

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

# MICROZONAZIONE SISMICA

## Relazione illustrativa

Regione Emilia-Romagna

Comune di Collecchio



Regione	Soggetto realizzatore	Data
<b>EMILIA-ROMAGNA</b>	<b>Dott. geol. Stefano Castagnetti</b>  Dott. Marco Baldi (collaboratore) ENGEO srl (collaborazione MS3)	<b>LUGLIO 2017</b> <b>Aggiornamento gennaio 2018</b>

# INDICE

1.	INTRODUZIONE .....	1
2.	DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO.....	3
2.1	Inquadramento tettonico.....	3
2.2	Caratteristiche sismotettoniche .....	7
2.3	Storia sismica .....	9
2.4	Classificazione sismica comunale .....	11
3.	DATI GEOTECNICI E GEOFISICI .....	14
4.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	15
5.	INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE .....	20
6.	METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI.....	22
7.	ELABORATI CARTOGRAFICI .....	24
7.1	Carta delle indagini.....	24
7.2	Carta geologico-tecnica.....	26
7.3	Carta delle frequenze naturali dei terreni .....	31
7.4	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica.....	35
7.5	Carta delle velocità delle onde di taglio S .....	48
7.6	Carta di microzonazione sismica .....	50
8.	APPROFONDIMENTI DI TERZO LIVELLO .....	57
8.1	Area considerata .....	57
8.2	Risposta sismica locale.....	57
9.	COMMENTI FINALI E CRITICITÀ.....	74
10.	ELABORATI .....	76

## 1. INTRODUZIONE

Nella presente Relazione illustrativa vengono descritte le attività svolte e i risultati ottenuti nel corso dello Studio di microzonazione sismica di Livello 2 con locali approfondimenti di Livello 3 e analisi della Condizione Limite per l'emergenza del Comune di Collecchio – Provincia di Parma, effettuato su incarico del Comune di Collecchio (Determinazione Dirigenziale n° 538 del 25/10/2016) e finanziato con contributi derivanti dall'OCDPC n° 293/2015 “Contributi per gli interventi di prevenzione del rischio sismico per l'annualità 2014” e dalla DGR n° 573/2016 e assegnati con Determinazione Dirigenziale n° 17050 del 2.11.2016.

Gli studi di Microzonazione Sismica (MS) 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 Microzonazione Sismica 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.

Il Comune di Collecchio è dotato di uno studio di Microzonazione Sismica di primo livello realizzato nel febbraio 2012 dallo scrivente professionista e finanziato con i contributi di cui alla OPCM 3907/2010 e D.G.R. 1051/2011. Tale studio è stato validato dalla riunione della Commissione Tecnica per il monitoraggio degli studi di microzonazione sismica del 20 marzo 2013 e certificato dalla Regione Emilia-Romagna con protocollo PG.2013. 0081145 del 29.03.2013.

Nel corso del presente lavoro è stato realizzato il secondo livello di approfondimento ed è stato eseguito un locale approfondimento di terzo livello in corrispondenza di un areale nel Capoluogo di particolare interesse strategico, individuato di concerto con i responsabili del Servizio Urbanistica del Comune di Collecchio, in quanto vi ricade la sede del COM, la sede dell'Assistenza Volontaria di Collecchio - Felino - Sala Baganza, i plessi scolastici della scuola primaria e della secondaria di primo grado, il Palazzetto dello sport “Leoni”, la palestra comunale “Ori”. Inoltre vi è la previsione di un'importante futura trasformazione urbanistica con la delocalizzazione a nord dei campi sportivi e l'edificazione di strutture di pubblico interesse.

 <p>Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti</p>	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Luglio 2017 aggiornamento Febbraio 2018	1 di 76

A seguito di richiesta del DPC pervenuta in data 15.12.2018 si è provveduto ad estendere l'area oggetto di microzonazione sino a ricomprendere i poligoni oggetto di MS di livello 1 validato nell'ambito dell'Ordinanza 3907. Inoltre nello shapefile "Ind\_pu" sono riportate tutte le indagini eseguite nell'area oggetto del citato studio di MS1.

