=1,9/2,0$; $FH_{0,1-0,5s}=1,7/1,9$; $FH_{0,5-1,0s}=1,4$; $FA_{0,1-0,5s}=1,7/1,8$; $FA_{0,4-0,8s}=1,4/1,5$; $FA_{0,7-1,1s}=1,3/1,4$.

Risposte alla sollecitazione sismica sensibilmente differenziate evidenziano i depositi alluvionali principalmente in rapporto al loro spessore ed in subordine al tipo di substrato litologico; si riscontrano infatti gradi di amplificazione medi: $FA_{PGA}=1,4$; $FH_{0,1-0,5s}=1,1/1,4$; $FH_{0,5-1,0s}=1/1,4$; $FA_{0,1-0,5s}=1,1/1,3$; $FA_{0,4-0,8s}=1,0/1,4$; $FA_{0,7-1,1s}=1,0/1,3$ quando gli spessori sono mediamente compresi tra $4/5 \div 7$ m; mentre quando gli spessori sono di $8/10 \div 13/18$ m si osservano fattori di amplificazione medio elevati: $FA_{PGA}=1,8$; $FH_{0,1-0,5s}=1,7$; $FH_{0,5-1,0s}=1,4$; $FA_{0,1-0,5s}=1,7$; $FA_{0,4-0,8s}=1,4$; $FA_{0,7-1,1s}=1,3$.

Risentimenti sismici differenziati denotano gli accumuli di frana in funzione sia tipo substrato coinvolto che del tipo di frana; si riscontrano infatti amplificazioni di grado medio elevato $FA_{PGA}=1,6$; $FH_{0,1-0,5s}=1,6$; $FH_{0,5-1,0s}=1,1/1,4$; $FA_{0,1-0,5s}=1,6$; $FA_{0,4-0,8s}=1,3/1,5$; $FA_{0,7-1,1s}=1,1/1,4$ nelle frane di scivolamento in blocco: ah, con spessori di $10/15 \div 25/30$ m che coinvolgono formazioni arenitiche (PAT); negli accumuli di tipo complesso, colata,

scivolamento che si sviluppano in litozone prevalentemente argillitico – argillose (APA) e pelitico arenacee (MOH) con spessori che variano da 11 ÷ 15/18 ÷ 20 m si riscontrano fattori di amplificazione di grado elevato: $FA_{PGA}=1,9/2,0$; $FH_{0.1-0.5s}=1,9/2,0$; $FH_{0.5-1.0s}=1,4/1,6$; $FA_{0.1-0.5s}=1,9/2,0$; $FA_{0.4-0.8s}=1,5/1,8$; $FA_{0.7-1.1s}=1,0$.

Fattori di amplificazione elevati contraddistinguono le zone interessate da deformazioni che hanno indotto medio elevati gradi di fratturazione che mostrano $FA_{PGA}=1,8/1,9$; $FH_{0.1-0.5s}=2,0/2,1$; $FH_{0.5-1.0s}=1,4/1,5$; $FA_{0.1-0.5s}=1,9/2,0$; $FA_{0.4-0.8s}=1,5/1,7$; $FA_{0.7-1.1s}=1,4$; nelle litozone prevalentemente arenacee fratturate detti valori sono inferiori e corrispondono a $FA_{PGA}=1,5/1,6$; $FH_{0.1-0.5s}=1,5/1,6$; $FH_{0.5-1.0s}=1,1/1,2$; $FA_{0.1-0.5s}=1,5/1,6$; $FA_{0.4-0.8s}=1,1/1,2$; $FA_{0.7-1.1s}=1,0$. Fattori di amplificazione elevati caratterizzano le fasce di faglia nelle quali $FA_{PGA}=2,0$; $FH_{0.1-0.5s}=2,3$; $FH_{0.5-1.0s}=1,9$; $FA_{0.1-0.5s}=2,2$; $FA_{0.4-0.8s}=2,3$; $FA_{0.7-1.1s}=1,7$.

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 trascurabili relativamente ai fattori di amplificazione dell'accelerazione di gravità, nei settori urbanizzati nei quali è praticamente affiorante il substrato rigido, quali la fascia meridionale di Tolè con $FA_{PGA}=1,0$; i settori nord occidentali centro orientali, orientali, centro occidentali di Riola (escluse le fasce di faglia) di Cereglio, nord occidentali e settentrionali centrali di Tolè, sono contraddistinti da fattori di amplificazione medio bassi $FA_{PGA}=1,2-1,3$; risentimenti sismici di medio grado indicano la fascia in sponda meridionale del T. Vergatello nel settore capoluogo e la zona produttiva sud est (Cà dell'Anitra) dello stesso, l'area di terrazzo alluvionale tra Rio la Vecchia ed il F. Reno, caratterizzate da $FA_{PGA}=1,3/1,4$; effetti di amplificazione medi – medio elevati con $FA_{PGA}=1,5/1,6$, contraddistinguono i versanti argillitici a nord e sud del T. Vergatello e ad ovest del F. Reno nell'urbanizzato del capoluogo, i versanti settentrionali ed orientali della frazione di Cereglio, centrale settentrionale di Tolè, fascia centro meridionale di Riola circa tra la Quiete e Castagnoli.

Risentimenti sismici di grado medio elevato $FA_{PGA}=1,8$ caratterizzano le fasce di terrazzo alluvionale del capoluogo in destra F. Reno e sinistra del T. Vergatello, quelle latitanti la sponda settentrionale di detto fiume nella zona sud ovest di Riola e nord est della stessa; effetti di amplificazioni medio elevati $FA_{PGA}=1,9 - 2,0$ contraddistinguono la fascia centrale e zona nord orientale di Tolè, l'area centro meridionale di Cereglio, parti del settore orientale di Riola, le zone con presenza di accumuli di frana nelle aree a settentrione ed a meridione del capoluogo.

I valori dei fattori di amplificazione elevati si riscontrano in fasce a sviluppo prevalentemente lineare interessate da fratturazione di Tolè, Cereglio, Riola, con $FA_{PGA}=1,8/1,9 ÷ 2,0/2,2$.

8.5. Carta dei fattori di amplificazione di intensità di Housner in termini velocità nell'intervallo FH $0.1 < T < 0.5$ sec.

Comportamenti simili si evidenziano per quanto riguarda i campi dei fattori di amplificazione di intensità sismica nell'intervallo FH: $0,1 < T < 0,5$ sec, che indicano assenza di amplificazione nel settore meridionale di Tolè e nelle parti occidentali settentrionali e centro settentrionali di Riola nelle quali FH=1,0; analoghi fattori caratterizzano la zona sede della parte orientale dell'Ospedale Civile di Vergato.

Risentimenti di grado basso con FH=1,1/1,2 contraddistinguono le parti occidentali e settentrionali dell'area che comprende il sopracitato policlinico, la parte settentrionale del terrazzo alluvionale alla quale appartiene l'edificio sede del comune, gli analoghi depositi sui quali è ubicato il campo sportivo di Riola e le fasce di versante a nord di via Castagnoli di detta frazione.

Effetti di amplificazione medi FH=1,3/1,4, contraddistinguono i versanti in destra e sinistra del T. Vergatello ed in sinistra F. Reno nell'area urbana del capoluogo, parti della fascia settentrionale di Tolè, settore centrale occidentale di Cerglio, zona orientale di Riola.

Risentimenti di grado medio elevato caratterizzano le fasce di terrazzo alluvionale in sinistra F. Reno e sponda settentrionale del T. Vergatello nell'urbanizzato del capoluogo, fasce di versante a nord di via della Vignola a Cerglio, settore centro meridionale di Cerglio, fascia sud occidentale e parti della zona centro orientale – orientale di Riola, nei quali FH = 1,7/1,8.

Effetti di amplificazione di grado elevato contraddistinguono la fascia centrale settentrionale e la zona orientale settentrionale di Tolè nelle quali FH=1,9/2,0, analoghi risentimenti denotano i versanti a sud di via provinciale a Cerglio, nelle aree con presenza di corpi di frana, nelle zone a sud ed a nord dell'urbanizzato del capoluogo, estese aree nel settore orientale di Riola.

La fascia ovest est a sud di via A. Fini in Tolè, nella quale sono presenti fasce di substrato fratturato ed estesi depositi di versante scarsamente consistenti, evidenzia valori dei fattori di amplificazione elevati: FH=2,3; analoghi fattori si riscontrano in fasce di modesta estensione nelle zone nord di Riola, sud e nord del capoluogo.

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

Analoghe distribuzioni territoriali denotano i fattori di amplificazione nell'intervallo FH: $0,5 < T < 1,0$ sec, si osserva infatti assenza di effetti di amplificazione nel settore meridionale di Tolè e fascia settentrionale centro occidentale e parte dell'area centro orientale di Riola con FH=1,0.

Risentimenti sismici di medio grado FH=1,4/1,3 caratterizzano i versanti a sud e a nord del T. Vergatello, ad ovest del F. Reno ed i terrazzi alluvionali in sponda occidentale dello stesso nell'urbanizzato del capoluogo, la fascia settentrionale di Tolè, la prevalente parte dell'area di Cerglio, fasce meridionali e zone centro orientali – orientali di Riola, ad eccezione per tutte le sopracitate frazioni delle zone di frana e fasce di faglia.

Effetti medi dell'amplificazione $FH=1,5/1,6$, contraddistinguono le zone di frana nord e sud del capoluogo, aree di modesta estensione nelle zone nord e nord est di Riola, aree a nord di Cereglio, nelle quali i fattori di amplificazione sono correlati agli effetti della topografia; analoghi risentimenti contraddistinguono l'estesa fascia centrale sede dell'urbanizzato di Tolè e sue zone orientali, nelle quali sono diffusamente presenti depositi di versante.

8.7. Carta dei fattori di amplificazione in termini accelerazione nell'intervallo $FA\ 0,1 < T < 0,5\ sec.$

Le distribuzioni territoriali dei fattori di amplificazione $FA: 0,1 < T < 0,5$ sono molto simili a quelli di $FH\ 0,1-0,5\ sec.$ Si riscontrano infatti amplificazioni molto basse trascurabili $FA=1,0/1,2$ nel settore meridionale di Tolè, fascia centrale occidentale di Cereglio, zone centrali occidentali ed orientali meridionali di Riola, zona dell'Ospedale capoluogo e parte nord del terrazzo alluvionale sede del municipio. Fattori di media intensità $FA=1,4/1,5$, caratterizzano la prevalente parte del capoluogo, settori orientali di Cereglio, la zona settentrionale centrale di Tolè. Zone interessate di fattori di amplificazione medio elevati $FA=1,7/1,8$, si rinvengono nelle fasce di terrazzo alluvionale in sinistra Reno e in sponda settentrionale del T. Vergatello nell'area capoluogo, fascia meridionale sede della ferrovia di Riola e settore centro orientale di detta località.

Le zone interessate dai fattori di amplificazione di intensità elevati $FA=1,9/2,0$, si rinvengono nella fascia meridionale di Cereglio, zone di frana nella parte orientale di Riola e in analoghi accumuli nelle aree sud e nord del capoluogo, fascia centrale e zona nord orientale di Tolè. Le amplificazioni maggiori $FA=2,3$ contraddistinguono la fascia a sud di via A. Fini di Tolè.

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, ed a quelli di $FH\ 0,5-1,0$, evidenziano valori di intensità praticamente trascurabili $FA=1,0$ nella zona meridionale di Tolè, zone centro occidentali e meridionali occidentali di Riola, area ospedale e zona nord del terrazzo alluvionale sede del Municipio Capoluogo. Amplificazioni di medio bassa intensità $FA=1,3/1,4$ caratterizzano la prevalente parte di quest'ultimo, il settore nord ovest di Tolè, le zone orientali e settentrionali di Cereglio, fasce meridionali occidentali ed orientali di Riola.

Valori medi di amplificazione $FA=1,6/1,6$ contraddistinguono l'area meridionale di Cereglio e parti di quella orientale di Riola.

Gli areali con valori medio elevati – elevati dei fattori di amplificazione $FA=1,7/1,8$ generalmente caratterizzano zone di frana del capoluogo e fasce influenzate da effetti della topografia. Nell'area di Tolè detti fattori di amplificazione contraddistinguono la fascia

centrale ovest est e la zona orientale nelle quali sono diffusamente presenti depositi di versante a scendenti caratteristiche geotecniche.

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 di intensità sismica FA nell'intervallo 0,7<T<1,1 sec, indicano distribuzioni simili equivalenti a quelle di campo FH 0,5–1 evidenziano valori di intensità praticamente trascurabili FA=1,0 per la parte meridionale di Cereglio, area ospedale e parte settentrionale del terrazzo alluvionale sede del municipio, zone centrali occidentali e meridionali occidentali di Riola. Simili valori di amplificazione bassi FA=1,1/1,2 evidenzia il settore nord ovest di Riola. Valori medi–medio bassi di amplificazione FA=1,3/1,4 caratterizzano la prevalente parte del capoluogo, la zona settentrionale e nord orientale di Tolè, la quasi totalità dell'area di Cereglio, i settori meridionali occidentali, centrali ed orientali di Riola.

