



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

DGR n. 241 del 06.03.2017

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione illustrativa

Regione Emilia-Romagna
Comune di Torrile



Regione	Soggetto realizzatore	Data
EMILIA-ROMAGNA	 <i>Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti</i>	MARZO 2018

INDICE

1.	INTRODUZIONE	1
2.	DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO.....	4
2.1	Inquadramento geologico e tettonico	4
2.2	Caratteristiche sismotettoniche	7
2.3	Storia sismica.....	8
2.4	Classificazione sismica	10
3.	DATI GEOTECNICI E GEOFISICI	14
4.	MODELLO DEL SOTTOSUOLO	15
5.	INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE	18
6.	METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI.....	20
7.	ELABORATI CARTOGRAFICI	22
7.1	Carta delle indagini	22
7.2	Carta geologico-tecnica.....	23
7.3	Carta delle frequenze naturali dei terreni	29
7.4	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica.....	30
7.5	Carta delle velocità delle onde di taglio S	34
7.6	Microzonazione Sismica - Livello 2	35
8.	COMMENTI FINALI E CRITICITÀ.....	37
9.	ELABORATI	38

1. INTRODUZIONE

Nella presente Relazione illustrativa vengono descritte le attività svolte e i risultati ottenuti nel corso dello studio di Microzonazione Sismica del Comune di Torrile (Provincia di Parma), eseguito su incarico del Comune di Torrile con Determinazione n° 371 del 03/08/2017 del Responsabile del IV Settore (CUP: F52I17000010002 - CIG: Z2D1F70721).

Lo studio è stato reso possibile grazie alla concessione di contributi al Comune di Torrile da parte della Regione Emilia-Romagna mediante la DGR n° 241 del 6 marzo 2017 “Approvazione dei criteri e delle indicazioni tecniche e procedurali per l'attribuzione di contributi per la realizzazione di studi di microzonazione sismica nei comuni caratterizzati da $ag < 0,125g$ ” e finanziati con Determina Dirigenziale n° 8756 del 05/06/2017.

Infatti il Comune di Torrile è uno dei 61 Comuni emiliano-romagnoli che hanno $ag < 0,125g$ e pertanto non possono accedere ai contributi di cui all'art. 11 L. 77/2009 per la microzonazione sismica e l'analisi della condizione limite per l'emergenza.

Gli studi di Microzonazione Sismica hanno l'obiettivo di razionalizzare le conoscenze in merito alle alterazioni che lo scuotimento sismico può subire in superficie e di fornire informazioni utili al governo del territorio, alla progettazione, alla pianificazione per l'emergenza e alla ricostruzione post sisma.

La MS consente di suddividere il territorio esaminato in base alla presenza e alla distribuzione dei fenomeni di possibile amplificazione dello scuotimento, legati alle caratteristiche litostratigrafiche e morfologiche delle singole aree considerate ed ai possibili fenomeni di instabilità e deformazione permanente in esse attivati dal sisma. L'insieme di queste conoscenze sul comportamento dei terreni durante un evento sismico e sui possibili effetti indotti dallo scuotimento, è un indispensabile strumento di prevenzione e di riduzione del rischio sismico, particolarmente efficace, se realizzato e applicato durante la pianificazione urbanistica, per indirizzare le scelte di trasformazione verso aree a minore pericolosità.

Tutte le attività svolte ed in particolare l'elaborazione e la redazione degli elaborati richiesti, sono state effettuate nel rispetto dei seguenti riferimenti tecnici:

- “Microzonazione sismica - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica” - Versione 4.0b, Roma, ottobre 2015 - Elaborato e approvato nell'ambito dei lavori della Commissione tecnica per la microzonazione sismica, nominata con DPCM 21 aprile 2011 (di seguito “SRAI”);

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2018	1 di 38

- “Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica” approvati dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome e successive modifiche e integrazioni (di seguito “ICMS”);
- Allegato A2 della DGR n° 241 del 6 marzo 2017 “Criteri per la realizzazione degli studi di microzonazione sismica e analisi della condizione limite per l'emergenza nei comuni con $a_g < 0,125g$;
- Deliberazione della Giunta della Regione Emilia Romagna n. 2193 del 21 dicembre 2015: Art. 16 della L.R. n. 20 del 24/3/2000. Approvazione aggiornamento dell'Atto di coordinamento tecnico denominato “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica” di cui alla Deliberazione dell'Assemblea Legislativa 2 maggio 2007, n. 112.

Il presente studio di Microzonazione Sismica, attuato in conformità a quanto stabilito dai riferimenti tecnici sopraelencati e dal capitolato tecnico è articolato nei seguenti livelli di approfondimento:

➤ PRIMO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO, con:

- individuazione delle aree suscettibili di effetti locali in cui effettuare le successive indagini di microzonazione sismica;
- descrizione delle caratteristiche delle unità geologiche del sottosuolo, in termini di litologia, stratigrafia, tettonica e geometria per definire il modello geologico di base per la microzonazione sismica;
- definizione del tipo di effetti attesi;
- indicazione, per ogni area, del livello di approfondimento necessario.

➤ SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO, con:

- conferma delle condizioni di pericolosità indicate dal 1° livello ed eventuale nuova perimetrazione delle aree ove effettuare la microzonazione sismica;
- suddivisione dettagliata del territorio, in base all'amplificazione attesa, secondo aree a maggiore e minore pericolosità sismica;
- conferma o migliore definizione delle aree, indicate dal livello di approfondimento precedente, in cui si ritengono necessari approfondimenti di terzo livello con l'indicazione delle indagini e analisi da effettuare.

Le aree oggetto di microzonazione sismica ricomprendono i centri abitati di Bezze, Gainago, Rivarolo, Sant'Andrea, San Polo (comprensiva delle aree industriali nord e sud), San Siro, Torrile e Vicomero (Fig. 1), comprendo una superficie di circa 711 Ha dove risiede la maggior parte della popolazione, pari al 19% del territorio comunale.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2018	2 di 38

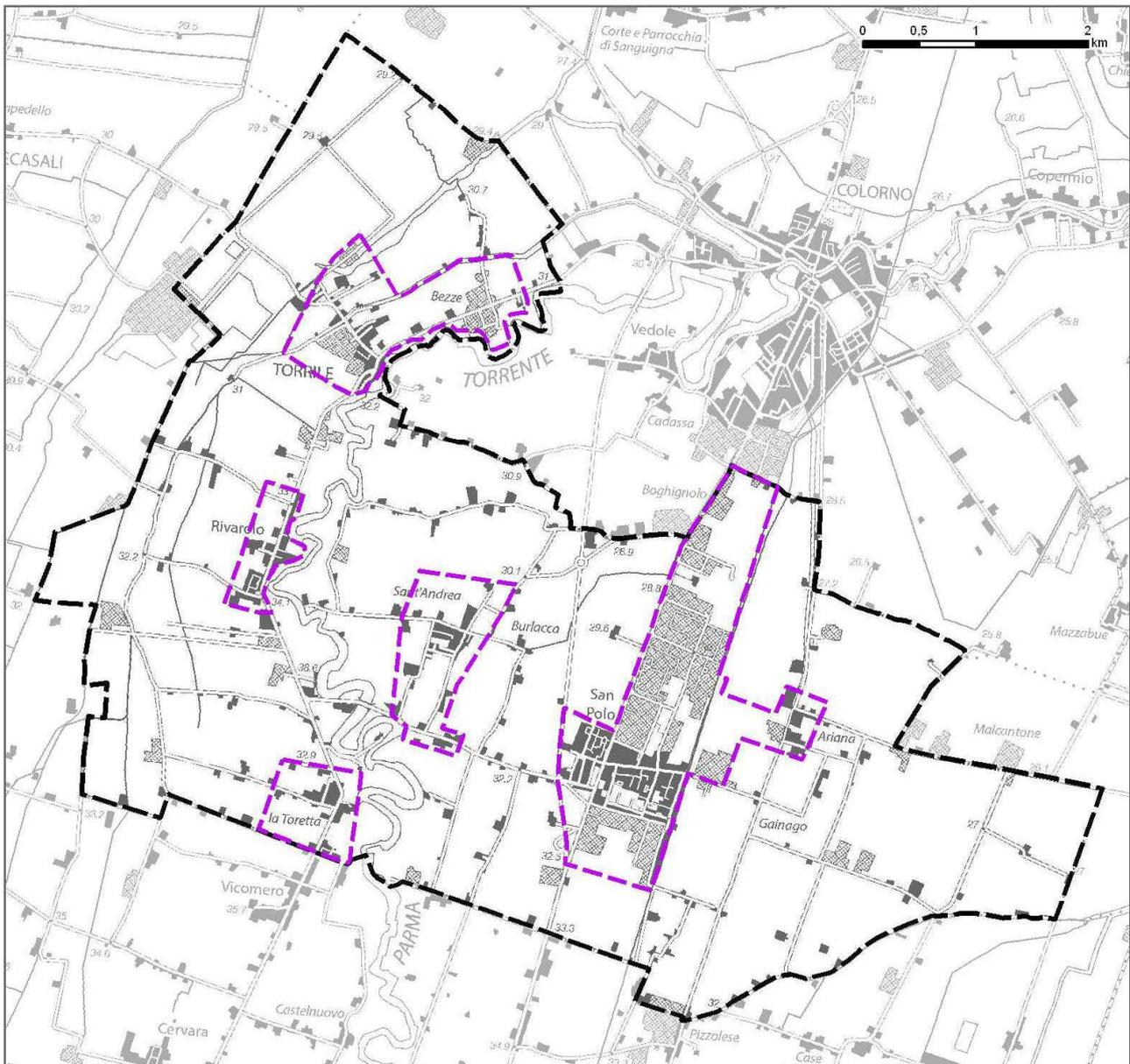


Fig. 1 – Aree oggetto di microzonazione sismica del Comune di Torrice

Per l’archiviazione dei dati e l’editing dei documenti sono stati seguiti gli standard di riferimento forniti dall’Allegato A2 della DGR 241/2017 e dagli SRAI (Standard di rappresentazione e archiviazione informatica).

Per l’inserimento dei dati alfanumerici dei siti, delle indagini e dei parametri è stato utilizzato l’apposito software: “MS - SoftMS”, versione 4.0.1.

I dati cartografici sono stati allestiti in formato vettoriale (shapefile) e gli elaborati sono stati prodotti in versione cartacea e in versione digitale (pdf con risoluzione di 300 dpi).

 <p>Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti</p>	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2018	3 di 38

2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Inquadramento geologico e tettonico

La pianura emiliano-romagnola è il risultato del riempimento del Bacino Perisuturale Padano, vasta depressione delimitata a cintura dai rilievi appenninici ed alpini, avvenuto attraverso un potente accumulo di depositi marini ed alluvionali di età pliocenica e quaternaria.

L'attuale strutturazione del bacino trae origine dalle spinte deformative che, a partire dal Miocene superiore, hanno coinvolto l'Appennino Settentrionale e l'antistante substrato padano, provocandone la deformazione secondo un modello generale a falde sovrapposte ed embrici NE vergenti (PIERI & GROPPPI, 1982).