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

- criteri per la realizzazione degli studi di microzonazione sismica e analisi della condizione limite per l'emergenza, di cui all'Ordinanza del Capo dipartimento della protezione civile n. 293/2015 e Decreto del Capo dipartimento della protezione civile del 14 dicembre 2015 (DGR 573/2016 Allegato A2);
- "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");
- "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 A della Deliberazione della Giunta Regionale 21 dicembre 2015, n. 2193: "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".

Le aree oggetto di MS presentano una superficie di circa 1.550 Ha, corrispondente a circa il 26,2% dell'intero territorio comunale, su cui risiede la quasi totalità dei residenti del Comune di Collecchio.

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).

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Luglio 2017 aggiornamento Febbraio 2018	2 di 76

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

### 2.1 Inquadramento 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).

In particolare nel settore di pianura sono presenti due archi di accavallamenti (Fig. 1), in gran parte sepolti, sviluppati con orientamento NO-SE. Si tratta di gruppi di strutture anticlinaliche, associate a piani di scollamento ed accavallamento (*thrust*) immergenti generalmente verso SO con inclinazioni comprese tra 20° e 30°, separati da ampie zone sinclinaliche fortemente subsidenti.

Il primo arco è impostato in corrispondenza dell'attuale margine morfologico dell'Appennino, il secondo, più a settentrione, si estende dall'Appennino vogherese fino a Reggio Emilia sull'allineamento Cremona - Parma. L'arco di accavallamenti più meridionale è conosciuto nella letteratura geologica (PIERI & GROPPPI, 1982; BERNINI & PAPANI, 1987) con il nome di "Fronte di Sovrascorrimento Pedeappenninico" (*Pedeappenninic Thrust Front*, PTF); il secondo, più settentrionale, è conosciuto con il nome di "Fronte di Sovrascorrimento Esterno" (*External Thrust Front*, ETF) e costituisce l'arco di accavallamenti sepolti attualmente attivi nel Bacino Padano, come dimostrano i recenti terremoti.

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. Tale riempimento 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.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Luglio 2017 aggiornamento Febbraio 2018	3 di 76

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:

- **SUPERSINTEMA DEL QUATERNARIO MARINO** (affiorante nella fascia collinare)
- **SUPERSINTEMA 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 (Supersintemi) sono state distinte sequenze di rango inferiore, denominate Sintemi, delimitate da superfici di discontinuità indotte da 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).

Il Supersintema Emiliano-Romagnolo, è composto da due unità principali: una unità inferiore, detta "Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore" ed un'unità superiore detta "Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore", separate da una superficie di discontinuità stratigrafica, individuata in affioramento e seguita nel sottosuolo tramite l'interpretazione dei profili sismici.

Il contesto geodinamico locale in cui si sviluppa il Supersintema Emiliano-Romagnolo è quello di un bacino di *piggyback* adiacente all'avanfossa padana, allungato in senso SE – NO e limitato a tergo (SO) e sul fronte (NE) dai due archi di strutture compressive (rispettivamente PTF e ETF) fortemente attive. Fino a quando il sollevamento del margine appenninico determinato dal PTF risulta tale da continuare a produrre una forte subsidenza relativa del bacino di *piggyback* posto ai suoi piedi, in quest'ultimo persistono le condizioni per avere prevalente aggradazione sedimentaria. A questa fase corrisponde la deposizione dei sedimenti di piana e conoide alluvionale distale appartenenti al Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore.

Nel momento in cui diminuisce la subsidenza relativa del bacino di *piggyback*, come conseguenza del forte sollevamento regionale prodotto in corrispondenza dell'ETF, si determinano significativi spostamenti verso Nord del margine appenninico e quindi si assiste, allo sviluppo di depositi di conoide alluvionale, terrazzati. Quest'ultimi, nel loro insieme, costituiscono il Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Luglio 2017 aggiornamento Febbraio 2018	4 di 76

Il Supersistema Emiliano-Romagnolo giace in discordanza sul Supersistema Quaternario Marino, di età Pliocene superiore (?) - Pleistocene inferiore, il quale risulta costituito da terreni parali e marini, che si sono depositi al di sopra di una estesa superficie di discontinuità al termine di un evento di sollevamento tettonico di importanza regionale.

In prossimità della località Stradella (settore NE del territorio di Collecchio), la presenza della struttura anticlinale di Stradella (Fig. 2), appartenente al Fronte di Sovrascorrimento Esterno, innalza il substrato marino determinando una riduzione dello spessore dei sovrastanti depositi di origine alluvionale, la cui potenza raggiunge valori di 20÷25 m in corrispondenza della zona assiale.