Gli areali con valori medi dei fattori di amplificazione FA=1,5/1,6 caratterizzano la zona centrale estesa ovest est di Tolè, costituita da depositi di versante scarsamente consistenti. I rimanenti settori del territorio con tali fattori di amplificazione sono costituiti da fasce di modesta area nelle quali sono correlati ad effetti della topografia.

8.10. LIVELLO DI PERICOLOSITA' SISMICA H_{SM}

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 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 quella di FA e FH di tale intervallo.

La maggior parte dell'area compresa nello sviluppo del capoluogo contraddistinta da H_{SM}=500÷560 cm/sec² appartiene alla classe moderata; fanno in parte eccezione la zona sede dell'ospedale civile con H_{SM}=345 cm/sec² attribuibile a pericolosità moderata bassa e le fasce di terrazzo alluvionale in sponda meridionale del T.Vergatello e quelle in sinistra T. Reno a nord di via Monte Pero sino a Via Bologna contraddistinte da H_{SM}=440–470 cm/sec². Le fasce di

terrazzo alluvionale in sponda settentrionale del T.Vergatello e quelle in sinistra F.Reno delimitati ad est dalla ferrovia circa da Berleda a via A. Comani, quella prospiciente la zona del polo sportivo di via Liserna, esclusa l'area sede dell'edificio Municipale, appartengono alla classe alta: $H_{SM}=550-850 \text{ cm/sec}^2$; in tale classe rientrano gli accumuli di frana a sud ed a nord T. del Vergatello che presentano valori relativi maggiori: $H_{SM}=700-760 \text{ cm/sec}^2$ rispetto alle zone sopra descritte; i valori più elevati $H_{SM}>800 \text{ cm/sec}^2$ si riscontrano in corrispondenza di fasce di versante con presenza di frana influenzate dagli effetti della topografia.

Analoghe condizioni moderate contraddistinguono l'area di Riola, Cereglio, settentrionale di Tolè, che nelle parti a sud di via A. Fini a Tolè denotano prevalentemente una pericolosità di grado moderato - moderato basso $H_{SM}=350-390 \text{ cm/sec}^2$; in detti ambiti territoriali le zone a pericolosità alta sono percentualmente subordinate, ad esclusione della fascia centrale estesa sud ovest - nord est di Tolè, e denotano i valori relativi maggiori: $H_{SM}=700-750 \text{ cm/sec}^2$ in corrispondenza degli accumuli di frana e/o delle fasce di substrato fratturato. Il settore centrale dell'ambito territoriale di Tole è contraddistinto da grado di pericolosità alta con $H_{SM}=700-820 \text{ cm/sec}^2$ nella fascia estesa sud ovest - nord est che asseconda l'andamento di via G. Di Vittorio - via Papa Giovanni XXIII. Un'area di limitata estensione a pericolosità molto alta $H_{SM}>860 \text{ cm/sec}^2$ si riscontra nella zona settentrionale centrale di Riola, circa 100 m a sud di Querceto, in corrispondenza di una fascia di substrato fratturato.

8.12. Risentimenti sismici - 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)¹
- Fabbricati aventi periodo di vibrazione compreso nell'intervallo 0,3-0,5 sec (ricadono in questo intervallo le più comuni strutture a telaio in cls 4 - 6 piani, e per estensione anche le prefabbricate tipiche del settore produttivo-manifatturiero commerciale/industriale aventi altezza sottotrave 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, quelle oltre 5/6 piani e fabbricati industriali con altezze maggiori di 8 m sotto trave, e per estensione magazzini verticali e manufatti alti e stretti quali 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.

¹ Si fa riferimento al metodo di Analisi lineare statica previsto dalle vigenti NTC 2008 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 Vergato, sono stati sviluppati per le aree con presenza di edifici di interesse strategico: ospedale, di importanza rilevante, scuole istruzione superiore, scuole dell'infanzia e zone con presenza di accumuli di frana sede di strutture scolastiche e impianti sportivi, di seguito elencate:

- Capoluogo: sede Municipale – scuola dell'infanzia
- Capoluogo: Ospedale Civile di Vergato – Casa Della Salute
- Istituto di Istruzione Superiore Scuola Luigi Fantini.
- Polo Sportivo Polivalente di via Del Tennis – via Liserna.

Le condizioni morfologiche e litologico stratigrafiche locali dei siti sopra esposti, sono state individuate in base alle prospezioni geofisiche ed indagini geognostiche 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 tutti i siti sede sopra elencati.

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, Città Metropolitana di Bologna, rapporti tecnici recanti indagini geognostiche: sondaggi meccanici, prospezione geofisica in foro di sondaggio DH, prove penetrometriche statiche CPT.Rm, prove penetrometriche dinamiche super pesanti DPSH.

In seconda fase dette documentazioni sono state implementate dall'esecuzione diretta di 14 profili in tomografia sismica 2D, 13 prospezioni geofisiche a rifrazione eseguite con acquisizioni ed elaborazioni con metodo integrato Re.Mi./MASW, 14 verticali a stazione singola con acquisizione di microtremori ambientali HVSR, un sondaggio meccanico a carotaggio continuo sino a -23 m pc con prelievo di 4 campioni indisturbati per analisi di laboratorio geotecnico ed esecuzione di 3 prove di penetrazione codificata SPT con punta aperta Raimond per il recupero dei terreni da esaminare in laboratorio, 12 prove penetrometriche dinamiche superpesanti DPSH sino al rifiuto all'avanzamento della prova che hanno raggiunto profondità di -5/-7 ÷ -12/-16 m pc nell' area Istituto L. Fantini e di -5 ÷ -11 m pc nella zona Polo Sportivo via Liserna.

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)*².

² 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 –

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.
- *Scelta dei moti di riferimento*: attraverso 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.

9.2. 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)³.

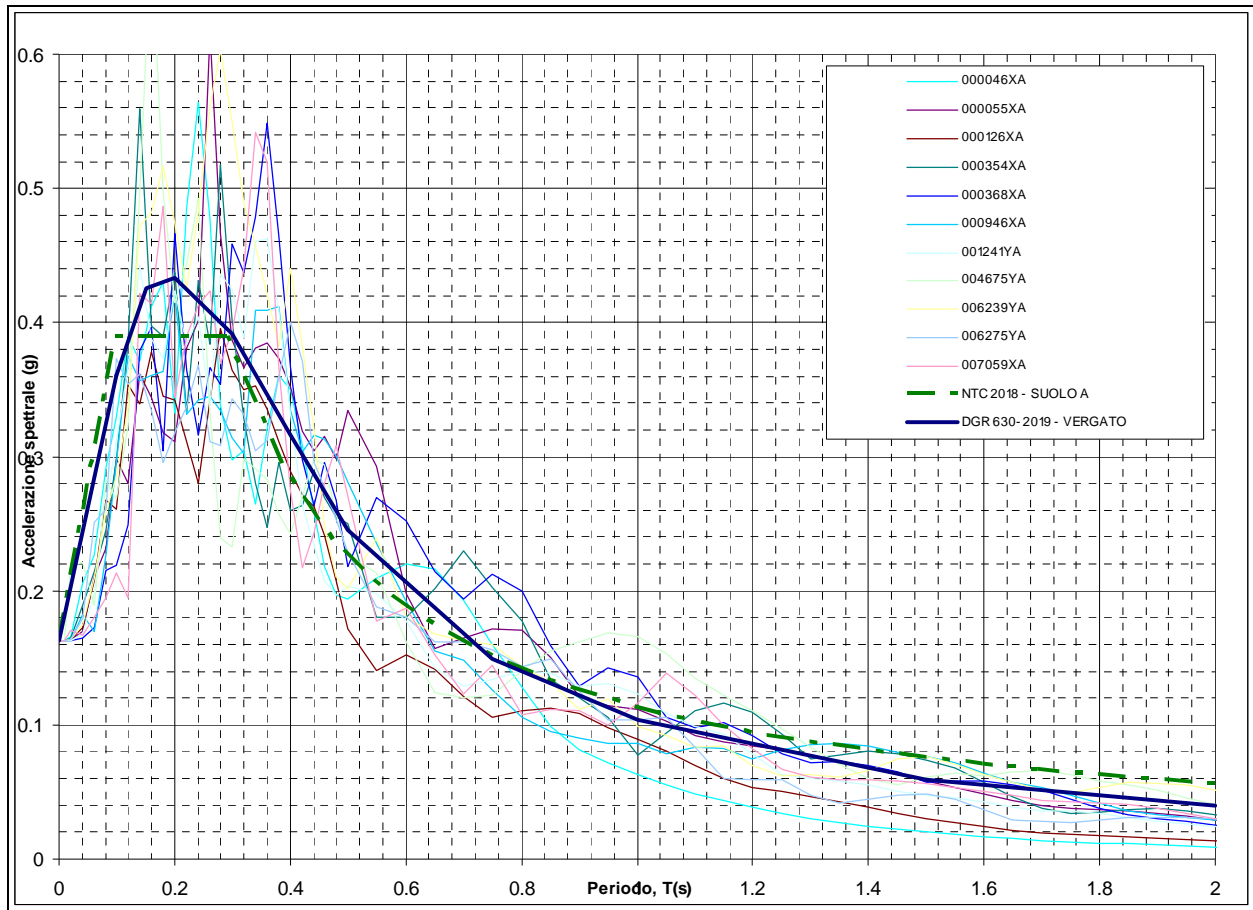
Tale schema prevede:

Romagna Region). In Proceedings of the Eleventh European Conference on Earthquake Engineering, Invited Lectures Volume, pagg. 339-350. Balkema.

³ 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.

- *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.
- *Scelta dei moti di riferimento*: attraverso la selezione di accelerogrammi reali da banche dati mediante 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.



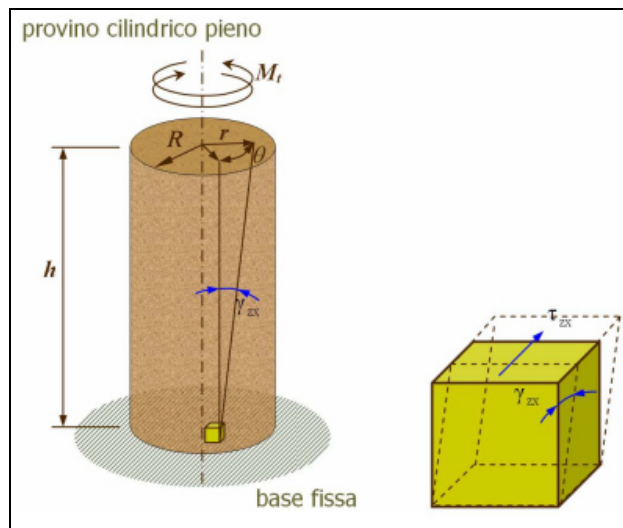
Spettro di risposta a probabilità uniforme (Periodo di ritorno di 474 anni, smorzamento=5%) costruito con i parametri esposti nella delibera della Giunta Regionale ER n° 630-2019, spettro elastico di risposta per suolo A determinato secondo i dettati delle NTC 2018 e spettri di risposta degli accelerogrammi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

9.2.1. Prove Dinamiche

Per la stima della risposta dei terreni alle sollecitazioni dinamiche e pertanto alla determinazione del valore del modulo di taglio iniziale G_0 , per piccole deformazioni, e del decadimento del modulo di taglio con l'incremento delle deformazioni di taglio (γ) G/G_0 e dei relativi valori del rapporto di smorzamento D , è stata eseguita una prova di colonna risonante per il campione argilloso limoso – argillitico recuperato in SM202 tra 17,4 e -17,9 m da piano campagna nella formazione argillitica di substrato presente in loco.

I parametri sopra indicati sono esposti negli allegati certificati redatti da *Geotest Sas*, Melfi, PZ.

Lo standard di riferimento per la prova con colonna risonante è la normativa ASTM D4015-2007.