Il riempimento del bacino è costituito da una successione di depositi a carattere regressivo, con alla base sabbie e peliti torbiditiche seguite da un prisma sedimentario fluvio-deltizio progradante, ricoperto al tetto da depositi continentali. Questo riempimento del bacino non è avvenuto in maniera progressiva e continua, ma è il risultato di eventi tettonico-sedimentari "parossistici", separati nel tempo da periodi di marcata subsidenza bacinale e movimenti ridotti delle strutture compressive.

L'interpretazione dei profili sismici eseguiti nel corso degli anni dall'AGIP (Di Dio, 1997) ha permesso di riconoscere due direzioni di progradazione: la prima, assiale, est-vergente, connessa al paleodelta del Po; la seconda, trasversale, nord-vergente, originata dai sistemi deltizi ad alimentazione appenninica.

Sulla base dei moderni concetti di stratigrafia sequenziale, ossia del metodo stratigrafico che utilizza le discontinuità e le superfici di continuità ad esse correlabili per suddividere la successione sedimentaria in sequenze deposizionali, nell'ambito dei depositi quaternari del margine appenninico padano e dell'antistante pianura sono state riconosciute due sequenze principali, in risposta ad altrettanti eventi tettonici di sollevamento regionale, così denominate:

- **Supersistema del Quaternario Marino** (affiorante nella fascia collinare)
- **Supersistema Emiliano-Romagnolo**

L'organizzazione verticale delle facies di questi sistemi deposizionali è costituita dall'alternanza ciclica di corpi sedimentari a granulometria fine, con corpi sedimentari a granulometria prevalentemente grossolana, indotta dalle disattivazioni e dalle successive riattivazioni dei sistemi deposizionali.

All'interno delle sequenze deposizionali principali (Supersistemi) sono state distinte sequenze di rango inferiore, denominate Sintemi, delimitate da superfici di discontinuità indotte da

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2018	4 di 38

eventi tettonici minori a carattere locale e/o da oscillazioni climatico-eustatiche; a loro volta i Sintemi vengono suddivisi in unità minori (Subsintemi e Unità).

In particolare il settore di territorio in studio ricade nella fascia di bassa pianura, costituita da una successione di sedimenti quaternari continentali riferibili alla deposizione operata nel tempo dai corsi d'acqua appenninici e dal F. Po (Supersintema Emiliano-Romagnolo).

Lo spessore dei depositi continentali nella zona in studio è superiore a 400 metri.

La conformazione attuale del territorio è il risultato di processi che hanno operato in epoca antecedente all'arginatura e canalizzazione dei corsi d'acqua, nel corso di un mutevole divagare degli stessi indotto da fattori tettonici e climatici.

Con riferimento alla cartografia geologica della Regione Emilia-Romagna – Progetto CARG, elaborata secondo i concetti di stratigrafia sequenziale, i depositi affioranti nell'areale di studio possono essere attribuiti al Sintema Emiliano-Romagnolo Sup. – Subsintema di Ravenna, di età Pleistocene sup.-Olocene.

I depositi sono costituiti da sabbie e limi stratificati con copertura di limi argillosi o limi sabbiosi. Il profilo di alterazione varia da qualche decina di cm fino ad 1 m e il tetto dell'unità è rappresentato dalla superficie deposizionale, per gran parte relitta, corrispondente al piano topografico, mentre il contatto di base è discordante sulle unità più antiche.

Tali depositi presentano una stratificazione di tipo cuneiforme, la cui granulometria è in stretto rapporto con l'energia delle correnti fluviali che li hanno originati: i sedimenti grossolani sono il risultato di una deposizione avvenuta in ambiente di argine-canale fluviale, mentre quelli fini di una sedimentazione per tracimazione avvenuta in zone distali dall'alveo attivo (piana inondabile).

Sotto il profilo tettonico Le ricerche in campo sismotettonico svolte dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna, sintetizzate nella *“Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna”* (2017), hanno messo in evidenza gli elementi strutturali attivi del territorio, riconosciuti sulla base di dati morfologici e geologici. In particolare, con riferimento all'area in esame, risultano attivi i sovrascorrimenti sepolti che danno luogo agli archi di Piacenza, Parma e Reggio Emilia (Fig. 2).

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2018	5 di 38

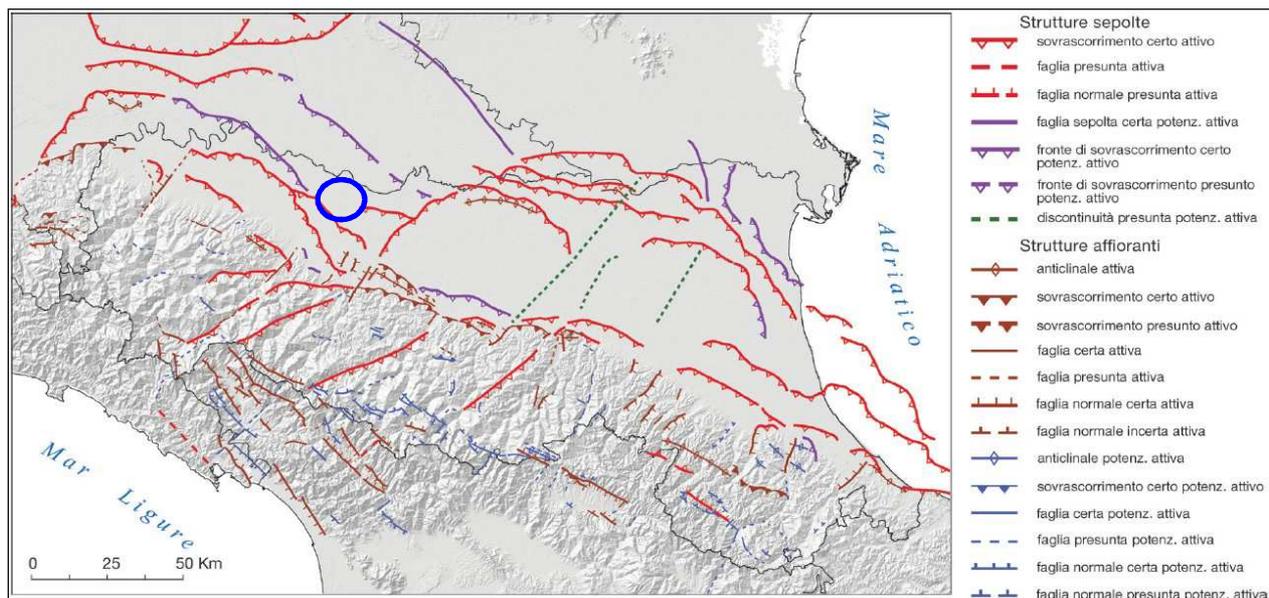


Fig. 2 - Mappa di sintesi delle strutture tettoniche attive e potenzialmente attive riconosciute in Emilia-Romagna (da: "Note illustrative della Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna ed aree limitrofe" - Servizio Geologico Sismico e dei Suoli - Regione Emilia-Romagna - 2017)

La fascia di pianura, entro cui ricade l'areale in studio, si inserisce in un contesto geodinamico caratterizzato da una tettonica a stile compressivo, che ha determinato un generale raccorciamento del margine appenninico e dell'edificio padano.

Tale raccorciamento si è prodotto attraverso due importanti fasci paralleli di strutture di embricazione sepolte aventi complessivamente direzione NW-SE e vergenza verso NE, le cui superfici di distacco interessano la copertura mesozoica e terziaria (Boccaletti et al., 1985).

Il fascio più settentrionale, denominato *Fronte di accavallamento esterno* (External Thrust Front = ETF), appartiene all'arco delle "Pieghe Emiliane e Ferraresi" che costituiscono il fronte della catena appenninica, sepolto dai sedimenti quaternari padani, che circa all'altezza del Po sovrascorre verso nord sulla piattaforma padano-veneta. È costituito da un sistema di thrust ciechi ed arcuati in pianta, interessati da discontinuità trasversali con probabile componente di movimento trascorrente.

Il fascio meridionale (Pedeappenninic Thrust Front = PTF), coincidente con il margine morfologico appenninico, si sviluppa nel sottosuolo in corrispondenza dei terrazzi pre-wurmiani. Anche questo fronte risulta coinvolto da discontinuità trasversali (linee) coincidenti con alcuni corsi d'acqua appenninici, tra i quali il T. Enza, che delimitano settori a diverso comportamento tettonico-sedimentario.

Più ad est dell'area in studio i sovrascorrimenti dell'ETF assumono una direzione perpendicolare al margine appenninico e danno luogo ad importanti strutture sepolte note come

“Dorsale Ferrarese”, che in prossimità di Novi–Camurana presenta la massima culminazione assiale, determinando un sensibile innalzamento del substrato pre-pliocenico.

2.2 Caratteristiche sismotettoniche

Ai fini della valutazione del rischio sismico di un’area, è fondamentale identificare le faglie attive.

Infatti, sebbene esistano strutture a scorrimento lento asismico (*fault creep o tectonic creep*), molte delle faglie attive sono considerate sorgenti sismiche, in quanto lo scorrimento istantaneo dei due lati delle stesse, che avviene allorché lo stress supera la resistenza delle rocce, genera il rilascio di onde elastiche che si propagano in tutte le direzioni. A tali faglie sismogenetiche è associato il maggior rischio.

Per la definizione di faglia attiva si fa normalmente riferimento alla possibilità che una faglia possa attivarsi in un intervallo di tempo futuro che interessa la nostra società.

D’altra parte le faglie che hanno la maggiore probabilità di muoversi in un futuro prossimo sono da ricercarsi tra quelle che si sono mosse nelle fasi più recenti della storia geologica.

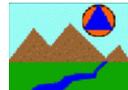
Una delle definizioni più comunemente accettata è quella della *U.S Nuclear Regulatory Commission* (1982), che definisce attive le faglie che presentano un’attivazione negli ultimi 35.000 anni o almeno due negli ultimi 500.000 anni.

Un elenco delle sorgenti sismogenetiche e delle faglie potenzialmente attive e capaci è contenuto nel DISS 3.2, il database delle sorgenti sismogenetiche italiane, potenzialmente in grado di generare sismi con magnitudo superiore a M 5.5 nell’area Italiana¹.

Con riferimento all’immagine di Fig. 3, le sorgenti sismogenetiche più significative al contorno dell’area in studio sono:

- **ITCS009 – Busseto-Cavriago**, con magnitudo massima attesa Mw=5.6;
- **ITCS049 – Campegine-Correggio**, con una magnitudo massima attesa Mw=5.5;
- **ITCS112 – Piadena**, con una magnitudo massima attesa Mw=5.5.