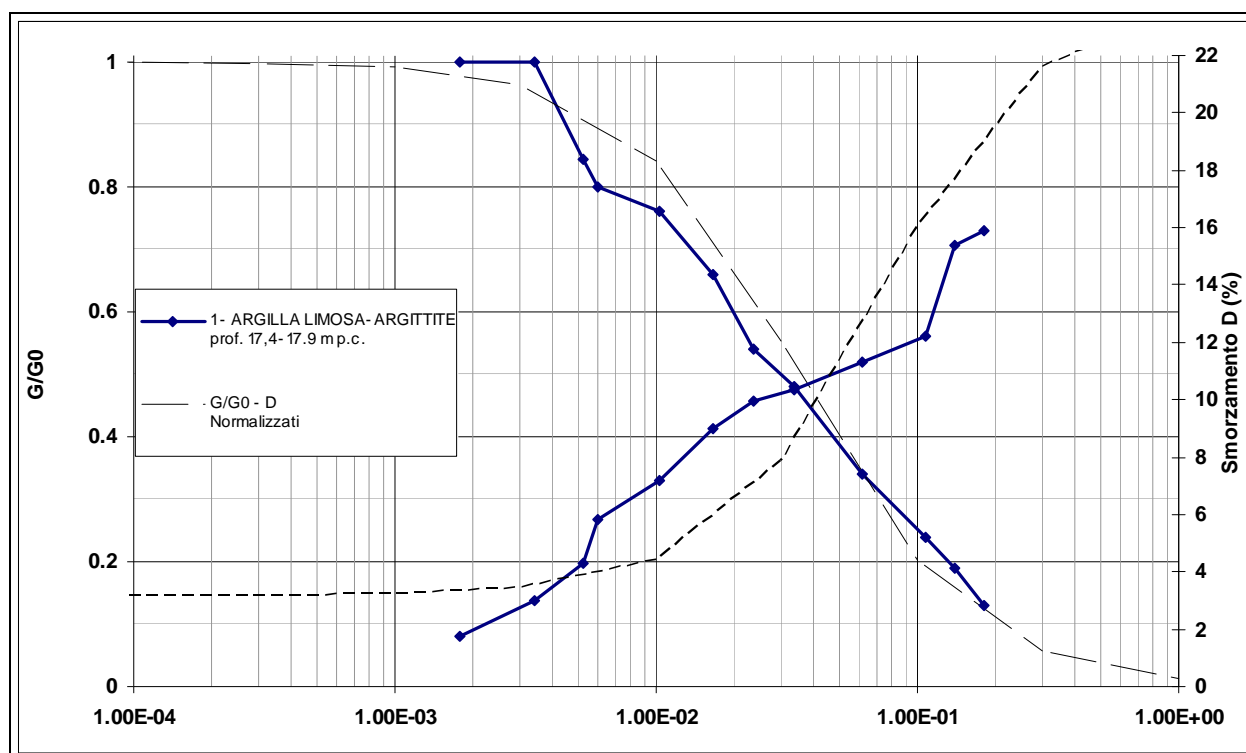


Le prove RC sono finalizzate alla determinazione delle leggi di decadimento della rigidità e d'incremento del fattore di smorzamento senza il raggiungimento delle condizioni di rottura.

I risultati sono riassunti nelle seguenti tabella e grafico:

Campione: argillite, prof. 17,4-17.9 m p.c.

Test	Frequenza di risonanza (Hz)	Momento Torcente (Nm)	Deformazione di taglio max (%)	Modulo di taglio G (MPa)	G/G0	Rapporto di smorz. D (%)
1	246	0,09	$1,77 \cdot 10^{-03}$	127	1,00	1,73
2	246	0,15	$3,34 \cdot 10^{-03}$	127	1,00	3,02
3	226	0,24	$5,24 \cdot 10^{-03}$	107	0,84	4,31
4	220	0,30	$5,97 \cdot 10^{-03}$	101	0,80	5,85
5	214	0,48	$1,03 \cdot 10^{-02}$	96	0,76	7,17
6	200	0,66	$1,65 \cdot 10^{-02}$	84	0,66	8,99
7	182	0,90	$2,35 \cdot 10^{-02}$	69	0,54	9,98
8	170	114	$3,38 \cdot 10^{-02}$	61	0,48	10,34
9	144	174	$6,17 \cdot 10^{-02}$	43	0,34	11,31
10	120	255	$1,07 \cdot 10^{-01}$	30	0,24	12,21
11	106	300	$1,38 \cdot 10^{-01}$	24	0,19	15,39
12	88	375	$1,80 \cdot 10^{-01}$	16	0,13	15,89

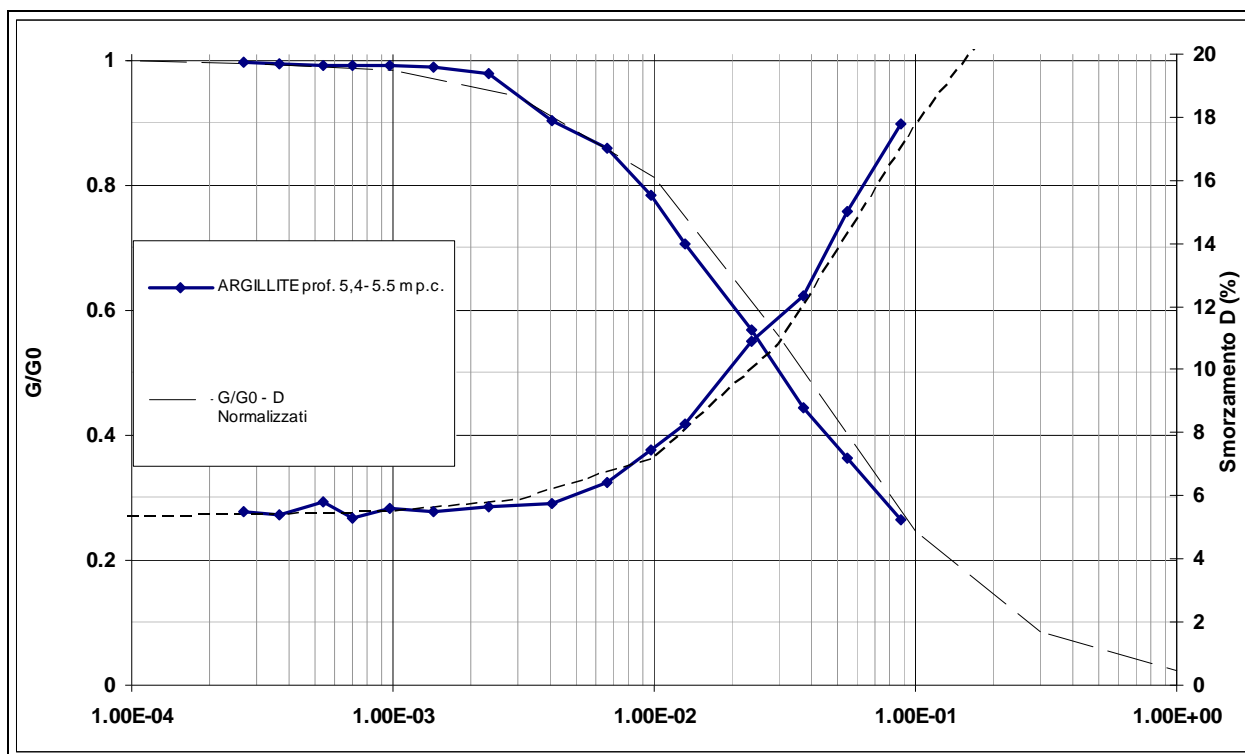


Normalizzazione delle curve di decadimento con la metodologia di Yokota, (Yokota et al. 1981).

Analoghe prove dinamiche sono state effettuate nell'area sede dell'Istituto Scolastico Fantini per conto di Dr T. Veronese su commissione di Città Metropolitana di Bologna e dalla stessa messi a disposizione, ed esposti negli allegati certificati redatti da ISMGEO, Seriate, BG, di seguito schematicamente riassunti.

Campione: argillite, prof. 5,4-5,5 m p.c.

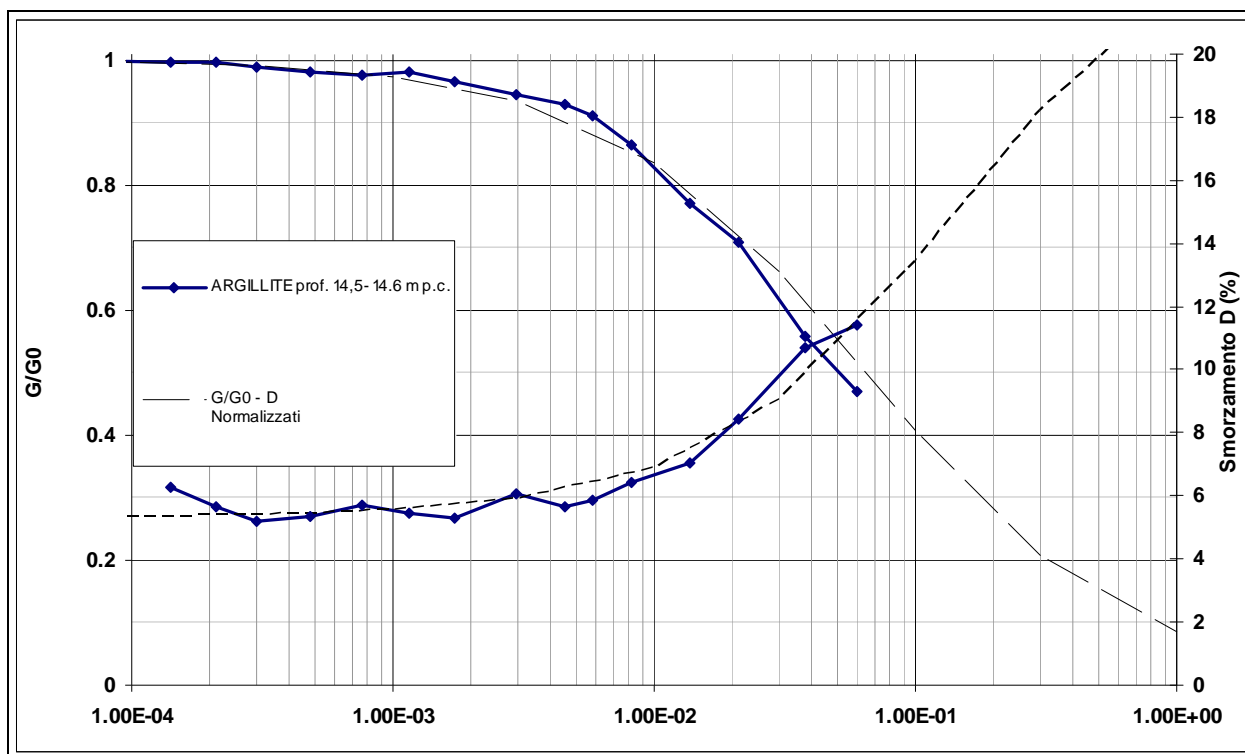
Test	Modulo di taglio G (MPa)	G/G0	Deformazione di taglio max (%)	Rapporto di smorz. D (%)
1	68.86	1.000	0.00013	
2	68.63	0.997	0.00027	5.49
3	68.47	0.994	0.00037	5.40
4	68.40	0.993	0.00054	5.82
5	68.38	0.993	0.00070	5.31
6	68.31	0.992	0.00097	5.60
7	68.06	0.988	0.00142	5.50
8	67.51	0.980	0.00231	5.66
9	62.15	0.903	0.00406	5.77
10	59.19	0.860	0.00659	6.45
11	53.99	0.784	0.00977	7.44
12	48.66	0.707	0.01320	8.30
13	39.10	0.568	0.02348	10.89
14	30.64	0.445	0.03745	12.36
15	25.07	0.364	0.05493	15.02
16	18.28	0.265	0.08789	17.77



Normalizzazione delle curve di decadimento con la metodologia di Yokota, (Yokota et al. 1981).

Campione: argillite, prof. 14,5-14,6 m p.c.