¹ Basili R., G. Valensise, P. Vannoli, P. Burrato, U. Fracassi, S. Mariano, M.M. Tiberti, E. Boschi (2008), The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology, Tectonophysics, [doi:10.1016/j.tecto.2007.04.014](https://doi.org/10.1016/j.tecto.2007.04.014)

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2018	7 di 38

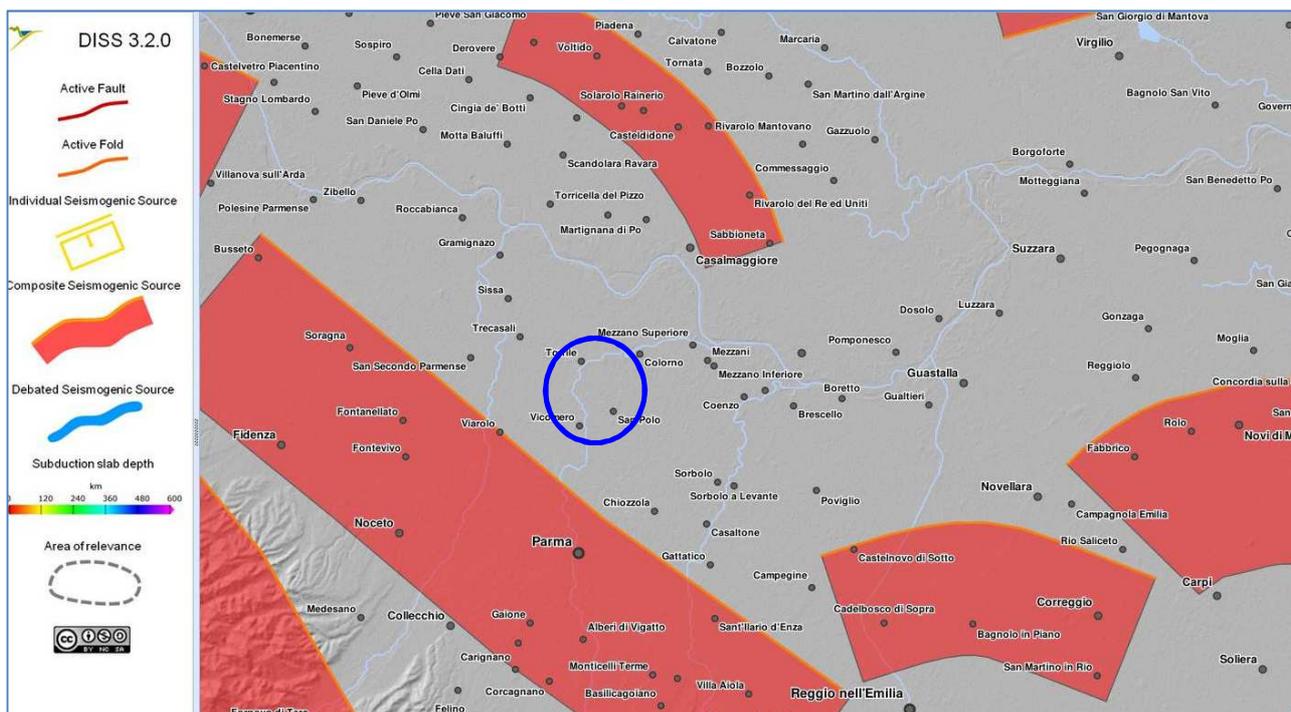


Fig. 3 - Ubicazione delle sorgenti sismogenetiche del DISS 3.2. Il cerchio di colore blu individua approssimativamente il territorio in studio.

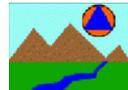
2.3 Storia sismica

La storia sismica dei comuni in studio è stata desunta dal Database Macrosismico Italiano, versione DBMI15², che contiene informazioni relative a 122.701 osservazioni macrosismiche relative a 4584 terremoti avvenuti tra l'anno 1000 ed il 2014. Al fine di disporre di un'elevata massa di dati³, l'estrazione è stata fatta con riferimento alla città di Parma, che dista circa 9 km in direzione Sud.

Secondo quanto riportato in DBMI15, la storia sismica del Comune di Parma viene riassunta graficamente nel diagramma riportato in Fig. 4, mentre in Tab. 1 sono elencati gli eventi di maggiore intensità, indicando per ciascuno di esse, oltre agli effetti provocati al sito, espressi come I(MCS), la data e l'ora in cui si è verificato, il numero di località in cui è stato registrato l'evento (Np), l'intensità massima epicentrale in scala MCS (Io) e la magnitudo momento (Mw).

² Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Contre S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. <http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>

³ Per il Comune di Torrile sono disponibili solamente 14 eventi, mentre per il Comune di Parma ci sono ben 117 eventi

 <p>Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti</p>	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2018	8 di 38

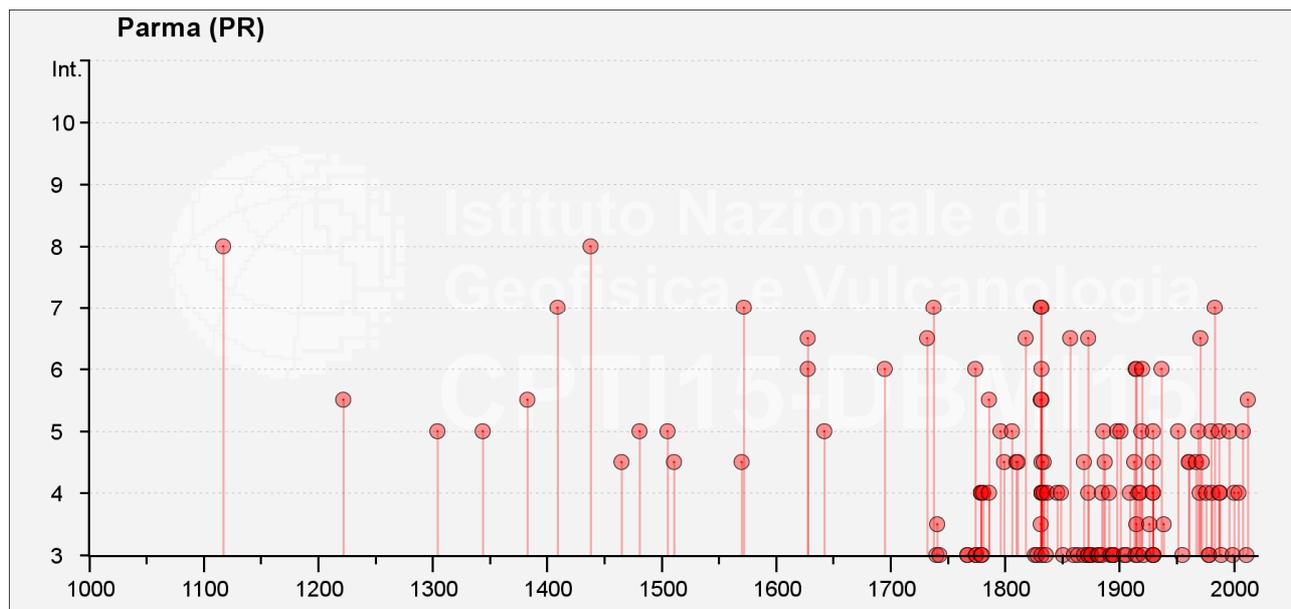


Fig. 4 – Rappresentazione grafica della storia sismica di Parma limitatamente ai terremoti con intensità epicentrale uguale o superiore a 3 (cfr. Tab. 1). A. Rovida, M. Locati, R. Camassi, B. Loli e P. Gasperini (a cura di), 2015. DBMI15, la versione 2015 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI15>

Intensità	Anno Me Gi Or Mi Se	area Epicentrale	lo	Mw
8	1117 01 03 15 15	Veronese	9	6,52
8	1438 06 11 02	Parmense	8	5,56
7	1409 11 15 11 15	Parma	7	5,1
7	1572 06 04 22	Parmense	6	4,63
7	1738 11 05 00 30	Emilia occidentale	7	5,1
7	1831 09 11 18 15	Pianura emiliana	7-8	5,48
7	1832 03 13 03 30	Reggiano	7-8	5,51
7	1983 11 09 16 29 52.00	Parmense	6-7	5,04
6-7	1628 11 04 15 40	Parma	6-7	4,86
6-7	1732 02 04 18 20	Parma	5-6	4,65
6-7	1818 12 09 18 55	Parmense	7	5,24
6-7	1857 02 01	Parmense-Reggiano	6-7	5,11
6-7	1873 09 17	Appennino tosco-ligure	6-7	5,26
6-7	1971 07 15 01 33 23.00	Parmense	8	5,51
6	1695 02 25 05 30	Asolano	10	6,4
6	1774 03 04	Parma	5	4,16
6	1914 10 27 09 22	Lucchesia	7	5,63
6	1915 10 10 23 10	Reggiano	6	4,87
6	1937 09 17 12 19 05.00	Parmense	7	4,77
6	1920 09 07 05 55 40.00	Garfagnana	10	6,53

Tab. 1 - Elenco dei terremoti più forti risentiti nell'area di Parma tra il 1000 e il 2014 (A. Rovida, M. Locati, R. Camassi, B. Loli e P. Gasperini (a cura di), 2015. DBMI15, la versione 2015 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI15> - parzialmente modificato

2.4 Classificazione sismica

La classificazione sismica dei comuni su tutto il territorio nazionale è stata stabilita dall'All. 1, punto 3 dell'OPCM 3274/2003, utilizzando e aggiornando la precedente proposta nel 1998.

La suddivisione è articolata in 4 zone: le prime 3 corrispondono alle zone di sismicità alta (S=12), media (S=9) e bassa (S=6), contemplati nella Legge 64/74, mentre la zona 4 è di nuova introduzione. Ciascuna zona è contraddistinta da un diverso valore dell'accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**), eliminando di fatto la presenza di aree del territorio classificate come non sismiche. In questo modo ad ogni area del territorio nazionale è stato attribuito un differente livello di pericolosità sismica.

Zona	Valori massimi di a_g
1	$>0,25$
2	$0,15 \div 0,25$
3	$0,05 \div 0,15$
4	$<0,05$

Tab. 2 – Valori di accelerazione orizzontale associati a ciascuna zona sismica

La classificazione vigente identifica il Comune di Torrile in zona 3 (Fig. 5), cui corrispondono valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g), con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, compresi tra $0,05 \cdot g$ e $0,15 \cdot g$ (dove g è l'accelerazione di gravità).

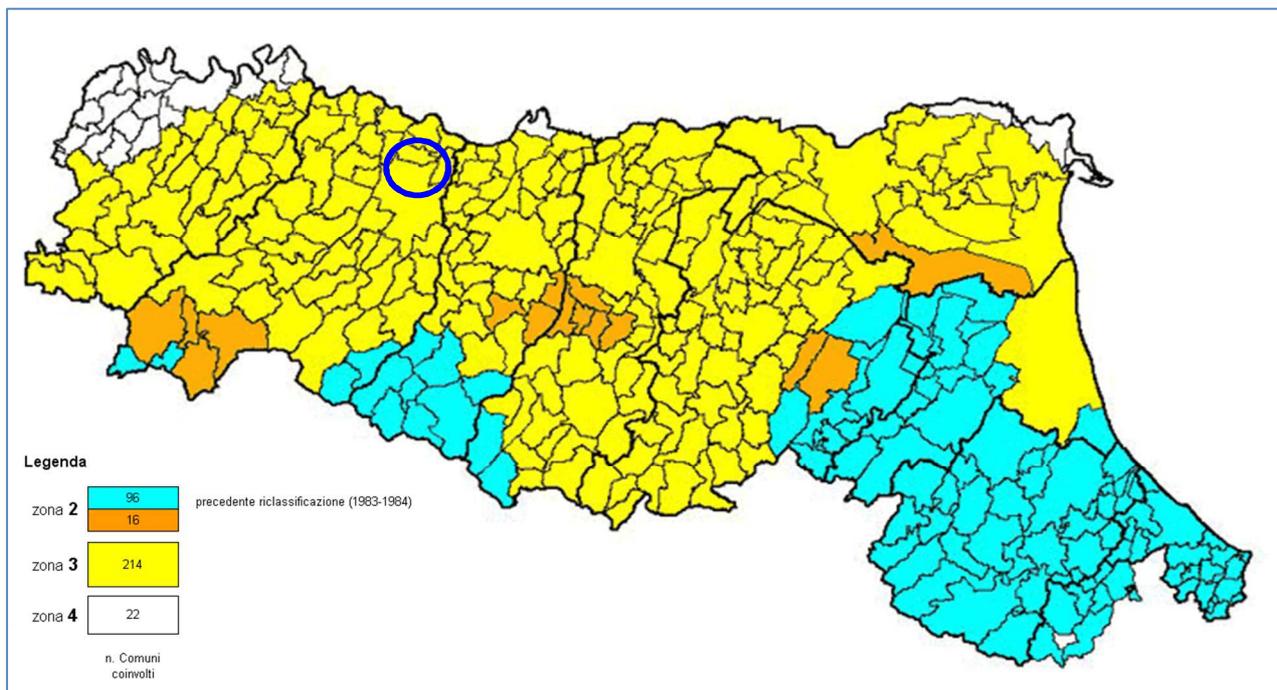


Fig. 5 – Nuova classificazione sismica regionale dei Comuni dell'Emilia Romagna. Il cerchio blu individua il Comune di Torrile.

Successivamente, con l'Ordinanza n° 3519 del 28 aprile 2006 sono stati approvati i criteri generali e la mappa di pericolosità sismica di riferimento a scala nazionale, riportata nell'allegato 1b dell'Ordinanza stessa e la normativa tecnica associata alla nuova classificazione sismica, ovvero, il D.M. 14 gennaio 2008 "Approvazione delle nuove Norme Tecniche per le costruzioni", pubblicato sulla G. U. n. 29 del 4 febbraio 2008, che sostituisce il precedente D.M. 14.9.2005.

Alle NTC 2008 è allegato un documento sulla pericolosità sismica (All. A), in quanto l'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire dalla pericolosità sismica di base, più semplicemente chiamata pericolosità sismica che costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

In base a quanto disposto nel sopraccitato Allegato A, l'accelerazione sismica massima del terreno (a_g) è definita in corrispondenza dei punti di un reticolo, i cui nodi non distano fra loro più di 10 km, per diverse probabilità di superamento in 50 anni e per diversi periodi di ritorno (variabili tra 30 e 2475 anni).

Se il sito in esame non ricade nei nodi del reticolo di riferimento, il valore del parametro a_g può essere ricavato come media pesata dei valori assunti nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici.

Con l'obiettivo di ridurre il rischio sismico in adempimento agli obblighi della normativa nazionale, la Regione Emilia-Romagna, con Deliberazione dell'Assemblea legislativa n. 112 del 2

maggio 2007, ha approvato l'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della L.R. 20/2000 "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio", in merito a "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica". L'atto di indirizzo è stato recentemente aggiornata con DGR n° 2193/2015.

Scopo di tale documento è quello di fornire i criteri per la per l'individuazione delle aree soggette ad effetti locali e per la microzonazione sismica del territorio in modo da orientare le scelte della pianificazione verso aree caratterizzate da minore pericolosità sismica.

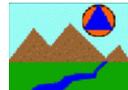
In esso si afferma che la componente pericolosità del rischio sismico dipende sia dalle caratteristiche sismiche dell'area, cioè dalle sorgenti sismiche, dall'energia, dal tipo e dalla frequenza dei terremoti (aspetti comunemente indicati come "pericolosità sismica di base") sia dalle caratteristiche geologiche e morfologiche del territorio, in quanto alcuni depositi e forme del paesaggio possono modificare le caratteristiche del moto sismico in superficie e costituire aspetti predisponenti al verificarsi di effetti locali quali fenomeni di amplificazione o di instabilità dei terreni (aspetti comunemente indicati come "pericolosità sismica locale").

Conseguentemente gli studi della pericolosità sismica hanno come obiettivo:

- ♦ l'individuazione delle aree dove in occasione dei terremoti attesi possono verificarsi effetti locali;
- ♦ la stima quantitativa della risposta sismica locale dei depositi e delle morfologie presenti nell'area di indagine (Analisi della Risposta Sismica Locale, RSL);
- ♦ la suddivisione del territorio in sottozone a diversa pericolosità sismica locale (Microzonazione Sismica, MZ).

Per questi studi sono previsti diversi livelli di approfondimento a seconda della sismicità locale e delle finalità delle realizzazioni previste.

La **prima fase** è volta a definire gli *scenari di pericolosità sismica locale*, cioè ad identificare le parti di territorio suscettibili di effetti locali (amplificazione del segnale sismico, cedimenti, instabilità dei versanti, fenomeni di liquefazione, rotture del terreno, ecc.). Questa individuazione si basa su rilievi, osservazioni e valutazioni di tipo geologico e geomorfologico, svolte a scala territoriale, nonché su raccolte di informazioni in merito agli effetti indotti dai terremoti che in passato hanno colpito la zona. Spesso, quanto definito in questa fase, fa ampio riferimento ed elabora i dati predisposti e resi disponibili dalle indagini eseguite in sede di redazione del Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (P.T.C.P.) e dei Piani Strutturali Comunali (P.S.C.) e, a sua volta, concorre alla definizione delle scelte urbanistiche, fornendo indicazioni sui limiti e sulle condizioni di cui tenere conto nella pianificazione.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2018	12 di 38

La **seconda fase** ha come obiettivo la *Microzonazione sismica del territorio indagato* ossia l'approfondimento delle condizioni di pericolosità indicate dal precedente livello di approfondimento, la suddivisione dettagliata del territorio, in aree con maggiore o minore pericolosità sismica, l'indicazione delle aree ove si ritengono necessari approfondimenti con la precisazione delle indagini e delle analisi da effettuare.

La **terza fase** concerne appunto l'attuazione degli approfondimenti nei luoghi e con le modalità indicate di massima nella seconda fase.

L'Atto di indirizzo e coordinamento tecnico di cui alla DAL 112/2007 è stato recentemente aggiornato con D.G.R. 21.12.2015, n° 2193.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2018	13 di 38

3. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

Lo studio si è avvalso in primis della grande massa di dati contenuta nel Database geognostico messo a disposizione dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna.

La ricerca effettuata presso l'archivio dell'Ufficio Tecnico Comunale ha consentito di esaminare numerose relazioni geologiche, prodotte a corredo di varianti agli strumenti urbanistici, di progetti edilizi, di PUA e di opere pubbliche e di acquisire copia delle indagini geognostiche eseguite.

Tutti i dati acquisiti, esclusi quelli già presenti del DB geognostico della Regione Emilia-Romagna, sono stati inoltre trasformati in formato digitale con modalità georiferita, al fine di consentirne l'elaborazione in ambiente GIS.

Sia i dati di base, sia quelli elaborati sono stati inoltre organizzati in formato vettoriale (*shapefile*) nel rispetto delle specifiche tecniche di riferimento.

L'insieme degli elementi geologici e geofisici così acquisiti, unitamente alle informazioni presenti nella letteratura ed ai risultati dei numerosi sopralluoghi effettuati nel territorio in studio, hanno permesso di ricostruire il modello geologico delle aree interessate dallo studio di microzonazione sismica.

Ad integrazione dei dati esistenti è stata progettata ed eseguita una specifica campagna di indagine.

Più in particolare sono state effettuate:

- n° 5 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU), spinte alla profondità di -20.00 m da p.c.; finalizzate alla definizione delle caratteristiche litologiche e geotecniche dei terreni;
- n° 3 prove penetrometriche con cono sismico e piezocono (SCPTU), spinte alla profondità di -30.00 m da p.c., finalizzate alla definizione delle caratteristiche litologiche e geotecniche dei terreni e dei valori di velocità delle onde di taglio;
- n° 30 misure di microtremore a stazione singola (HVSR), ai fini della definizione delle frequenze fondamentali dei terreni.

Il programma delle indagini è stato formalmente approvato dalla Regione Emilia-Romagna il data 06/12/2017.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2018	14 di 38

4. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

La base per uno studio di microzonazione sismica è la definizione, quanto più accurata possibile, del modello geologico del sottosuolo, cercando di individuare come varia la successione stratigrafica all'interno delle aree in esame e a che profondità si possa trovare il substrato rigido.

A tale scopo, per il territorio in questione, sono stati esaminati e confrontati tra loro tutti i dati geognostici raccolti, oltre a differenti cartografie tematiche, con scale di diverso grado di dettaglio.

Rimandando al paragrafo 7.4 la descrizione specifica delle caratteristiche delle porzioni di territorio comunale oggetto del presente studio, di seguito ci si limita a proporre alcune considerazioni su come l'assetto geologico rilevato possa modificare il moto sismico in superficie e quali problematiche comporti per la determinazione degli effetti locali.

L'analisi della geologia di base è stata fatta consultando la cartografia geologica CARG alla scala 1:10.000 (Fig. 6).

 Studio di geologia <i>dott. Stefano Castagnetti</i>	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2018	15 di 38