Test	Modulo di taglio G (MPa)	G/G0	Deformazione di taglio max (%)	Rapporto di smorz. D (%)
1	137.08	1.000	0.00007	
2	136.85	0.998	0.00014	6.26
3	136.55	0.996	0.00021	5.64
4	135.36	0.988	0.00030	5.20
5	134.51	0.981	0.00048	5.36
6	133.89	0.977	0.00076	5.72
7	134.51	0.981	0.00116	5.44
8	132.56	0.967	0.00173	5.31
9	129.36	0.944	0.00298	6.06
10	127.47	0.930	0.00454	5.64
11	124.97	0.912	0.00579	5.84
12	118.43	0.864	0.00814	6.45
13	105.65	0.771	0.01369	7.05
14	97.10	0.708	0.02110	8.45
15	76.35	0.557	0.03789	10.68
16	64.36	0.469	0.05993	11.41
17	59.27	0.432	0.08133	13.93
18	50.08	0.365	0.11551	14.59



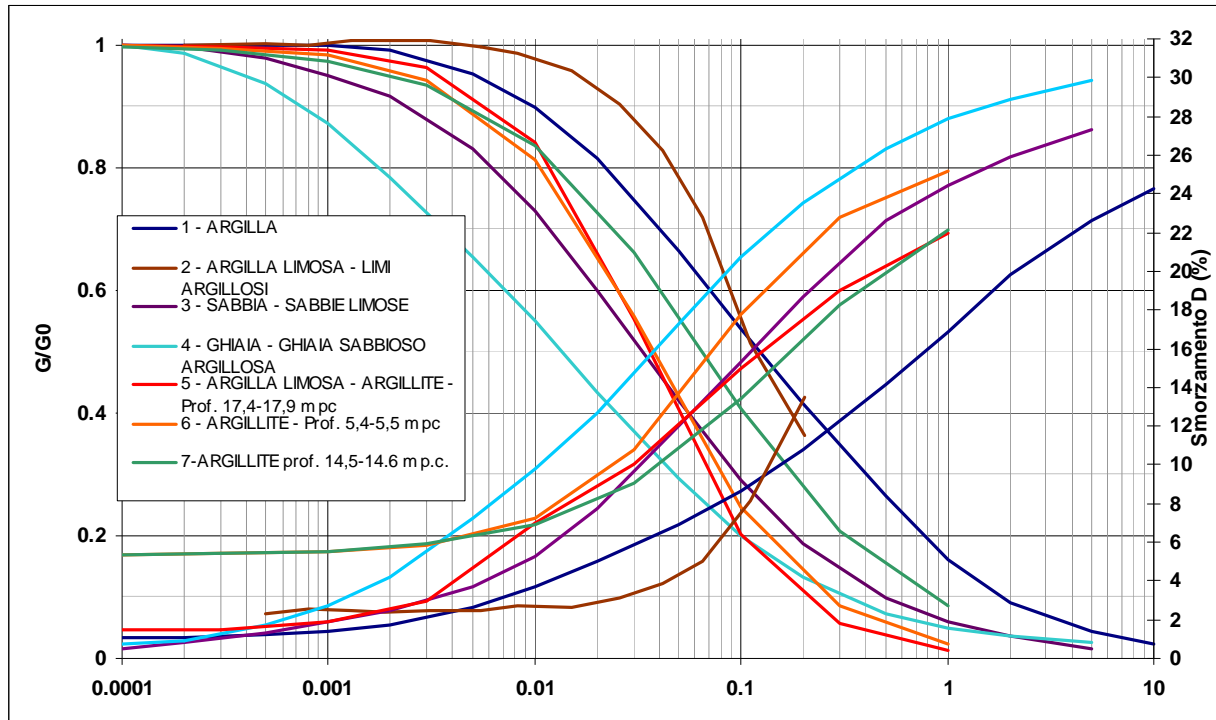
Normalizzazione delle curve di decadimento con la metodologia di Yokota, (Yokota et al. 1981).

9.3. 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 l'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 (prof. 17,4-17,9 m p.c.): *Microzonazione Sismica del comune di Vergato (presente studio Centrogeo, 2021)*
- Terreno tipo 6 - Litotipi di substrato prevalentemente argillitici (prof 5,4-5,5 m): *Indagine geologico tecnica per Istituto Fantini (Dr. Thomas Veronese, 2021)*
- Terreno tipo 7 - Litotipi di substrato prevalentemente argillitici (prof. 14,5-14,6 m p.c.): *Indagine geologico tecnica per Istituto Fantini (Dr. Thomas Veronese, 2021).*

Dette curve opportunamente normalizzate 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, γ (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*).

9.4. OSPEDALE CIVILE DI VERGATO–CASA DELLA SALUTE

9.4.1. Caratterizzazione geomorfologico – stratigrafica

L'area sede dell'Ospedale Civile e Casa Della Salute appartiene alla fascia di fondovalle in destra del T. Vergatello costituita dai depositi alluvionali terrazzati a ripiani di 1° ordine rispetto all'alveo attuale AES8a (IV – VI sec d.C.) che con spessore moderatamente variabile lateralmente rivestono il substrato argillitico delle Argille a Palombini (APAA) che in direzione settentrionale sono sub affioranti nella parte orientale meridionale del sito.

Nel sottosuolo dell'area in oggetto sono assenti faglie e/o orizzonti di roccia intensamente fratturata e le argilliti, in rapporto ai log delle prospezioni Re.Mi./MASW eseguite in prossimità dei sopracitati edifici, sono contraddistinte da medio elevato grado di consistenza.

Dall'analisi comparata tra prospezioni geofisiche: Re.Mi./MASW ed HVSR e le indagini geognostiche precedentemente effettuate da AA.VV. sia nel sito in esame in zone circostanti lo stesso, prove penetrometriche dinamiche DPSH, sondaggi meccanici, si evince che lo spessore e le caratteristiche litologiche dei depositi alluvionali sono caratterizzate da modesta variazione laterale in spessore.

Detti depositi nei primi 1/1,5 m del sottosuolo sono costituiti da materiali prevalentemente limoso argillosi – limosi, a zone di riporto, ai quali seguono sino a -3/-5 m pc argille sabbiose con lenti sabbioso argillose con spessori variabili tra 2 e 3 m nella parte settentrionale che aumentano a 5/6 m in direzione dove localmente giungono a -7/1-0 m pc successivamente si riscontra il substrato argillitico (APAA).

Le ampiezze dei picchi della frequenza principale corrispondono ad $A=2,8$ zona ovest ed $A=2$ zona est

9.4.2. Caratteristiche geotecniche di insieme

Le verticali DPSH e CPT. Rm evidenziano una variabilità di spessore in senso orizzontale dei valori di resistenza al taglio dei terreni che costituiscono i primi 1/2,5 m del sottosuolo contraddistinti da $N_{20}=3/5$ ai quali corrispondono valori di resistenza alla punta al penetrometro statico $q_c=10\div15/18$ kgf/cm²; le alternanze argilloso sabbiose ghiaiose che seguono sino a -5 m pc evidenziano $N_{10} = 5/8$ ai quali corrispondono resistenze alla punta dello statico $q_c = 35/40\div50$ kgf/cm²; successivamente $N_{20}>50$ e $q_c>90/100$ ad eccezione di CPT 7 e DPSH 8 nelle quali $q_c=60/80$ e $N_{20}=5/10$ da -5m a -7/-10 m pc.

Superati i primi 3/4÷5 m pc, -7/-10 m pc in CPT 7 e DPSH 8, si riscontra il substrato marnoso siltoso sabbioso praticamente incompressibile.

Successione litotecnico sismica

L'analisi comparata tra le indagini geognostiche (DPSH–CPT.Rm–Sondaggi meccanici) e geofisiche (Re.Mi./MASW) evidenzia che nel sottosuolo dell'area sede dell' Ospedale e Casa della Salute i depositi di copertura: alluvionali e di versante, presenti nella fascia settentrionale del sito, sono contraddistinti da $V_s=160/180$ m/sec sino a -2,5 m pc e

proseguono con $V_s=350/400$ m/sec. sino a -5/-8 m; successivamente è presente il substrato argillitico contraddistinto da $V_s=570/680$ m/sec. sino a -22 m pc e successivamente $V_s=720/800$ m sec.

Nella parte meridionale si riscontra il substrato argillitico sub affiorante (APAA) caratterizzato da $V_s=800$ m/sec.

9.4.3. 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 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 R13						
Spessore (m)	Litotipo n°	V_s (m/sec)	Gmax (MPa)	Peso di Volume (KN/mc)	Fattore di smorzamento iniziale (%)	Localizzazione e tipo del terremoto di input
2,5	1	160	48	18.3	-	-
5,5	4	410	335	19.6	-	-
6	7	680	1028	21.5	1,1	-
	-	840	1683	23	0,3	Outcrop

Verticale R203						
Spessore (m)	Litotipo n°	V_s (m/sec)	Gmax (MPa)	Peso di Volume (KN/mc)	Fattore di smorzamento iniziale (%)	Localizzazione e tipo del terremoto di input
2	-	800	1501	22	0,5	-
	-	880	1879	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
R13	0.249	1.55	1.18	1.03	1.26	1.05	1.02	435	205	123
R203	0.161	1	1	1	1	1	1	345	196	120

In funzione dell'assetto sub orizzontale della base dell'unità costituita dai depositi alluvionali/di versante, del loro spessore e in pratica trascurabile variabilità laterale, ai quali segue il substrato roccioso (APAA) con caratteristiche a moderata differenziazione orizzontale dei valori di V_s , le analisi della risposta sismica locale sono state sviluppate con codice 1D.

I valori dei fattori di amplificazione corrispondono ad $FaPGA=1,6$ nelle fasce di deposito ed a $FaPGA=1,0$ nel settore meridionale, al quale appartengono la parte orientale dell'Ospedale e la Casa della Salute, dove è presente il sub strato argillitico. Analogamente i fattori di amplificazione in termini di velocità corrispondono ad $FH=1,2$ (nord)÷1,0 (sud) nell'intervallo $0,1 < T < 0,5$ sec; $FH=1,0$ nell'intervallo $0,5 < T < 1$ sec; ugualmente le amplificazioni in termini di accelerazione sono comprese tra $FA=1,3$ (nord)÷1,0 (sud) per $0,1 < T < 0,5$ sec; $FA=1,1$ (nord)÷1,0 (sud) per $0,4 < T < 0,8$ sec; $FA=1,0$ per $0,7 < T < 1,1$ sec.

I valori di Hsm pericolosità sismica per $H_{sm}=0,1 < T < 0,5$ sec corrispondono a $H_{sm}=435 \text{ cm/sec}^2$ (nord) ÷ 345 cm/sec^2 (sud) attribuibili alla classe di pericolosità sismica moderata per la parte nord, di grado moderato basso per il settore meridionale; le modeste differenze di $H_{sm}=0,4 < T < 0,8$ sec. comprese tra $H_{sm}=196 \div 205 \text{ cm/sec}^2$ attribuiscono tale area alla classe moderata. I parametri di $H_{sm}=0,7 < T < 1,1$ sec. corrispondenti a $H_{sm}=120 \div 123 \text{ cm/sec}^2$ conferiscono al sito una pericolosità moderata.

9.5. ZONA EDIFICIO MUNICIPIO –SCUOLA DELL’INFANZIA VIA CAVOUR

9.5.1. Caratterizzazione geomorfologico – stratigrafico

L’area sede dell’edificio municipale e della scuola dell’infanzia appartiene alla fascia di fondovalle in sinistra del F. Reno prevalentemente costituita dai depositi alluvionali terrazzati AES8a (Post.IV–VI sec d.C.), con spessori moderatamente variabili lateralmente, che rivestono il substrato roccioso argillitico (APAA) affiorante immediatamente ad ovest della S.S. Porrettana.

Nel sottosuolo dell’area in oggetto sono presenti orizzonti di roccia a medio basso grado di fratturazione nei primi 10/20 m dal piano campagna.

Dall’analisi comparata tra prospezioni geofisiche: Re.Mi./MASW – HVSR ed indagini geognostiche DPSH effettuate in prossimità nella stessa unità geomorfologica: AES8a, si evince che lo spessore e le caratteristiche litotecniche dei depositi alluvionali sono moderatamente variabili lateralmente.

9.5.2. Caratteristiche geotecniche di insieme

Le verticali DPSH precedentemente eseguiti in prossimità dei fabbricati in oggetto, evidenziano una moderata variabilità in senso orizzontale dei valori di resistenza alla penetrazione nei primi 4 m del sottosuolo.

Detti terreni sono costituiti da alternanze di orizzonti limoso sabbiosi mediamente consistenti ai quali si alternano strati sabbioso ghiaiosi a medio basso–medio grado di densità relativa, mediamente contraddistinti da $N_{20}=7/12$, ad assetto lentiforme, che tendenzialmente incrementano in percentuale rappresentata in direzione est con l’approssimarsi al F. Reno.

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

Successione litotecnico sismica

Le indagini geofisiche (Re.Mi./MASW) evidenziano una modesta variabilità in spessore dei depositi alluvionali nel sottosuolo dell’area sede del municipio e scuola dell’infanzia, Ospedale e Casa della Salute. Dette coperture nella fascia settentrionale del sito, superato il primo metro del sottosuolo, sono contraddistinte da $V_s=300$ m/sec sino a -2,5 m pc e proseguono con $V_s=400\div 450/500$ m/sec. sino a -10/-22 m; successivamente nella parte settentrionale, scuola dell’infanzia, da -16 m pc è presente il substrato argillitico contraddistinto da $V_s=800$ m/sec; nella parte meridionale, zona municipio, $V_s=470$ m /sec sino a -22 m pc e $V_s=550$ m/sec sino a -32 m pc, successivamente $V_s=780$ m/sec.

9.5.3. 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 R204						
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
2,5	1	300	174	19.0	-	-
3,5	4	500	510	20.0	-	-
4	4	450	408	19.8	-	-
6	7	630	862	21.3	1,4	-
-	-	790	1457	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
1	1	140	36	18.2	-	-
5	4	420	352	19.6	-	-
16	4	470	447	19.9	-	-
10	7	550	632	20.5	1,8	-
-	-	780	1414	23	0,3	Outcrop

Le analisi hanno fornito i seguenti risultati:

Verticale sismica	pga (g)	FPGA	FH0105	FH0510	FA0105	FA0408	FA0711	H _{SM} 0105	H _{SM} 0408	H _{SM} 0711
R204	0.209	1.3	1.13	1.02	1.18	1.04	1.02	408	204	122
R205	0.226	1.4	1.43	1.13	1.44	1.21	1.09	498	237	131

I valori dei fattori di amplificazione corrispondono a FaPGA=1,3 nella parte nord (scuole) FaPGA=1,4 nel settore meridionale (municipio). Analogamente i fattori di amplificazione in termini di velocità nell'intervallo $0,1 < T < 0,5$ sec corrispondono a FH=1,2 (nord) – FH=1,4 (sud); nell'intervallo $0,5 < T < 1$ sec; FH=1,0 (nord) – FH=1,1 (sud). Ugualmente le amplificazioni in termini di accelerazione per $0,1 < T < 0,5$ sec sono comprese tra FA=1,2 (nord) ÷ 1,4 (sud); per $0,4 < T < 0,8$ sec FA =1,0 (nord) ÷ 1,2 (sud); per $0,7 < T < 1,1$ sec FA=1,0 (nord) FA=1,1 (sud).

I valori di pericolosità sismica per Hsm= $0,1 < T < 0,5$ sec corrispondono a Hsm=408 cm/sec² (nord) ÷ 498 cm/sec² (sud) attribuibili alla classe di pericolosità sismica moderata; analogamente le contenute differenze di Hsm= $0,4 < T < 0,8$ sec. comprese tra Hsm=204 (nord) ÷ 237 (sud) cm/sec² attribuiscono tale area alla classe moderata. I parametri di Hsm= $0,7 < T < 1,1$ sec. corrispondenti a Hsm= 122 ÷ 131 cm/sec² conferiscono ugualmente al sito una pericolosità moderata.

9.6. ZONE ISTITUTO ISTRUZIONE LUIGI FANTINI – POLO SPORTIVO VIA DEL TENNIS

9.6.1. Caratterizzazione geotecnica dei siti

Per la determinazione delle sequenze litotecniche, oltre a rilevamenti diretti, sono state effettuate indagini geognostiche articolate in 12 prove penetrometriche dinamiche superpesanti DPSH, un sondaggio a carotaggio continuo, analisi di laboratorio geotecnico su campioni indisturbati.

Le prove penetrometriche sono state eseguite utilizzando un penetrometro a funzionamento oleodinamico, mod. Pagani TG 63-100/200, con massa battente da 63,5 kgf, altezza di caduta costante: $h = 75$ cm e dotando la prima asta di punta conica a sezione trasversale max di 20 cmq ed angolo di apertura alla punta $\beta = 90^\circ$.

Dette indagini hanno raggiunto profondità variabili in funzione della presenza di materiali molto consistenti che hanno impedito la prosecuzione delle prove; queste ultime hanno investigato il sottosuolo sino a -5/-6 ÷ -9/-12 m e localmente -16 m pc (Istituto Luigi Fantini).

I certificati delle prove penetrometriche dinamiche DPSH riportano:

Profondità (m):

- Numero colpi per avanzamento di 20 cm
- Resistenza alla punta dinamica determinata con la relazione degli Olandesi:
 $q_d = \text{kgf/cm}^2$.

Il sondaggio (*Songeo*) è stato eseguito con sonda idraulica ad avanzamento per la rotazione e flottazione CMV MK 420F autocingolata, utilizzando in carotiere semplice $\varnothing 101$ mm e rivestendo il foro con camicie metalliche $\varnothing 127$ mm; il foro di sondaggio è stato attrezzato con piezometro in PVC PN6 diametro 2" con lunghezza di 15 m, finestrato da -9 a -15 m pc, dotato di tappo di fondo, di testa e di pozzetto di protezione in PVC a lati 25x25 cm.

Le analisi di Laboratorio Geotecnico (*Laboratorio Certificato Geo-Test*) sono state effettuate conformemente alle vigenti normative: ASTM – CNR e Raccomandazioni AGI.

Oltre a dette prove sono state esaminate e considerate altre analoghe indagini DPSH precedentemente effettuate nel sito sede del polo scolastico, utilizzando un analogo penetrometro, 2 sondaggi meccanici a carotaggio continuo, analisi di laboratorio geotecnico su due campioni indisturbati eseguiti da *Geo-Probe* nel 2016, un sondaggio meccanico spinto a -30 m pc, una prova Down-Hole in foro di sondaggio effettuati da *Dr. T. Veronese*, messi a disposizione da: Città Metropolitana di Bologna.

9.6.2. CORRELAZIONI CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Per quanto riguarda l'analisi geomeccanica dei dati ottenuti dalle indagini geognostiche effettuate è stata sviluppata la standardizzazione dei dati ottenuti mediante le relazioni di seguito descritte.

Determinazione $N_{1_{60}}$

Per il calcolo del valore normalizzato del numero colpi al fattore di rendimento energetico del 60% si è utilizzata la relazione

$$N_{1_{60}} = N_{spt} \cdot C_e \cdot C_b \cdot C_r \cdot C_s \cdot C_n$$

In cui

N_{spt} : numero colpi della resistenza in sito misurato

C_n : fattore di normalizzazione ad una pressione effettiva di 1 atm;

C_e : fattore funzione dell'energia trasmessa alle aste

C_b : fattore funzione del diametro del foro, per $D \leq 11,5 \text{ cm} = 1$

C_r : fattore funzione della lunghezza delle aste

(0,75-0/4 m; 0,85-4/6 m; 0,95-6/10 m; 1,0>10m)

C_s : fattore funzione del metodo di campionamento,

(per punta conica diametro 5,08 cm: 0,75)

Il valore ottenuto è stato rapportato al peso della massa battente utilizzata mediante la relazione

$$C_f = M_1/M_2$$

nella quale:

C_f = fattore di correzione

M_1 - M_2 = peso delle masse battenti;

nel caso delle strumentazioni utilizzate nella presente indagine $M_1=63,5 \text{ kg}$; $M_2=63,5 \text{ kg}$,

e pertanto:

$$C_f = 1$$

I dati ottenuti dalle prove penetrometriche dinamiche, stati normalizzati in funzione del rendimento energetico di detto strumento mediante la relazione:

$$C_d = \frac{E_p}{0,60}$$

nella quale

C_d = fattore di correzione

E_p = rendimento energetico del penetrometro usato, fornito dalla casa costruttrice: 0,73

e pertanto:

$$C_d = 1,217$$

In funzione dell'energia prodotta dal sistema utilizzato il valore

$$N_\alpha = N_{20} \cdot C_d$$

è stato rapportato a quello N_{SPTeq} mediante la relazione proposta da *La Croix e Horn*:

$$N_{SPTeq} = \left(\frac{M \cdot H}{6,2 \cdot D^2 \cdot e} \right) N_\alpha$$

nella quale

M = peso del maglio, kgf

H = altezza di caduta, cm

D^2 = diametro della punta, cm

e = avanzamento, cm

tale parametro è stato ricondotto al valore

$$N_{160}$$

mediante la relazione precedentemente descritta.

Detto valore è stato normalizzato in funzione della pressione litostatica efficace mediante la correlazione:

$$N_{1(60)} = C_N N_{160}$$

nella quale C_N (Liao e Whitman; 1986) corrisponde a:

$$C_N = \sqrt{\frac{98,1}{\sigma_N'}}$$

Per l'interpretazione dei parametri si è inoltre determinato il valore della resistenza alla punta equivalente al penetrometro statico $q_{c_{eq}}$ in riferimento alla relazione di *Kulhawy e Mayane* (1990) ed a comparazioni tra prove DP e CPT effettuate dallo scrivente in siti attigui con equivalenti caratteristiche granulometriche e di saturazione.

I dati ottenuti dalle correlazioni sopra esposte sono stati elaborati mediante analisi statistica determinando i valori caratteristici per le unità di strato considerabili "omogenee" riscontrate nelle verticali delle indagini eseguite.

In funzione dell'analisi comparta tra i parametri geotecnici ottenuti dalle analisi di laboratorio geotecnico e le correlazioni per la determinazione degli stessi mediante le prove DPSH e CPT, sono stati stimati i valori dell'angolo di attrito interno ϕ' utilizzando la relazione di *Malcev* per quanto riguarda le verticali DPSH e di *Righi e Cacquot* relativamente ai valori di $q_{c_{eq}}$, l'angolo di attrito interno di stato critico ϕ_c in funzione della relazione di *Horwath*, la coesione in termini di tensioni totali c_u dalle correlazioni di *Terzaghi - Peck* e del *MIT*, la coesione in termini di tensione efficaci c' mediante la relazione di *Merse*.

9.7. ISTITUTO DI ISTRUZIONE SUPERIORE SCUOLA LUIGI FANTINI

9.7.1. Caratterizzazione geomorfologico tecnica

Il versante sul quale si sviluppa il corpo di frana è costituito dalla litozona argillitica delle Argille a Palombini (APAA) ed è contraddistinto da pendenze di 14°/15° nella parte a monte di via Bologna / via A. Moro e di 11°/12° a valle delle stesse.

L'ammasso di frana, costituito da un accumulo per colata, presenta inclinazioni medie di 12° a monte delle sopraccitate strade, ad eccezione di localizzati tratti di versante rimodellati da azioni antropiche, e di 11° a valle delle medesime.

In quest'ultimo settore le geometrie del pendio sono state intensamente modificate per la realizzazione degli edifici del complesso scolastico Luigi Fantini.

Il corpo di frana è costituito da un accumulo quiescente che si è parzialmente riattivato/attivato nella fascia settentrionale per una lunghezza di 400 m e larghezza di 40 m.

Detto processo è censito nella *Carta del Disseto della Regione Emilia Romagna ID GISID 23710* per la parte quiescente, della quale non è riportata la datazione, mentre la porzione attiva è classificata ID IFFI 372515900, di quest'ultima è riportato l'aggiornamento al 17/10/2011.

Dalle informazioni raccolte presso l'U.T. Comunale e di Città Metropolitana di Bologna, relativi alle condizioni del versante precedentemente alla realizzazione degli interventi di rimodellazione del pendio per la costruzione degli edifici scolastici, si evince che con tutta probabilità questi ultimi hanno contribuito/generato il processo di riattivazione/attivazione della fascia settentrionale dell'accumulo.

Le misurazioni delle deformazioni dell'ammasso mediante tubo inclinometrico, dati messi a disposizione da Città Metropolitana di Bologna, ad esclusione dei primi 2 m del sottosuolo, evidenziano spostamenti di 16 mm a -3 m pc dal 06/2003 al 10/2010; alle profondità sottostanti da -4 a -6 ÷ -8 m pc gli spostamenti massimi registrati corrispondono a 10/7 mm con deformazioni molto basse 4/8 mm dal 2006 al 2010 (2/4 mm anno). Le misurazioni effettuate nel periodo 2013/2016 hanno fornito spostamenti di 2 mm (0,07 mm/anno) nei primi 6 m dal piano campagna. Detti valori sono contenuti nel limite di sensibilità strutturale.

Il vettore degli spostamenti presenta azimuth di 70°/80°.

Gli spostamenti che hanno coinvolto i primi 1,5/2 m dal piano campagna corrispondono a 50 mm dal 2003 al 2010 ed a 26 mm dal 2013 al 2016.

Tali valori evidenziano che detta parte di versante è interessata da deformazioni correlate ai processi di saturazione/rammollimento, appesantimento, favoriti dalle infiltrazioni che conseguono all'essiccazione nei periodi a scarsa piovosità, che interessano principalmente i primi 1/3 m del sottosuolo ed inducono stati tensionali deformativi che giungono a -5/-6 m pc.

9.7.2. Indagini di caratterizzazione

il modello geometrico e geotecnico dei materiali che costituiscono l'ammasso di frana è stato determinato in base alle seguenti indagini:

- 6 profili in tomografia sismica 2D con lunghezza cadauno di 100 m, due dei quali con metodo coniugato;
- 6 verticali con metodo integrato Re.Mi./MASW;
- 6 verticali di acquisizioni di microtremori a stazione singola HVSR;
- 5 prove penetrometriche dinamiche superpesanti DPSH;

Oltre a ciò si è fatto riferimento ad indagini geognostiche che precedentemente eseguite da AA.VV. su commissione di Città Metropolitana di Bologna, Provincia di Bologna, e dalla stessa messi a disposizione.