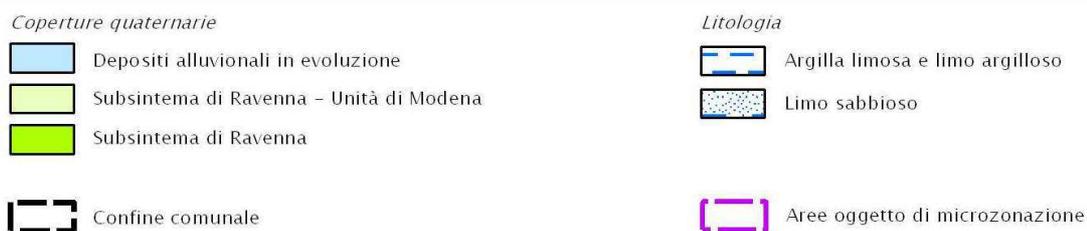
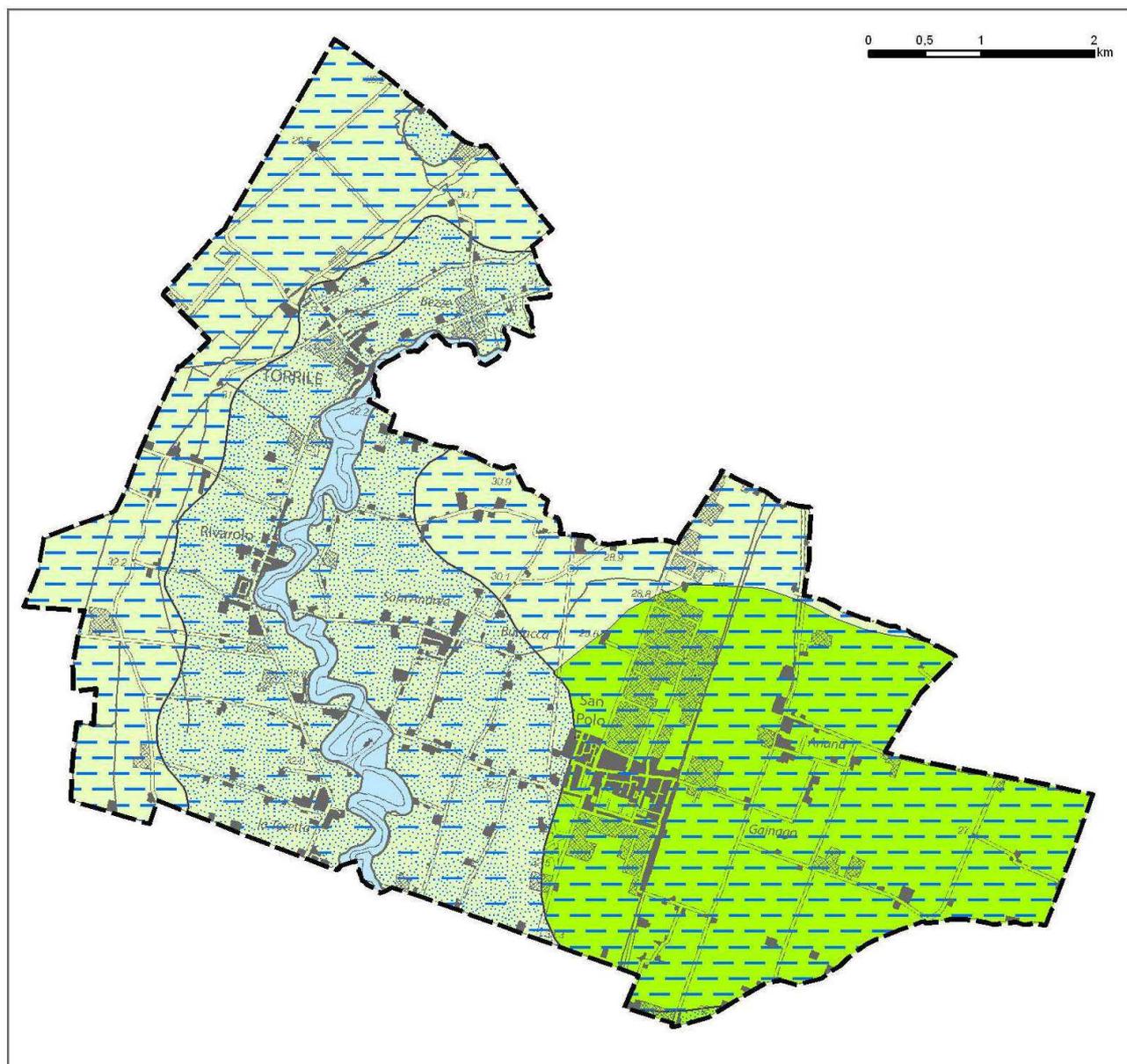


Fig. 6 – Cartografia geologica CARG

Le aree oggetto di microzonazione sono caratterizzate da una potente successione di depositi alluvionali, costituiti in superficie da limi sabbiosi nella fascia a cavallo del T. Parma e da argille limose nelle restanti porzioni del territorio. Si tratta di depositi appartenenti al Subsistema di Ravenna nel settore orientale e all'Unità di Modena in quello centrale e occidentale.

Nel complesso la fascia di bassa pianura in cui ricade il territorio in esame, è caratterizzata dalla presenza di una coltre superficiale di depositi prevalentemente fini (limi e argille), con presenza di sporadiche intercalazioni lenticolari sabbioso-limose di ridotto spessore.

Il primo livello sabbioso significativo si rinviene a profondità di -20÷25 metri nel settore meridionale del comune, sino a raggiungere -14÷15 metri di profondità in prossimità del limite settentrionale.

 Studio di geologia <i>dott. Stefano Castagnetti</i>	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2018	17 di 38

5. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

Come già indicato, il presente studio, oltre ad utilizzare una grande quantità di dati pregressi, ha previsto l'esecuzione di una nuova campagna d'indagini sismiche.

La caratterizzazione dei terreni è stata effettuata tramite la tecnica sismica passiva (tecnica dei rapporti spettrali) o HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*).

Per ciascuna prova è stato riportato il grafico del rapporto spettrale H/V naturale, in cui si possono osservare gli eventuali picchi caratteristici, in corrispondenza di determinate frequenze (Fig. 7).

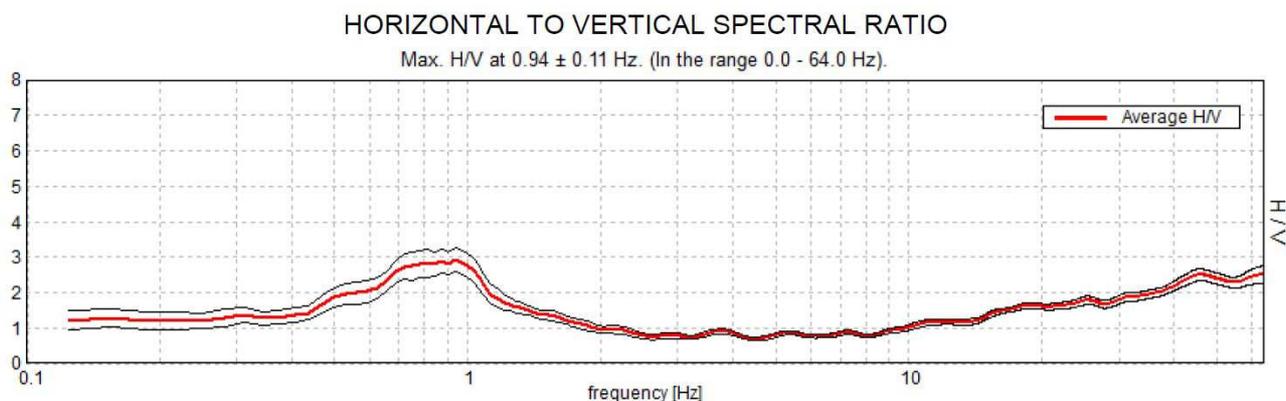
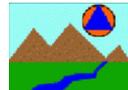


Fig. 7 – Esempio di curva H/V naturale della prova 034041P216HVSR216 eseguita nel settore occidentale dell'abitato di S. Polo.

Al fine di determinare la qualità delle singole misure HVSR effettuate e la loro relativa affidabilità, si è provveduto alla classificazione delle prove valutando, in accordo con i più recenti studi in materia, le caratteristiche dei fondamentali principi su cui si basa la tecnica di indagine a sismica passiva utilizzata.

Nello specifico si è proceduto all'analisi della durata complessiva delle singole registrazioni, utilizzando esclusivamente quelle capaci di produrre stime "robuste" del campo medio delle vibrazioni ambientali, soddisfacendo in tal senso i primi 3 criteri del progetto SESAME (linee guida 2005), relativi alla robustezza statistica del segnale. Inoltre, per ogni singola acquisizione è stato valutato l'andamento complessivo della curva H/V, prestando particolare attenzione, durante la fase di elaborazione, alla plausibilità fisica della curva stessa, verificabile attraverso l'individuazione di massimi caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale.

In fase di elaborazione, sfruttando le possibilità di analisi direzionale e temporale del software utilizzato (GRILLA® – Micromed), è stata valutata la stazionarietà temporale dei rapporti

 <p>Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti</p>	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2018	18 di 38

spettrali misurati, prestando inoltre particolare attenzione alle variazioni azimuthali di ampiezza, nel rispetto della condizione di isotropia del segnale

Quanto ai criteri delle linee guida SESAME 2005 relativi alla “chiarezza” del picco di possibile risonanza, in alcuni casi non risultano soddisfatti, in quanto le caratteristiche geologiche del territorio esaminato fanno sì che spesso, nelle curve H/V, non siano presenti picchi ben pronunciati.

 Studio di geologia <i>dott. Stefano Castagnetti</i>	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2018	19 di 38

6. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

Nella prima fase di lavoro, relativamente agli areali da sottoporre allo studio di Microzonazione Sismica, ovvero l'intero territorio urbanizzato ed urbanizzabile, sono stati acquisiti dati bibliografici e di archivio, sono stati condotti rilievi sul territorio ed è stata analizzata la cartografia geologica e geomorfologica disponibile.

Successivamente è stata eseguita una campagna di indagini geofisica, ai fini della definizione delle frequenze fondamentali dei terreni.

Gli elaborati prodotti in questa prima fase sono costituiti da:

- **Carta delle indagini (scala 1:10.00):** in tale cartografia sono riportate le indagini pregresse e quelle di nuova esecuzione; tutte le prove sono state classificate in base alla tipologia;
- **Carta geologico-tecnica (scala 1:10.00):** tale carta è stata derivata dalla revisione a scala dettagliata dei rilievi disponibili. In questa cartografia sono rappresentati gli elementi geologici e morfologici che possono modificare il moto sismico in superficie;
- **Carta delle frequenze naturali dei terreni (scala 1:10.00):** tale carta riporta i punti di misura e i risultati di indagini di sismica passiva (misure HVSR); in particolare, sono stati indicati il valore F_0 del picco significativo, corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale (frequenza principale) e, quando presente, di un secondo picco significativo (frequenza secondaria), meno evidente del primo (F_1). In entrambi i casi sono stati presi in considerazione solo i picchi ricadenti nell'intervallo di frequenza $0,1 \div 20\text{Hz}$;
- **Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (scala 1:10.00):** in questa cartografia sono indicate le aree in cui si ritiene necessario effettuare indagini e analisi di microzonazione sismica e i livelli di approfondimento ritenuti necessari, distinguendo tra zone suscettibili di instabilità, se presenti ove sono richiesti approfondimenti di terzo livello, e zone suscettibili di amplificazioni locali, oggetto di approfondimenti di secondo livello, all'interno delle vengono operate ulteriori distinzioni, identificando delle microzone omogenee, sulla base delle caratteristiche litostratimetriche.

La seconda fase del presente lavoro, la cui esecuzione ha seguito in continuità l'esecuzione della prima, ha portato alla Microzonazione Sismica del territorio comunale.

In questa fase sono stati prodotti i seguenti elaborati:

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2018	20 di 38

- **Carta delle velocità delle onde di taglio S (scala 1:10.000):** carte in sono ubicati tutti i punti di misura di Vs con indicazione, per ogni punto misura, del valore di Vs₃₀.
- **Carte di microzonazione sismica – Livello 2 (scala 1.10.000):** si tratta di carte in cui sono raffigurate le amplificazioni stimate, tramite procedure semplificate, per i vari settori di territorio in esame. L'amplificazione è stata quantificata sia in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA₀), sia di rapporto di Intensità di Housner (SI/SI₀), per prefissati intervalli di periodi (0,1-0,5s; 0,5 – 1s e 0,5-1,5 s). Per la definizione dell'amplificazione è previsto l'utilizzo delle tabelle e delle formule indicate nell'All. A2 degli Indirizzi regionali.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2018	21 di 38

7. ELABORATI CARTOGRAFICI

7.1 Carta delle indagini

Nella Carta delle indagini, alla scala 1:10.000, sono state riportate le ubicazioni delle prove di nuova esecuzione e dei dati pregressi, relativi a indagini geognostiche e/o geofisiche a corredo di pratiche edilizie depositate presso l'Ufficio Tecnico Comunale, oltre a quelle contenute nel database fornito dal Servizio Geologico Regionale.

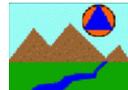
Esse sono state distinte in base alla tipologia (Fig. 8).

	Sondaggio a carotaggio continuo
	Prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)
	Prova penetrometrica statica con piezocono (CPTU)
	Prova penetrometrica con cono sismico e piezocono (SCPTU)
	Prova penetrometrica dinamica media (DN)
	Pozzo per acqua
	Stazione microtremore a stazione singola (HVSr)
	Prova di carico con piastra (PLT)
	MASW
	Prova REfraction Microtremors

Fig. 8 – Legenda della Carta delle indagini

Nella carta sono indicate anche alcune indagini esterne ai perimetri del territorio urbanizzato e urbanizzabile, ove sono state concentrate le analisi, ma ugualmente utili a definire le sue caratteristiche litostratigrafiche.

I dati contenuti del DataBase geognostico della Regione Emilia-Romagna e la ricerca effettuata presso l'archivio dell'Ufficio Tecnico Comunale ha consentito di acquisire le seguenti indagini (Tab. 3):

 <p>Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti</p>	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2018	22 di 38

TIPOLOGIA INDAGINI	numero
Prove penetrometriche statiche (CPT)	64
Prove penetrometriche dinamiche medie	45
Pozzi per acqua	79
Sondaggi a carotaggio continuo	3
Prove di carico su piastra	1
MASW	11
RE.MI.	7
Stazione microtremore a stazione singola (HVSr)	2

Tab. 3 – indagini acquisite presso l’Ufficio Tecnico Comunale e DB geognostico RER

Come ricordato in precedenza, ad integrazione di tali dati, è stata progettata ed eseguita una specifica campagna di indagine costituita dalle seguenti prove (Tab. 4):

TIPOLOGIA INDAGINI	numero
Prove penetrometriche con piezocono (CPTU)	5
Prove pen. con piezocono e cono sismico (SCPTU)	3
Stazione microtremore a stazione singola (HVSr)	30

Tab. 4 – indagini di nuova esecuzione (campagna 2017-2018)

7.2 Carta geologico-tecnica

Nella Carta geologico-tecnica sono state riportate le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche, geotecniche e idrogeologiche) derivate da elaborati esistenti e da indagini geognostiche pregresse (Fig. 9).

 <p>Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti</p>	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2018	23 di 38



Fig. 9 – Legenda della Carta geologico tecnica

Questi dati hanno consentito di definire il modello di sottosuolo e sono risultate funzionali alla realizzazione delle Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (Livello 1), che saranno descritte nel successivo paragrafo 7.4.

Nel presente studio, per la stesura della Carta geologico tecnica, si è fatto riferimento, in particolare, alla seguente documentazione, opportunamente verificata mediante sopralluoghi di campagna:

- elaborati del Quadro Conoscitivo dei vigenti strumenti urbanistici comunali (PSC-RUE-POC);
- “Carta Geologica d’Italia” alla scala 1: 50.000, Foglio 181 “*Parma Nord*” e Foglio 182 “*Guastalla*” realizzati secondo le normative del Progetto CARG;
- Carta Geologica di Pianura dell’Emilia-Romagna, alla scala 1:250.000, realizzata dalla Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli Regione della Emilia-Romagna;
- indagini puntuali, per la descrizione delle quali si rimanda al precedente paragrafo (7.1).

Allo scopo di migliorare la comprensione del modello geologico locale nelle Figg. 11 – 12, sono proposte delle sezioni geologiche orientate trasversalmente ai principali elementi strutturali (cfr. rappresentazione planimetrica delle tracce riportata in Fig. 10).

 <p>Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti</p>	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2018	24 di 38

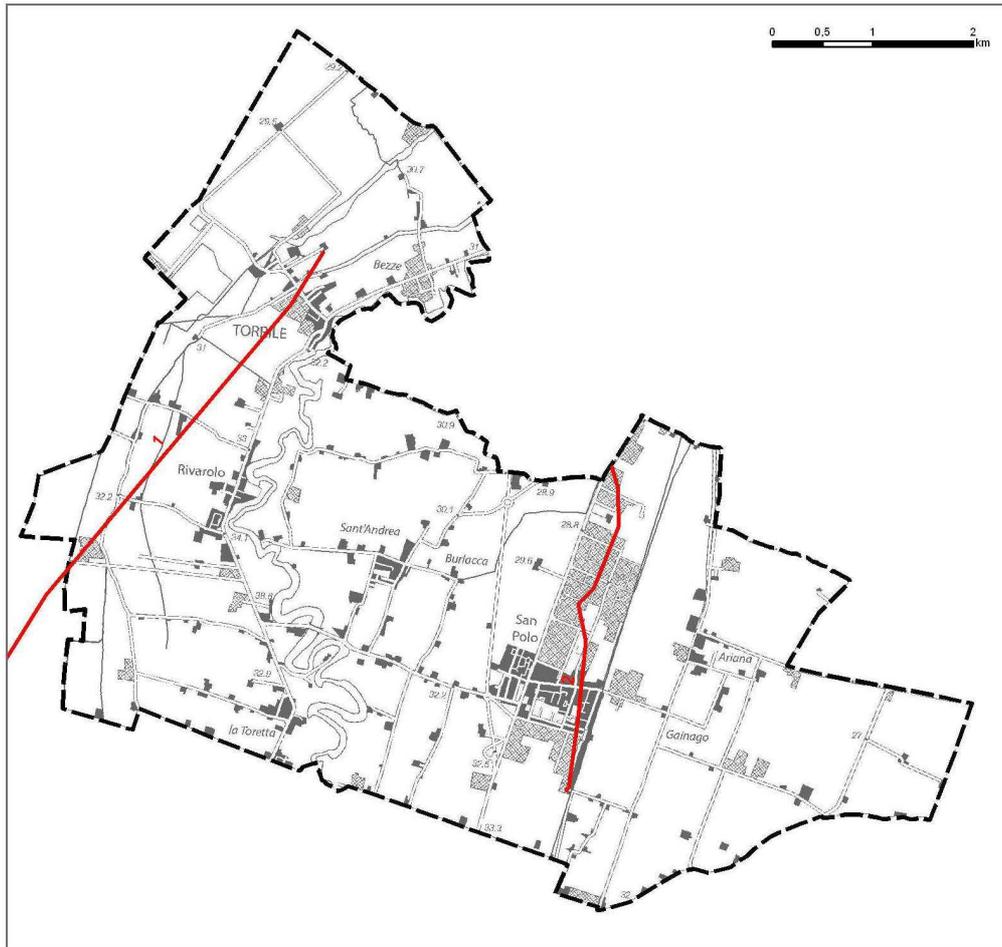


Fig. 10 – Rappresentazione planimetrica delle tracce delle sezioni

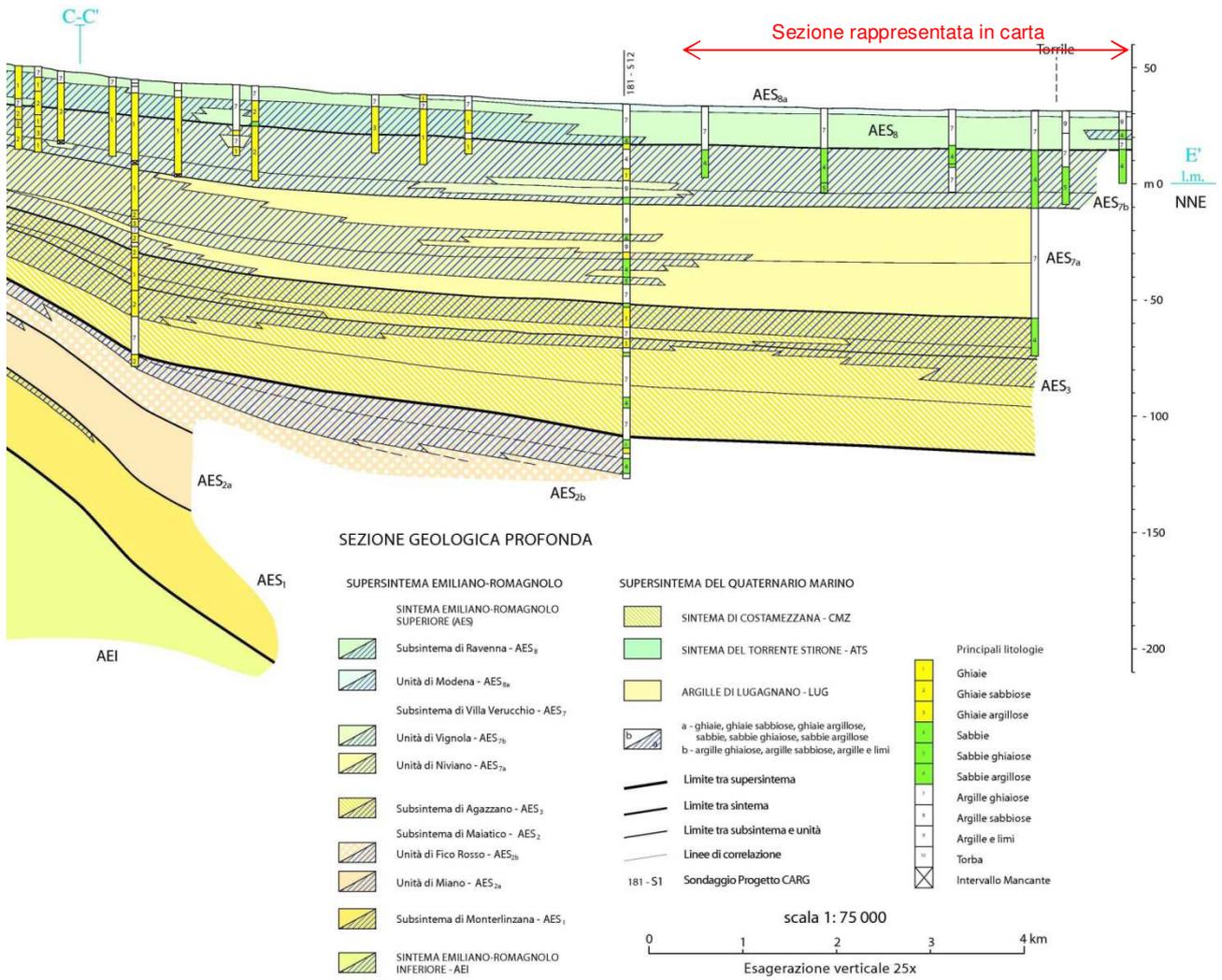


Fig. 11 – Stralcio della Sezione Geologica n. 88 (Fonte: “*Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna*”). Traccia identificata nella carta geologico-tecnica con ID n. 1.