Tali documentazioni sono come di seguito elencate:

- 6 prove penetrometriche dinamiche DPSH (*GeoProbe, 2016*);
- 2 sondaggi meccanici a carotaggio continuo sino a -10/-18 m pc (*GeoProbe, 2016*);
- 2 analisi di laboratorio geotecnico su campioni indisturbati (*GeoProbe-Sinergea, 2016*);
- 1 sondaggio meccanico sino a -30 m pc, i primi 20 m dei quali a carotaggio continuo e i successivi da -20 a -30 m pc a distruzione (*T. Veronese; 2020*);
- 1 prova sismica in foro di sondaggio con metodo Down Hole sino a -30 m dal piano campagna (*T. Veronese – Envia; 2020*);
- 2 analisi di laboratorio geotecnico di colonna risonante (*T. Veronese – ISMGEO; 2020*)

In funzione dell'analisi comparata tra i profili in tomografia sismica 2D, verticali Re.Mi./MASW verticali HVSR, prove penetrometriche DPSH, sondaggi meccanici, analisi di laboratorio geotecnico, verticale DH, è stato determinato il modello geometrico dell'insieme corpo di frana/substrato, visualizzato nelle allegate schede verifiche di stabilità.

In base alle relazioni esposte in premessa è stata definita la modellazione geotecnica delle unità litologiche che caratterizzano il tratto di pendio esaminato.

In funzione di quanto esposto la successione geotecnica è stata schematizzata come esposto nella seguente tabella:

MODELLO GEOTECNICO – POLO SCOLASTICO**VERSANTE OVEST-EST**

Unità geotecnica	Litotipo	Profondità da pc m Settore monte: ovest via Bologna DPSH 208 – 209	Profondità da pc m Settore valle: est via Bologna/via A. Moro DPSH 210 – 211 – 212	Descrizione litotecnica	Angolo di attrito ϕ°	Coesione efficace c' (KN/mq)	Angolo d'attrito interno residuo, ϕ° res	Coesione efficace residua c' (KN/mq) res	Coesione non drenata Cu KN/mq	Peso di volume γ_n (KN/cm ³)
1	1	Assente	Da 0,0 a -1,0	Limi argillosi – argille limose	19	4			40	18
2	2	Da 0,0 a -1,0	Da 0,0/-1,0 a -1,5/-2,5	Limi argillosi e limi	16	5			30	17,5
3	3	Da -0,0/-1,0 a -2,0/-2,5	Da -1,5/-2,5 a -4,0/-6,0	Argille limose – limi argillosi	19	7			50	18,5
4	4	Da -2,0/-2,5 a -2,5/-3,0	Da -4,0/-6,0 a -6,0/-7,0	Limi argillosi - argille limose (argilliti a monte) Via A.Moro	16	7	*14,4	*4,7	70	18
5	5	Assente	Da -5,0/-6,0 a -7,0/-8,0 (lente)	Argille limose – argilliti a monte scuole	18	8			85	18,7
6	6	Da -2,5/-3,0 a -5,0/-6,0	Da -6,0/-7,0 a -9,0/-12,0	Argille limose (argilliti via A.Moro)	20	10			120	19
7	7	Da -5,0/-6,0 a -6,0/-7,0	Da -9,0/- 12,0 a -11,0/- 12,0/-14,0	Argille limose – argilliti a monte via A.Moro	22	11			95	19,5
8	8	>-6,0/-7,0	> -11,0/- 14,0	Argille limose Argilliti a monte Via A.Moro	24	15			140	20

* Dati analisi laboratorio Sinergia - GeoProbe

9.7.1. Pericolosità di liquefazione

Le analisi di laboratorio geotecnico precedentemente eseguite da *GeoProbe – Sinergia*, 12/2016, su due campioni indisturbati prelevati a profondità di -3,0 - 3,5 m pc S1 e -4,9/-5,4 m pc S2 hanno evidenziato i parametri di seguito esposti:

Campione	Profondità m pc	WL	WP	IP
S1.C1	-3,0/-3,5	56	23	33
S2.C1	-4,9/-5,4	46	22	24

In base alla frazione fine: 89% ed al valore dell'indice di plasticità $IP > 24$ i terreni che costituiscono il versante esaminato sono caratterizzati da pericolosità di liquefazione nulla/assente.

9.7.2. Parametrizzazione sismica

La caratterizzazione litostratigrafico/sismica, di seguito è 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 R214						
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
1	1	110	22	18.1	-	-
3,5	2	220	92	18.6	-	-
3,5	6	440	389	19.7	-	-
7	7	590	742	20.9	1,6	-
-	-	660	959	21.6	0,3	Outcrop

Verticale R216						
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
6	1	200	75	18.5	-	-
3	2	380	286	19.4	-	-
3	6	600	771	21.0	1,5	-
-	-	670	993	21.7	0,3	Outcrop

Verticale DH201						
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
2	1	130	31	18.2	-	-
1	1	185	64	18.4	-	-
1	2	217	89	18.6	-	-
1	2	237	107	18.7	-	-
1	2	223	94	18.6	-	-
1	6	467	441	19.8	-	-
2	6	480	467	19.9	-	-
3	6	490	488	20.0	-	-
1	6	458	423	19.8	-	-
6	7	680	1028	21.8	1,1	-
-	-	750	1290	22.5	0,3	Outcrop

Le analisi hanno fornito i seguenti risultati:

Verticale sismica	pga (g)	FPGA	FH0105	FH0510	FA0105	FA0408	FA0711	H _{SM} 0105	H _{SM} 0408	H _{SM} 0711
R214	0.253	1.57	1.21	1.03	1.3	1.05	1.03	447	207	123
R216	0.278	1.73	1.38	1.06	1.53	1.1	1.04	527	215	125
DH201	0.302	1.87	1.4	1.06	1.57	1.1	1.04	542	216	125

La parte centro settentrionale del corpo di frana è contraddistinta da FaPGA=1,7 mentre le porzioni meridionali e frontali orientali da FaPGA=1,9; i fattori di amplificazione in termini di velocità per nell'intervallo 0,1>T>0,5 sec corrispondono a FH=1,4 e quelli nell'intervallo 0,5>T>1,0 sec equivalgono a FH=1,1.

Simile distribuzione dei fattori di amplificazione a quelli di FH evidenziano i fattori di amplificazione in termini di accelerazione; questi ultimi nell'intervallo 0,1>T>0,5 sec sono

contraddistinti da $FA=1,5$ nella parte nord e da $FA=1,6$ nelle porzioni meridionali e frontali occidentali; nell'intervallo $0,4 < T < 0,8$ sec $FA=1,1$; nell'intervallo $0,7 < T < 1,1$ sec $FA = 1,1$

I valori di $Hsm=0,1 < T < 0,5$ sec. compresi tra $Hsm=390 \div 542$ cm/sec^2 attribuiscono la zona a pericolosità moderata; per $Hsm=0,4 < T < 0,8$ sec. variabili tra $Hsm=204 \div 216$ cm/sec^2 conferiscono ugualmente al sito una pericolosità moderata. Analogamente nella classe $Hsm=0,7 < T < 1,1$ sec. i valori di $Hsm=121 \div 125$ cm/sec^2 attribuiscono la zona a pericolosità moderata.

9.7.3. Verifiche di stabilità

Le verifiche di stabilità, effettuate con il metodo di *Sarma*, in funzione delle attuali geometrie del versante, sono state eseguite secondo le linee di massima pendenza, determinate in base ai dati ottenuti dal rilevamento diretto con sistema GPS (strumento *Hi Target V30*), integrati da livellazioni dal mezzo con autolivello *GAL 24*; detti profili sono stati rilevati nel settore esteso ovest est dalla zona di corona di frana sino ai limiti est dell'area sede degli edifici scolastici corrispondente a via Palazzina.

Le superfici di potenziale deformazione/rottura, sono state individuate in base alle pendenze delle unità di strato definite in funzione delle correlazioni tra le indagini geognostiche e prospezioni geofisiche raffrontate alle variazioni di inclinazione del profilo topografico. Tali valutazioni sono state implementate mediante l'analisi delle superfici con fattore di sicurezza minimo cinematicamente possibile, che non violino il principio di Mohr – Coulomb, in funzione dei parametri ϕ' e c' , esaminando sia condizioni di superficie imposta: insieme complessivo della frana, che involuppi sub ellittici di superfici di deformazione/rottura potenziali, sia di insieme che locali, corrispondenti a 30 per ogni condizione simulata.

Tali superfici si sviluppano con presenza di fasce di tensioni crack nel tratto di pendio a monte del muro di sostegno del piazzale parcheggio ovest di via A. Moro.

Le valutazioni delle condizioni di stabilità sono state sviluppate considerando l'assenza di sovraccarichi nel settore classificato frana attiva; per quanto riguarda il corpo di frana quiescente in considerazione degli spessori di terreni escavati rapportati al peso delle tipologie dei fabbricati che praticamente si compensano, è stato considerato un profilo topografico continuo assimilato alle condizioni topografiche preesistenti.

Le verifiche di stabilità sono state eseguite considerando la saturazione idrica a profondità sottostanti -4/-5 m pc, come rilevato nei fori delle indagini geognostiche sia direttamente che precedentemente effettuate; nelle condizioni post sisma è stata inoltre simulata la condizione con saturazione dei terreni sino a -1,0 m pc.

In dette valutazioni sono stati utilizzati i più gravosi coefficienti di incremento alle forze destabilizzanti in funzione dei valori di accelerazione orizzontale ottenuti dalle analisi di risposta sismica locale sviluppate con Codice di Calcolo *Strata*.

Nelle verifiche effettuate sono stati adottati i criteri previsti dal DM 17/01/2018 e pertanto nelle simulazioni in presenza di sollecitazione sismica si è utilizzato l'Approccio 1, Combinazione 2:

$$A2 + M2 + R2$$

nella quale si è assunto $R2 = 1,1$.

Tale coefficiente è stato assunto anche per le condizioni post sismiche.

I valori di accelerazione sismica locale, secondo i dettami del D.M. 14/01/2008, sono stati determinati applicando il coefficiente

$$\beta = 0,24$$

ottenendo i valori σ_h e σ_v di seguito esposti.

Oltre a ciò per quanto riguarda la valutazione delle condizioni di stabilità in assenza di sisma, si è utilizzato l'approccio 1 combinazione 1:

$$A1 + M1 + R1$$

nella quale:

$$R1 = 1,3$$

Le valutazioni, effettuate adottando i parametri determinati in base ai modelli di analisi geomeccanica precedentemente esposti, sono state eseguite in condizioni di assenza di sollecitazione sismica ed in presenza della stessa in tensioni efficaci applicando i coefficienti parziali per i terreni della Tab.6.2.II del DM 17/01/2018, per le condizioni sismiche e post sismiche.

L'azione sismica è stata determinata in funzione dei fattori di incremento delle forze destabilizzanti ottenuti dall'analisi risposta sismica locale.

Il coefficiente per gli effetti della topografia definito in base agli Abachi ICMS per versanti con pendenze minori di 15° corrisponde a:

$$St = 1,0$$

Il coefficiente di riduzione dell'azione sismica: β_s (tab. 7.11.1 NTC 2018) per il tratto di pendio in esame, ottenuto dall'analisi di risposta sismica locale equivale a:

- parte corpo frana quiescente:

$$K_h = 0,072 \text{ g}$$

$$K_v = 0,036 \text{ g}$$

- parte corpo frana attivo:

$$K_h = 0,072 \div 0,067 \text{ g}$$

$$K_v = 0,036 \div 0,033 \text{ g}$$

Le superfici di potenziale deformazione rottura delle condizioni sopra descritte, sono visualizzate negli allegati certificati *Verifica di stabilità*, che riportano geometrie del modello litotecnico e parametri geotecnica delle unità.

I valori dei coefficienti di sicurezza ottenuti dalle analisi di stabilità delle superfici di potenziale deformazione rottura esaminate profilo 1: Sup. 1 insieme imposta – Tan 5 locale; profilo: 2 Sup1 insieme imposta – Tan 5 locale, che hanno evidenziato superfici con coefficienti di sicurezza di versante minimi sono riassunti nelle tabelle di seguito esposte.

- combinazione A1+M1+R1
- Coefficienti interi – saturazione idrica -5 m pc

Tratto di versante	Superficie	Condizione	Assenza sisma fattore scurezza	Presenza sisma fattore sicurezza
Profilo 1	Sup1	Drenate	2,28	1,62
	Tan5	Drenate	1,70	1,37
Profilo 2	Sup1	Drenate	2,12	1,48
	Tan5	Drenate	2,28	1,59

- combinazione A2+M2+R2 – Coefficienti parziali – saturazione idrica -5 m pc
- Condizioni cosismiche

Tratto di versante	Superficie	Condizione	Presenza sisma fattore sicurezza
Profilo 1	Sup1	Drenate	1,29
	Tan5	Drenate	1,09
Profilo 2	Sup1	Drenate	1,18
	Tan5	Drenate	1,26

- Condizioni post sisma

Tratto di versante	Superficie	Condizione	Assenza sisma H ₂ O -5 m pc fattore sicurezza	Assenza sisma H ₂ O -1 m pc fattore sicurezza
Profilo 1	Sup1	Drenate	1,81	1,05
	Tan5	Drenate	1,36	0,85
Profilo 2	Sup1	Drenate	1,69	0,96
	Tan5	Drenate	1,82	1,07

Le verifiche sviluppate secondo l'approccio A1+M1+R1 per il quale il coefficiente di sicurezza minimo previsto dal DM 2018 corrisponde ad $f=1,3$, evidenziano condizioni stabili in sicurezza sia in assenza che presenza di sisma e con saturazione idrica dei terreni a profondità sottostanti -4/-5 m pc.