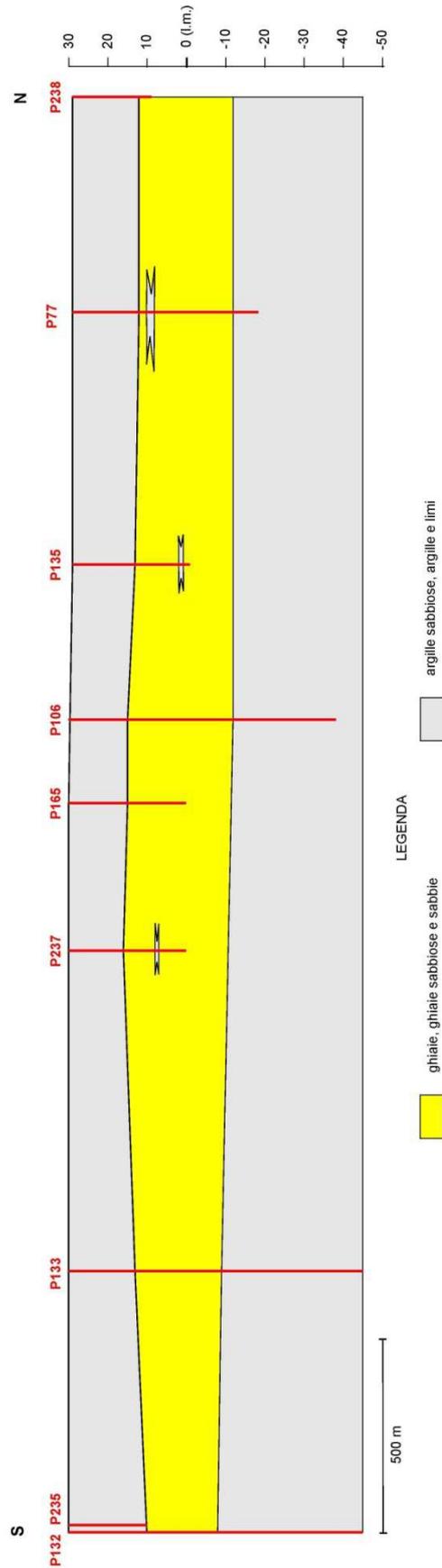


Fig. 12 – Traccia della sezione identificata nella carta geologico-tecnica con ID n. 2

Dall'esame di tali sezioni si osserva che il sottosuolo del territorio, in estrema sintesi, presenta le seguenti caratteristiche:

- il Sintema Emiliano-Romagnolo Sup. è costituito dalla sovrapposizione di cicli deposizionali di spessore pluridecamentrico, composti da una porzione fine (limi, argille e localmente sabbie) ed una grossolana costituita da sabbie prevalenti. Questa ciclicità riflette una variazione dell'energia deposizionale fluviale, che aumenta con la sedimentazione grossolana e diminuisce con la fine.
- La disattivazione dei sistemi fluviali avviene bruscamente proprio al tetto dei depositi sabbiosi più continui arealmente e, spesso, si manifesta con la presenza di argille ricche di sostanza organica, che costituiscono la base del ciclo con trend trasgressivo-regressivo. Al di sopra di esse seguono depositi fini di tracimazione fluviale, in cui le sabbie di canale sono presenti come corpi lenticolari. Superiormente la sedimentazione sabbiosa aumenta e la parte terminale del ciclo è data dalla massima espansione della sedimentazione sabbiosa;
- La base del primo ciclo sedimentario (Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore - AES) si colloca alla profondità di 200÷250 m dal p.c. ed è caratterizzato dall'alternanza di livelli fini e livelli sabbiosi, quest'ultimi aventi potenza decamentrica;
- Approfondimento ancora più elevato si ha per la base del secondo ciclo sedimentario (Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore - AEI) che raggiunge profondità di oltre 400 m dal p.c.;
- Al di sotto del potente pacco di depositi alluvionali, il substrato marino pleistocenico è costituito da depositi sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi di ambiente costiero, che ricopre a sua volta la formazione delle Argille Azzurre;
- La sezione di Fig. 11 evidenzia che il sistema deposizionale alluvionale che caratterizza l'intero areale, è costituito in superficie da depositi riconducibili al dominio della piana alluvionale dei fiumi appenninici, mentre il dominio della piana a meandri del F. Po risulta sepolto e limitato entro fascia di 6÷7 km a sud dall'attuale corso del fiume. Oltre tale distanza, settore meridionale del territorio comunale, i depositi sabbioso-ghiaiosi riflettono la transizione tra sistema padano e sistemi appenninici.

Nelle Carta geologico tecnica sono rappresentate le caratteristiche litologiche dei terreni presenti nei primi 5 metri di profondità dal p.c., classificati sulla base della tessitura prevalente. Dovendo attenersi agli standard di rappresentazione dettati dagli SRAI, gli areali oggetto di

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2018	28 di 38

microzonazione sismica sono caratterizzati da una sedimentazione avvenuta in ambiente di piana inondabile e rientrano nella seguente classe:

- **CL** – *Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre.*

Infine nella Carta geologico-tecnica sono stati indicati i pozzi e i sondaggi profondi con riportate le relative profondità, costituiti da perforazioni che non hanno raggiunto il substrato rigido. Inoltre sono stati riportati i valori di soggiacenza della falda freatica, necessari alla eventuale definizione delle zone potenzialmente instabili per fenomeni liquefazione.

7.3 Carta delle frequenze naturali dei terreni

Sulla base di tutti i dati tomografici disponibili, sia contenuti negli archivi comunali, sia di nuova acquisizione, è stata redatta la Carta delle frequenze naturali dei terreni a scala 1:10.000.

Si tratta di una carta derivata dalle indagini speditive di sismica passiva (HVSR sulle vibrazioni ambientali). In questa carta sono stati riportati tutti i punti di misura, con associato il risultato della prova (valore di F_0 del picco significativo a più bassa frequenza corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale e di eventuali altri picchi significativi a più alta frequenza) (Fig. 13).

Le misure sono state suddivise in classi sulla base delle frequenze ($F_0 \leq 0,6$ Hz; $0,6 < F_0 \leq 1$ Hz; $1 < F_0 \leq 2$ Hz; $2 < F_0 \leq 8$ Hz; $F_0 > 8$ Hz) e dell'ampiezza del picco che individua contrasti di impedenza elevati (picco HVSR > 3), alti (picco $2 \leq$ HVSR < 3) o modesti (picco $1,5 \leq$ HVSR < 2). L'intervallo di frequenze considerato è compreso tra 0,2 – 20 Hz.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2018	29 di 38

frequenza picco significativo (Hz)	ampiezza picco			spessore atteso (m)
	$1,5 \leq \text{HVSr} < 2$	$2 \leq \text{HVSr} < 3$	$\text{HVSr} \geq 3$	
$F_0 \leq 0,6$				> 200
$0,6 < F_0 \leq 1$				200 - 100
$1 < F_0 \leq 2$				100 - 30
$2 < F_0 \leq 8$				30 - 10
$F_0 > 8$				< 10
Assenza di picchi significativi				

A lato del simbolo sono riportate la frequenza relativa al primo picco significativo (in rosso) e al secondo picco (in blu) se presente

Fig. 13 – Legenda della carta delle frequenze naturali dei terreni

Nel complesso le misure hanno evidenziato che gran parte del territorio comunale è caratterizzato da frequenze naturali dei terreni generalmente comprese tra 0,8 e 0,95 Hz, con ampiezza dei picchi H/V quasi sempre compresi tra 2 e 3 (alto contrasto di impedenza). Solo in prossimità dell'estremità meridionale del territorio si sono registrati picchi a frequenze leggermente superiori pari a 1,0÷1,2 Hz.

Tali picchi di frequenza possono essere correlati al contrasto di impedenza generato dal banco sabbioso presente a profondità di 90÷100 m da p.c., appartenente al Subsistema di Agazzano (Fig. 11).

Viceversa le indagini tomografiche effettuate non hanno evidenziato nelle curve H/V picchi associabili a netti contrasti di impedenza al passaggio tra argille e primo livello di sabbie. Infatti anche nei profili di velocità delle onde di taglio delle indagini eseguite non sono presenti netti aumenti di velocità.

7.4 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica

La Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS), rappresenta il documento fondamentale del primo livello di approfondimento.

In questa cartografia il territorio in esame viene distinto a seconda dell'appartenenza ad una delle seguenti 3 categorie:

 <p>Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti</p>	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2018	30 di 38

1. **zone stabili.** Si tratta di zone con affioramento di un substrato rigido e morfologia pianeggiante o poco acclive, nelle quali non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura e in cui non sono richiesti ulteriori approfondimenti. Questa categoria non è presente sul territorio indagato.
2. **zone stabili suscettibili di amplificazioni locali.** Si tratta di aree in cui sono attese amplificazioni del moto sismico, causate dall'assetto litostratigrafico e/o morfologico locale. All'interno di queste aree si è operata una ulteriore distinzione sulla base delle caratteristiche litostratigrafiche, identificando profili stratigrafici tipo ai quali possono essere ricondotti gli areali esaminati. In queste zone sono richiesti approfondimenti di secondo livello.
3. **zone di attenzione per l'instabilità.** Si tratta di zone nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti, oltre i fenomeni di amplificazione, sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio, quali instabilità per liquefazioni e densificazione. E' bene precisare che in questo primo livello di approfondimento non possono essere ancora classificate come zone effettivamente instabili, fintanto che non vengano esperiti i necessari approfondimenti di tipo quantitativo. In queste zone pertanto sono richiesti approfondimenti di terzo livello. In particolare devono essere considerate come zone di attenzione per instabilità da liquefazione, le aree caratterizzate dalla presenza di quattro condizioni predisponenti:
 - a) terreni sabbiosi presenti nei primi 15 m di profondità
 - b) falda a profondità inferiore a 15 m
 - c) Mw attesa al sito >5
 - d) Accelerazioni massime in superficie (pga) >0.1g.

Di seguito vengono descritte le microzone omogenee individuate.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2018	31 di 38



Fig. 14 – Legenda della carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)

ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI LOCALI

Queste zone caratterizzano tutte le aree oggetto di studio, in quanto le successioni stratigrafiche sono costituite da un livello superficiale limo-sabbioso di ridotto spessore (1÷2 metri) che ricopre uno spesso orizzonte di depositi argillosi e argilloso-limosi con sporadiche e sottili intercalazioni limo-sabbiose, a sua volta sovrapposto ad un banco sabbioso di spessore compreso tra 20 e 25 metri.

In particolare sono state distinte due tipologie di zone sulla base dello spessore dell'orizzonte superficiale fine:

- Zona 1 (cod. 2001): spessore copertura fine compresa tra 14 e 20 metri (Fig. 15). Caratterizza quasi tutte le aree oggetto di microzonazione sismica, con una tendenza alla riduzione di spessore della copertura fine spostandosi verso l'estremità settentrionale del territorio comunale;
- Zona 2 (cod. 2002): spessore copertura fine di 24÷25 metri (Fig. 16). Caratterizza la sola area di Vicomero, situata all'estremità sud-occidentale del territorio comunale.

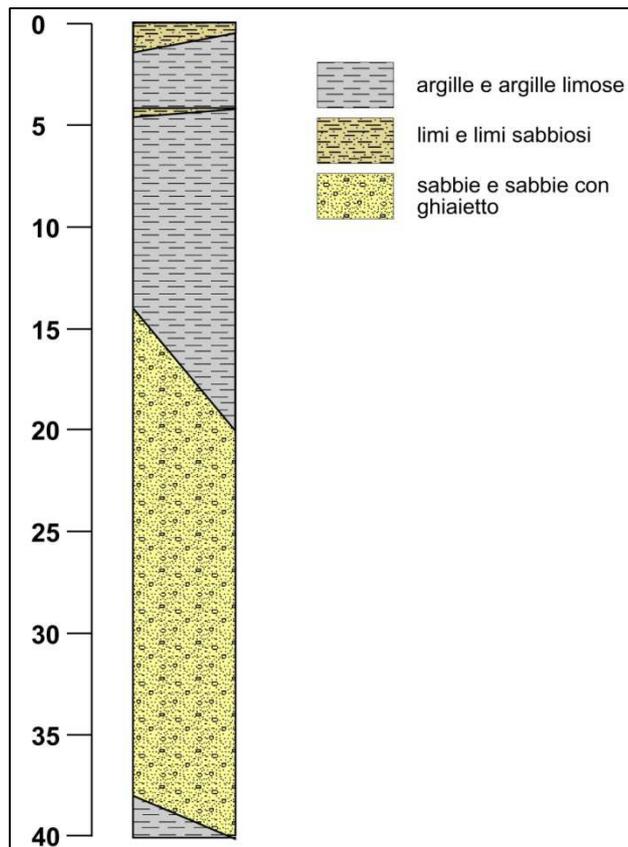


Fig. 15 – Successione stratigrafica cod. 2001

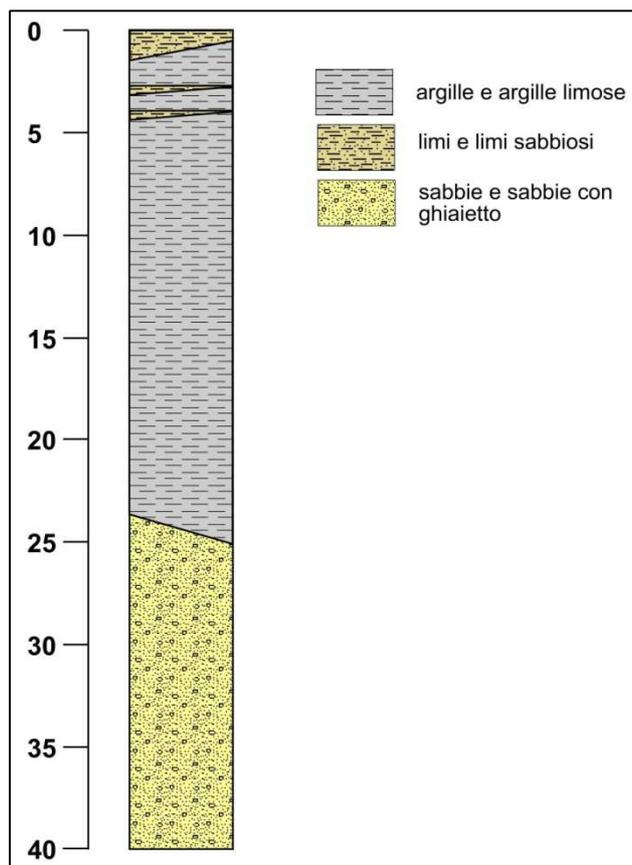


Fig. 16 – Successione stratigrafica cod. 2002

ZONE DI ATTENZIONE PER L'INSTABILITA'

La presenza di una spessa copertura argillosa e limo-argillosa, la cui continuità è stata accertata sino a profondità generalmente superiori a -14.00 m da p.c., senza interposizione di significativi livelli sabbiosi o limo-sabbiosi, ha permesso di escludere il verificarsi di fenomeni di liquefazione dei depositi sabbiosi.

Pertanto non sono state individuate zone potenzialmente soggette ad instabilità.

7.5 Carta delle velocità delle onde di taglio S

Nella Carta delle velocità delle onde di taglio S sono stati riportati i punti di misura di Vs con indicazione del valore in m/s di Vs₃₀.

 <p>Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti</p>	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2018	34 di 38

Non sono stati indicati valori di V_{sH} in quanto si è ipotizzato che il substrato rigido sia localizzato a profondità maggiori di 50 metri, in quanto nelle misure HVSR non sono stati riscontrati picchi H/V significativi nel range delle medie frequenze.

Sono state altresì distinte le misure di V_s sulla base della tecnica impiegata: MASW, RE.MI., cono sismico (SCPTU) e interpretazione di misure di microtremori a stazione singola (Fig. 17).

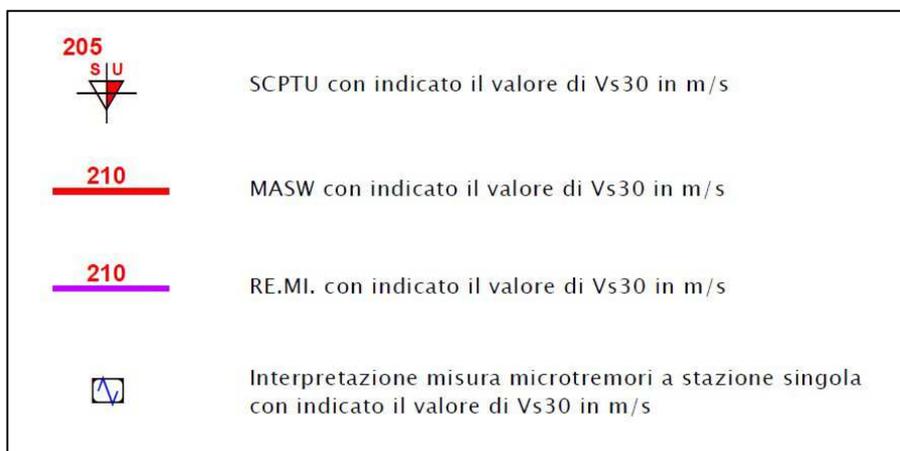


Fig. 17 – Legenda della carta delle velocità delle onde di taglio S

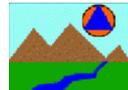
Per la stesura di questa carta sono state utilizzate le indagini reperite nell'archivio comunale (MASW, RE.MI.), allegate a pratiche edilizie e le indagini geofisiche di nuova esecuzione realizzate a supporto del presente studio di microzonazione sismica.

Facendo riferimento in particolare ai risultati delle indagini di nuova esecuzione, dalle cartografie è possibile osservare valori di V_{s30} che risultano ricompresi nel range 205÷215 m/s.

7.6 Microzonazione Sismica – Livello 2

Attraverso la microzonazione sismica di Livello 2 è stata effettuata la stima dell'amplificazione tramite procedure semplificate (utilizzo di abachi e formule), possibile laddove l'assetto geologico è assimilabile ad un modello fisico monodimensionale.

L'amplificazione è stata quantificata in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA_0) e di rapporto di Intensità spettrale o di Housner (SI/SI_0) per prefissati intervalli di periodi ($0.1s < T_0 < 0.5s$, $0.5s < T_0 < 1.0s$ e $0.5s < T_0 < 1.5s$), dove PGA_0 e SI_0 sono rispettivamente l'accelerazione massima orizzontale e l'Intensità di Housner al suolo di riferimento e PGA e SI sono le corrispondenti grandezze calcolate alla superficie dei siti esaminati.

 <p>Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti</p>	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2018	35 di 38

Per la definizione dell'amplificazione sono state utilizzate le tabelle e le formule indicate dell'Allegato A2 degli indirizzi regionali (DGR 2193/2015).

Più in particolare per le aree in oggetto è stata impiegata la tabella degli indirizzi regionali denominata "Pianura 2", definita come settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m da p.c. e dal tetto del substrato rigido a circa 150 m da p.c..

Pertanto i fattori di amplificazione sismica rispetto ad un suolo di riferimento sono stati ottenuti impiegando la Tab. 5:

$V_{s30}(m/s) \rightarrow$	150	200	250	300	350	400
F.A. PGA	1.7	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5
F.A. SI1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6
F.A. SI2	3.1	3.0	2.7	2.4	2.1	2.0
F.A. SI3	3.6	3.3	2.9	2.5	2.2	2.0

Tab. 5 – Tabella da utilizzare per la stima di F.A., in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA_0) e Intensità di Housner (SI/SI_0), nel caso di profilo stratigrafico tipo PIANURA 2 (da Allegato 2 degli indirizzi regionali)

Dal momento che il territorio in studio ricade in un contesto di pianura non sono stati considerati fattori di amplificazione per motivi topografici.

A tutte le zone individuate nelle carte delle MOPS, è stato associato un valore di riferimento V_{s30} ricadente nella classe di 200 m/s.

Utilizzando la tabella "Pianura 2" dell'Allegato 2 degli indirizzi regionali, i fattori di amplificazione (F.A.) per gli areali oggetto di microzonazione sono riportati nella Tab. 6:

	Zona 2001	Zona 2002
F.A. P.G.A.	1,7	1,7
F.A. I_s ($0.1s < T_0 < 0.5s$)	2,0	2,0
F.A. I_s ($0.5s < T_0 < 1.0s$)	3,0	3,0
F.A. I_s ($0.5s < T_0 < 1.5s$)	3,3	3,3

Tab. 6 – valori dei Fattori di Amplificazione sismica

8. COMMENTI FINALI E CRITICITÀ

Innanzitutto, va precisato che il presente studio presenta carattere sperimentale, trattandosi ancora di una delle prime applicazioni, in un contesto territoriale quale quello indagato, di microzonazione sismica mediante l'applicazione dei criteri contenuti negli ICMS e negli indirizzi regionali.

Del resto, nei capitoli precedenti, è stato ampiamente evidenziato come l'assetto geologico delle aree indagate sia tale per cui la risposta sismica locale risulti condizionata da vari fattori, spesso di non facile definizione, con le informazioni litostratigrafiche e sismiche, sia già disponibili che reperibili a costi sostenibili, primo fra tutti, la definizione della profondità del *bedrock sismico* (sequenza litostratigrafica caratterizzata da una velocità delle onde di taglio V_s maggiore o uguale a 800 m/s).

Ciononostante, per l'intero territorio urbanizzato e urbanizzabile, è stato possibile effettuare, una microzonazione del territorio con attribuzione dei fattori di amplificazione.

Questi risultano di egual valore sia in termini di PGA, che di I.S. per tutti gli areali oggetto di microzonazione, in quanto le caratteristiche del sottosuolo non evidenziano differenze tali da modificare la risposta sismica locale in modo significativo.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2018	37 di 38

9. ELABORATI

Nel corso dello studio sono stati redatti i seguenti elaborati grafici (tutti alla scala 1:10.000):

- Carta delle indagini
- Carta geologico tecnica
- Carta delle frequenze naturali dei terreni
- Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica
- Carta delle velocità delle onde di taglio S (V_s)
- Carta di microzonazione sismica Livello 2 - FA_{PGA}
- Carta di microzonazione sismica Livello 2 – $FA_{IS\ 0,1 - 0,5\ s}$
- Carta di microzonazione sismica Livello 2 - $FA_{IS\ 0,5 - 1,0\ s}$
- Carta di microzonazione sismica Livello 2 - $FA_{IS\ 0,5 - 1,5\ s}$

Al termine dello studio, come richiesto dalla Regione Emilia-Romagna, è stata prodotta una cartografia di sovrapposizione tra gli elementi schedati nell'Analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (CLE) e le risultanze della MS (Livello 2 – $FA_{IS\ 0,1 - 0,5\ s}$).

 Studio di geologia <i>dott. Stefano Castagnetti</i>	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Marzo 2018	38 di 38