Le verifiche effettuate secondo l'approccio A2+M2+R2 per il quale il coefficiente minimo previsto dal DM 2018 corrisponde ad 1, nelle presenti analisi assunto 1,1, applicando i coefficienti parziali della Tab. 6.2.II – DM 17/01/201 ai parametri utilizzati, evidenziano condizioni stabili in sicurezza con presenza di sisma (cosismiche).

In condizioni post sisma con falda idrica a -5,0 m pc le condizioni sono stabili in sicurezza; nella simulazione di saturazione del sottosuolo sino a -1,0 m pc sono stabili in sicurezza per sup1 profilo 1 e Tan 5 profilo 2, sono non stabili Tan 5 profilo 1 e sup 1 profilo 2.

9.7.4. Analisi condizioni di stabilità

Le superfici di potenziale deformazione/rottura ottenute dalle analisi sviluppate evidenziano che l'attuale assetto geometrico del versante con assenza di falda idrica sotterranea/saturazione nei primi 5/6 m del sottosuolo a valle della barriera di pozzi di drenaggio in essere e con presenza di saturazione sino a -1,5/-2,0 m pc a distanza di 8 m a monte di detta barriera, è in condizioni stabili in sicurezza sia in assenza di sisma che in presenza di sisma.

Applicando i coefficienti riduttivi in condizioni cosismiche i tratti di versante esaminati sono stabili in sicurezza; analoghe situazioni stabili in sicurezza sussistono anche nelle condizioni post sisma per 2 delle superfici esaminate e non stabili per le altre 2.

In considerazione dei processi di deformazione dei primi 2/3 m pc correlati alla saturazione per precipitazioni atmosferiche, che inducono stati tensionali nel sottosuolo che possono coinvolgere i terreni sino a -4/-6 m pc, è opportuno sia realizzato un idoneo sistema di drenaggio nel tratto di pendio a monte della barriera pozzi esistente mediante trincee drenanti che garantiscano l'assenza di saturazione/battente idrico nei primi 3/4 m pc.

9.7.5. Analisi dinamica semplificata col modello di Newmark

Calcolo degli spostamenti

La stima degli spostamenti del pendio soggetto a condizioni sismiche è stata sviluppata in funzione del modello di *Newmark* mediante la relazione (C. Madiai; 2009) di seguito esposta:

$$S = s_0 \frac{(\cos \phi - \alpha)}{\cos \phi}$$

nella quale $s = \text{cm}$

con S_0 corrispondente a:

$$\text{Log}S_0 = -0,217 + \log \left[\left(1 - \frac{a_c}{a_{\max}} \right)^{2,26} \left(\frac{a_c}{a_{\max}} \right)^{-0,857} \right]$$

Nella quale:

a_{\max} = accelerazione massima del moto alla base del pendio, g

$a_c = Kc \cdot g$ accelerazione critica determinata con metodo pseudostatico all'equilibrio limite con $f_s = 1$.

In funzione della variabilità spaziale all'interno del versante il calcolo degli spostamenti è stato effettuato in base agli accelerogrammi delle analisi della risposta sismica locale che hanno discretizzato settori del pendio in microzone a diversificata intensità dell'azione sismica (Tav 3.2, 3.3, 3.4).

In base a quanto sopra esposto, per le superfici che hanno evidenziato i coefficienti di sicurezza minori, sono stati ottenuti gli spostamenti esposti nella seguente tabella:

Profilo	Settore di versante	Superficie	Spostamento S = cm
1	Tratto a valle di via A.Moro (FQ)	Sup1	1,27
		Tan5	3,38
	Tratto intermedio tra edifici scolastici e valle nicchia di frana (FA)	Sup1	0,91
		Tan5	2,10
	Tratto nicchia frana (FA)	Sup1	0,70
		Tan5	1,90
2	Tratto a valle di via A.Moro (FQ)	Sup1	2,91
		Tan5	1,48

In riferimento alla relazione tra spostamenti osservati e danno strutturale (*Legg et Alii; 1982*) le entità degli spostamenti ottenuti rientrano nella classe di danno debole.

POLO SPORTIVO VIA DEL TENNIS – VIA LISERNA

9.7.6. Caratterizzazione geomorfologicotecnica

Il versante sul quale si sviluppa il corpo di frana è prevalentemente costituito dalle argilliti delle Argille Varicolori di Grizzana Morandi (AVT) che sono sostituite dalle Argille a Palombini (APA) nella zona di nicchia (Cà Barilli) e nel settore a sud est di via del calcio.

Il pendio è contraddistinto da pendenze di 14° nella parte a monte di via della Civetta e di 12° a valle della stessa.

Il corpo di frana, costituito da un accumulo per colata che presenta inclinazioni di 12°/14° a monte di via delle Civetta e pendenza media di 12° a valle della medesima; in quest'ultimo settore le geometrie del pendio sono state intensamente rimodellate per la realizzazione degli impianti sportivi che hanno conferito al versante un assetto geometrico a superfici sub orizzontali – gradonate sino alla S.S. 64 Porrettana.

Il copro di frana è costituito da un accumulo quiescente che si sviluppa per una lunghezza di 750 m e larghezza di variabile di tra 150 e 250 m con massimi nella zona di fronte frana.

Detto processo è censito nella *Carta del Dissesto della Regione Emilia Romagna* ID GISID 90434 per il quale l'archivio storico delle frane RER documenta un movimento avvenuto nel 01/1877 “nei pressi di Cà Barilli che ha distrutto il piccolo Casale Covacchio, senza causare vittime”; le dimensioni del dissesto si svilupparono per una lunghezza di 300 m e larghezza di 70 m.

9.7.7. Indagini di caratterizzazione

Il modello geometrico e geotecnico dei materiali che costituiscono l'ammasso di frana è stato determinato in base alle seguenti indagini:

- 8 profili in tomografia sismica, 2D con lunghezza cadauno di 100 m;
- 9 verticali con metodo integrato Re.Mi./MASW;
- 12 verticali di acquisizione di microtremori a stazione singola HVSR;
- 7 prove penetrometriche dinamiche superpesanti DPSH;
- Un sondaggio meccanico a carotaggio continuo (*Songe*) sino a -23 m pc, attrezzato con piezometro da 2” finestrato da -9 a -15 m pc;
- Esecuzione di 3 prove SPT con punta standard Raimond;
- Prelievo di 4 campioni indisturbati con campionatore Shelby.
- Analisi di laboratorio geotecnico (*GeoTest* - laboratorio certificato);
- 3 analisi granulometriche per setacciatura e sedimentazione;
- 7 limiti di Atterbergh;
- 4 prove di taglio diretto consolidato drenato: CD;
- 2 prove di taglio diretto con determinazione dei parametri residui;

- 2 prove di compressione triassiale non consolidata non drenata: TRX.UU;
- 2 prove di compressione in espansione laterale libera ELL.

I parametri ottenuti dalle analisi di laboratorio geotecnico, riportati negli allegati certificati, sono schematicamente esposti nel seguente quadro riassuntivo prove geotecniche di laboratorio:

In funzione dell'analisi comparata tra i profili in tomografia sismica 2D, verticali Re.Mi/MASW, verticali HVSR, prove penetrometriche dinamiche DPSH, sondaggio meccanico, analisi di Laboratorio Geotecnico, è stato determinato il modello geotecnico dell'insieme corpo di frana/substrato, visualizzato nelle allegate schede verifiche di stabilità; in base alle relazioni esposte in premessa è stata delimitata la modellazione geotecnica delle unità litotecniche che caratterizzano il tratto di pendio esaminato.

In funzione di quanto esposto la successione geotecnica è stata schematizzata come esposto nella seguente tabella:

MODELLO GEOTECNICO POLO SPORTIVO
VERSANTE NORDOVEST – SUDEST

Unità geotecnica	Litotipo	Profondità da pc m Settore monte via Civetta DPSH 1 - 2 - 3	Profondità da pc m Settore valle via Civetta DPSH 4 - 4 - 6 - 7 - SM	Descrizione litotecnica	Angolo di attrito ϕ°	Coesione c' (KN/mq)	Angolo d'attrito interno residuo, ϕ'_{res}	Coesione non drenata Cu KN/mq	Peso di volume γ_n (KN/cm ³)
1	1	Da 0,0 a -1,0/-2,0	Da 0,0 a -1,5/-2,5	Limi argillosi - argille limose - riporti limoso sabbioso ghiaiosi a est campo da calcio	19	7		25	18
2	2	Assente	Da 1,5/-2,5 a -3,5/-4,0	Argille limose	21	10		162	19
3	3	Assente	Da -3,5/-4,0 a -4,0/-6,0	Argille limose	17,5	20		75	19,2
4	4	Da -1,5/-2,0 a -2,5/-3,0	Da -4,0/-6,0 a -5,0/-6,0	Limi argillosi - argille limose	20	10	16	103	18,5
5	5	Da -2,5/-3,0 a -3,0/-4,0	Da -5,0/-6,0 a -6,-/7,0 ÷ - 8,5	Argille limose	19	12		75	18,5
6	6	Da -3/-4 a -5/-6	Da -6/-7 ÷ -8,5 a -8/-11	Argille limose	21	10	16	145	19,5
7	7	Assente	Da -8/-11 a -9,5/-10,0 ÷-12	Limi argillosi	20	8		100	18,7
8	8	Assente	Da -9,5/-10 ÷ -12 a -12 ÷ -14 assente ad est di via Calcio	Argille limoso sabbiose con presenza di clasti litici ghiaiosi	21	10		120	19,5
9	9	Da -5/-6/-7 a -6/-7	Da -12/-14 a -13/-15 assente ad est via Calcio	Argille limose - argilliti (AVT)	19	10		80	18,5
10	10	> -6/-7	> -13 /-15	Argille limose - argilliti (AVT)	18	18		310	19,6

9.7.1. Pericolosità di liquefazione

Le analisi di laboratorio geotecnico, eseguite su 7 campioni: 4 indisturbati - 3 con punta Raimond, prelevati a profondità comprese tra -3,5/-18 m pc (*GeoTest – Centrogeo*) hanno evidenziato i seguenti parametri:

$$WL = 46 \div 63 \%$$

$$WP = 24,1 \div 27,9 \%$$

$$IP = 22,7 \div 35,5 \%$$

$$\text{passante } 0,074 \text{ mm} > 84\%$$

In base alla percentuale in frazioni fini ed al valore dell'indice di plasticità $IP > 22$, i terreni che costituiscono il versante esaminato sono caratterizzati da pericolosità di liquefazione nulla/assente.

9.7.2. Parametrizzazione sismica

La caratterizzazione litostratigrafico/sismica, di seguito è 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 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	180	61	18.4	-	-
3	2	390	302	19.5	-	-
7,5	6	290	162	19.0	-	-
18	7	500	510	20.0	-	-
	-	710	1136	22.1	0,3	Outcrop

Verticale R213						
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
2	1	150	42	18.3	-	-
5	2	320	199	19.1	-	-
13	6	440	389	19.7	-	-
	-	740	1250	22.4	0,3	Outcrop

Le analisi hanno fornito i seguenti risultati:

Verticale sismica	pga (g)	FPGA	FH0105	FH0510	FA0105	FA0408	FA0711	H _{SM} 0105	H _{SM} 0408	H _{SM} 0711
R206	0.295	1.83	1.84	1.24	1.89	1.4	1.17	652	275	140
R213	0.261	1.62	1.45	1.09	1.55	1.15	1.07	534	226	128

In rapporto alla moderata variabilità laterale in spessore dei terreni che costituiscono l'accumulo di frana e dei bassi valori di inclinazione del versante: $< 12^\circ$, le analisi di risposta sismica locale sono state sviluppate con codice di calcolo 1D per ogni singola verticale Re.MI/MASW.

In funzione della variabilità dei fattori di amplificazione ottenuti l'insieme del corpo di frana è suddivisibile in due principali microzone:

- 1 parte corpo di frana a monte di via della Civetta/Casa Alpini
- 2 parte corpo di frana a valle di via della Civetta/Casa Alpini

Parte corpo di frana monte via Civetta: contraddistinta da $FaPGA = 1,6$ e da fattori di amplificazione in termini di velocità per nell'intervallo $0,1 > T > 0,5$ sec che corrispondono a $FH=1,5$; quelli nell'intervallo $0,5 > T > 1,0$ sec equivalgono a $FH = 1,1$.

Simile distribuzione dei fattori di amplificazione a quelli di FH evidenziano i fattori di amplificazione in termini di accelerazione; questi ultimi nell'intervallo $0,1 > T > 0,5$ sec sono contraddistinti da $FA = 1,6$; nell'intervallo $0,4 < T < 0,8$ sec $FA=1,2$ nell'intervallo $0,7 < T < 1,1$ sec $FA = 1,1$

I valori di $Hsm=0,1 < T < 0,5$ sec. corrispondenti a $Hsm=534$ cm/sec^2 attribuiscono la zona a pericolosità moderata; per $Hsm=0,4 < T < 0,8$ sec. equivalenti a $Hsm=226$ cm/sec^2 il sito è correlabile pericolosità moderata. Nella classe $Hsm=0,7 < T < 1,1$ sec. i valori di $Hsm=128$ cm/sec^2 attribuiscono analogamente la zona a pericolosità moderata.

I valori del parametro in oggetto relativamente minori nel settore a monte di via della Civetta evidenziano corrispondenza con gli spessori inferiori dell'accumulo di frana in detta zona.

Parte corpo di frana valle via Civetta: contraddistinta da $FaPGA=1,8$ ad eccezione della fascia sud nord a monte del campo da calcio influenzata dagli effetti della topografia in una locale zona con dislivello di 6 m nella quale $FaPGA=2,0$; i fattori di amplificazione in termini di velocità per nell'intervallo $0,1 > T > 0,5$ sec corrispondono a $FH=1,8$ e a $FH=2,0$ nella sopra descritta fascia; quelli nell'intervallo $0,5 > T > 1,0$ sec equivalgono a $FH=1,2$ ed analogamente $F=1,4$ nella sopra indicata fascia.

Simile distribuzione dei fattori di amplificazione a quelli di FH evidenziano i fattori di amplificazione in termini di accelerazione; questi ultimi nell'intervallo $0,1 > T > 0,5$ sec sono contraddistinti da $FA=1,9$ e da $FA=2,1$ nella fascia sopra descritta; nell'intervallo $0,4 < T < 0,8$ sec $FA=1,4$ ed analogamente a quanto sopra $FA=1,5$; nell'intervallo $0,7 < T < 1,1$ sec $FA=1,2$ ed equivalentemente nella fascia sud nord $FA=1,3$

I valori di $Hsm=0,1 < T < 0,5$ sec. corrispondenti a $Hsm=652$ cm/sec^2 , ad eccezione della fascia su nord 40/60 m a valle di via Della Civetta, attribuiscono la zona a pericolosità moderata - moderato alta, la sopracitata fascia con $Hsm=717$ cm/sec^2 appartiene alla classe alta; per $Hsm=0,4 < T < 0,8$ sec. i valori di $Hsm=275 \div 303$ cm/sec^2 attribuiscono al sito una pericolosità moderata. Analogamente nella classe $Hsm=0,7 < T < 1,1$ sec. i valori di $Hsm=140 \div 154$ cm/sec^2 conferiscono alla zona una pericolosità moderata.

9.7.3. Verifiche di stabilità

Le analisi di stabilità, effettuate con i metodi precedentemente descritti, nelle attuali geometrie del versante, sono state eseguite secondo le linee di massima pendenza, determinate in base al rilevamento diretto con sistema GPS (strumento *Hi Target V30*) integrato con livellazioni dal mezzo con autolivello *GAL 24*; detti profili sono stati rilevati nel settore esteso nord ovest-sud est dalla zona di corona di frana in prossimità di Cà Barilli, sino al limite est dell'area circa corrispondente alla S.S. 64 Porrettana.

Le superfici di potenziale deformazione/rottura, sono state individuate in base all'analisi comparata tra le indagini geognostiche, prospezioni geofisiche ed analisi di laboratori geotecnico, raffrontate alle variazioni di inclinazione del profilo topografico.

Tali valutazioni sono state sviluppate per le superfici con fattore di sicurezza minimo cinematicamente possibile, che non violino il principio di Mohr - Coulomb, in funzione dei parametri ϕ' e c' ; le stime delle condizioni di stabilità sono state sviluppate esaminando sia condizioni di superficie imposta: insieme complessivo della frana, che involuppi sub ellittici di superfici di deformazione/rottura potenziali, sia di insieme che locali, corrispondenti a 30 per ogni condizione simulata.

Tali superfici si sviluppano con assenza di fasce di tensioni crack nel tratto di pendio esaminato.

Le verifiche di stabilità sono state eseguite considerando la saturazione idrica, come rilevato nei fori delle indagini geognostiche sia direttamente che precedentemente effettuate, a profondità corrispondenti a -1,5/-2 pc nel tratto più occidentale del versante prossimo a Cà Barilli (monte di DPSH 201/via Liserna), soggiacenza tra -4, /-6,0 m pc tra detta zona e via Civetta-bordo occidentale del campo da calcio, profondità comprese tra -6,0/-7,0 m pc tra quest'ultimo e la S.S 64 Porrettana, progressivo approfondimento sino a -8,5 m pc (sondaggi *GeoProbe; 2008*) ad oriente della statale con l'approssimarsi al F. Reno.

Nelle valutazioni sono stati utilizzati i più gravosi coefficienti di incremento alle forze destabilizzanti in funzione dei valori di accelerazione orizzontale ottenuti dalle analisi di risposta sismica locale sviluppate con Codice di Calcolo *Strata*, in riferimento all'Approccio 1, Combinazione 2: $R_2=1,1$ ed all'approccio 1 combinazione 1: $R_1=1,3$ (DM 17/01/2018).

Le valutazioni, effettuate adottando i parametri determinati in base ai modelli di analisi geomeccanica precedentemente esposti, sono state eseguite in condizioni di assenza di sollecitazione sismica ed in presenza della stessa in tensioni efficaci applicando i coefficienti parziali per i terreni della Tab.6.2.II del DM 17/01/2018; per le condizioni sismiche e post sismiche.

L'azione sismica è stata determinata in funzione dei fattori di incremento delle forze destabilizzanti ottenuti dall'analisi risposta sismica locale.

Il coefficiente per gli effetti della topografia definito in base agli Abachi ICMS con pendenze minori di 15° corrisponde a:

$$St = 1,0$$

In funzione del coefficiente di riduzione dell'azione sismica: β_s (tab. 7.11.1 NTC 2018) per il tratto di pendio in esame, l'azione sismica equivale a:

- parte corpo frana a valle di via Civetta:

$$K_h = 0,0710 \text{ g}$$

$$K_v = 0,0355 \text{ g}$$

- parte corpo frana a valle di via Civetta:

$$K_h = 0,0710 \div 0,063 \text{ g}$$

$$K_v = 0,0355 \div 0,031 \text{ g}$$

Le superfici di potenziale deformazione rottura delle condizioni sopra descritte, sono visualizzate negli allegati certificati *Verifica di stabilità*, che riportano geometrie del modello litotecnico e parametri geotecnici delle unità.

Le simulazioni sono state sviluppate per le condizioni di seguito esposte:

- verifiche insieme versante: sup1 – Tan4– Tan3
- verifiche locali versante: Tan2.

Di dette valutazioni sup1 e a Tan3 esaminano i potenziali piani di deformazione/rottura meno profondi: -7/-9 m pc, con uscita del piano di scivolamento circa in corrispondenza della S.S. 64; la superficie Tan4 esamina il piano deformazione/rottura più profondo: -12/-14 m pc con uscita dello stesso circa in corrispondenza della suddetta S.S; la superficie Tan2 analizza la parte di versante a monte dell'area sede del campo da calcio caratterizzato al bordo occidentale della presenza di una variazione di pendenza con inclinazione di 16°/18° in un dislivello di 6 m; l'uscita del potenziale piano di deformazione/rottura è circa in corrispondenza di detto campo calcio ed esamina le profondità di entrambe le superfici sopra indicate.

I valori dei coefficienti di sicurezza delle superfici che hanno evidenziato i parametri minimi sono riassunti nelle tabelle di seguito esposte:

- combinazione A1+M1+R1
- Coefficienti interi – Saturazione idrica -5 m pc

Tratto di versante	Superficie	Condizione	Assenza sisma fattore scurezza	Presenza sisma fattore sicurezza
Insieme	Sup1	Drenate	3,19	2,08
	Tan3	Drenate	2,14	1,52
Insieme	Tan4	Drenate	1,53	1,24
Locale: monte campo da calcio	Tan2	Drenate	1,69	1,24

- combinazione A2+M2+R2 – Coefficienti parziali – saturazione idrica -5 m pc
- Condizioni cosismiche

Tratto di versante	Superficie	Condizione	Presenza sisma Fattore sicurezza
Insieme	Sup1	Drenate	1,67
Insieme	Tan3	Drenate	1,22
Insieme	Tan4	Drenate	1,19

Locale	Tan2	Drenate	1,00
--------	------	---------	------

- Condizioni post sismiche

Tratto di versante	Superficie	Condizione	Assenza sisma H ₂ O -6 m pc fattore sicurezza	Assenza sisma H ₂ O -1 m pc fattore sicurezza
Insieme	Sup1	Drenate	2,55	1,51
Insieme	Tan3	Drenate	1,71	1,06
Insieme	Tan4	Drenate	1,67	1,06
Locale	Tan2	Drenate	1,35	0,89

9.7.1. Analisi condizioni di stabilità

Le superfici di potenziale deformazione/rottura ottenute dalle analisi sviluppate evidenziano che l'attuale assetto geometrico del versante con assenza di falda idrica sotterranea/saturazione nei primi 5/6/8 m del sottosuolo a valle di Cà Barilli è in condizioni stabili in sicurezza in assenza di sisma; in presenza di sisma tali situazioni permangono per Sup1, Tan3 e Tan4 e mentre per Tan2 le condizioni sono stabili non in sicurezza all'equilibrio limite, ma con coefficiente che rientra nel minimo previsto dl DM/2018 e pertanto tale valore indica una pericolosità potenziale medio bassa.

Applicando i coefficienti riduttivi in condizioni cosismiche i tratti di versante esaminati sono stabili in sicurezza; analoghe situazioni stabili in sicurezza sussistono anche nelle condizioni post sisma per sup 1, sono stabili non in sicurezza con valori che indicano una pericolosità potenziale bassa le superfici Tan 3 e Tan 4, sono non stabili per Tan 2.

In considerazione dei processi di saturazione per precipitazioni atmosferiche, che possono indurre stati tensionali nel sottosuolo, è comunque opportuno siano mantenuti in efficienza e potenziati i sistemi del reticolo di drenaggio idrico superficiale del pendio.

9.7.2. Analisi dinamica semplificata col modello di Newmark

Calcolo degli spostamenti

La stima degli spostamenti è stata stimata mediante l'analisi dinamica semplificata con il modello di *Newmark* precedentemente descritto.

Il calcolo degli spostamenti è stato effettuato in base agli accelerogrammi della risposta sismica locale che hanno discretizzato i settori del pendo in microzone a diversificata intensità dell'azione sismica (Tav. 3.2, 3.3, 3.4).

In base a quanto esposto, per le superfici che hanno evidenziato i coefficienti di sicurezza minori, sono stati ottenuti gli spostamenti esposti nella seguente tabella:

Profilo	Settore di versante	Superficie	Spostamento S = cm
3	Valle Via Civetta	Tan2	6,80
		Tan4	2,73
	Monte via Civetta	Tan2	4,58
		Tan4	1,76

In riferimento alla relazione spostamenti/danno strutturale (*Legg et Alii; 1982*) per la superficie Tan2 tratto di valle di via Civetta la classe di danno è media, per le rimanenti superfici esaminate la classe di danno è debole.

10. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI

Per gli eventi passati non è stato possibile reperire attendibili 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" con assenza di 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.

Analoghe caratteristiche mostra la Formazione di Monghidoro (MOH) che con ampiezze $A=3/4$ indica che gli effetti dello scuotimento si possono manifestare in modo più accentuato.

Per quanto riguarda l'intensità dell'amplificazione i risentimenti più pronunciati contraddistinguono i depositi eolici limosi – limoso sabbioso argillosi che coprono il substrato argillitico detensionato della zona di Tolè.

Dr. Geol. 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. PIZZILO.
- 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. PIZZILO.
- 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. PIZZILO.
- 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/bgta0263.
- 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.
- 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 Municipaleties of Montese, Zocca, Guiglia, Marano s/P NATURAL HAZARD – E3. Sismic hazard: state of the art and open issues – Pubblicato sul sito <http://www.geoitalia2013.it/>
- LOCATI M., CAMASSI R. E STUCCHI M. (a cura di), 2011. BDMI11, *la versione 2011 del Database Microsismico Italiano*. Milano, Bologna, <http://Edius.mi.ingv.it/DBMI11>
- 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
- DAL 111/2007. 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-App. 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 geoelctric prospection, Atti 4th 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 Vergato e 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