A sua volta il Supersistema Quaternario Marino giace al di sopra della formazione delle Argille di Lugagnano (o Argille Azzurre), affioranti lungo i versanti in destra al F. Taro, deposte in un bacino profondo a sedimentazione torbida, compreso tra l'ambiente neritico inferiore e la piana batiale (Iaccarino & Papani, 1982), probabilmente corrispondente al settore interno dell'avanfossa pliocenica del fronte appenninico.

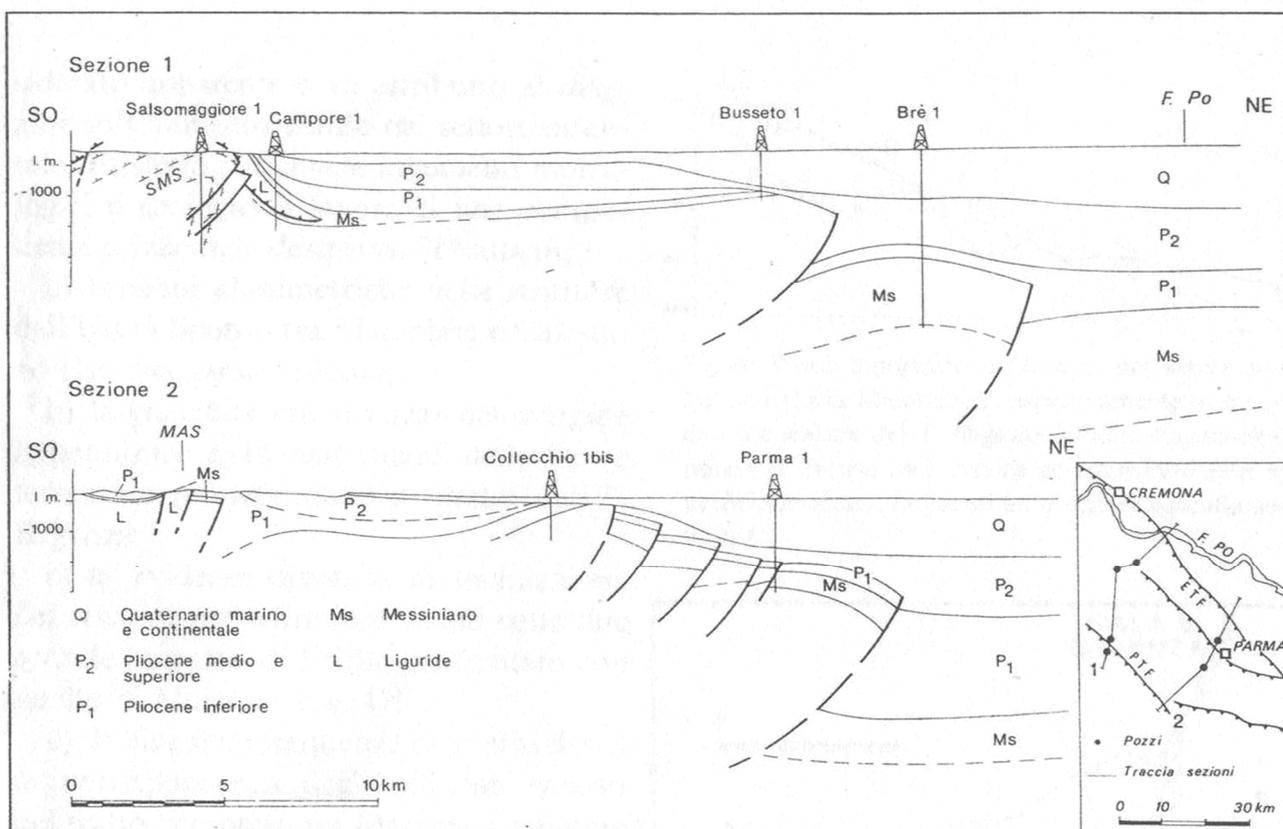


Fig. 1 – Sezioni geologiche (da Pieri e Groppi, 1981). SMS = Struttura di Salsomaggiore; MAS = Struttura di M. Ardone.

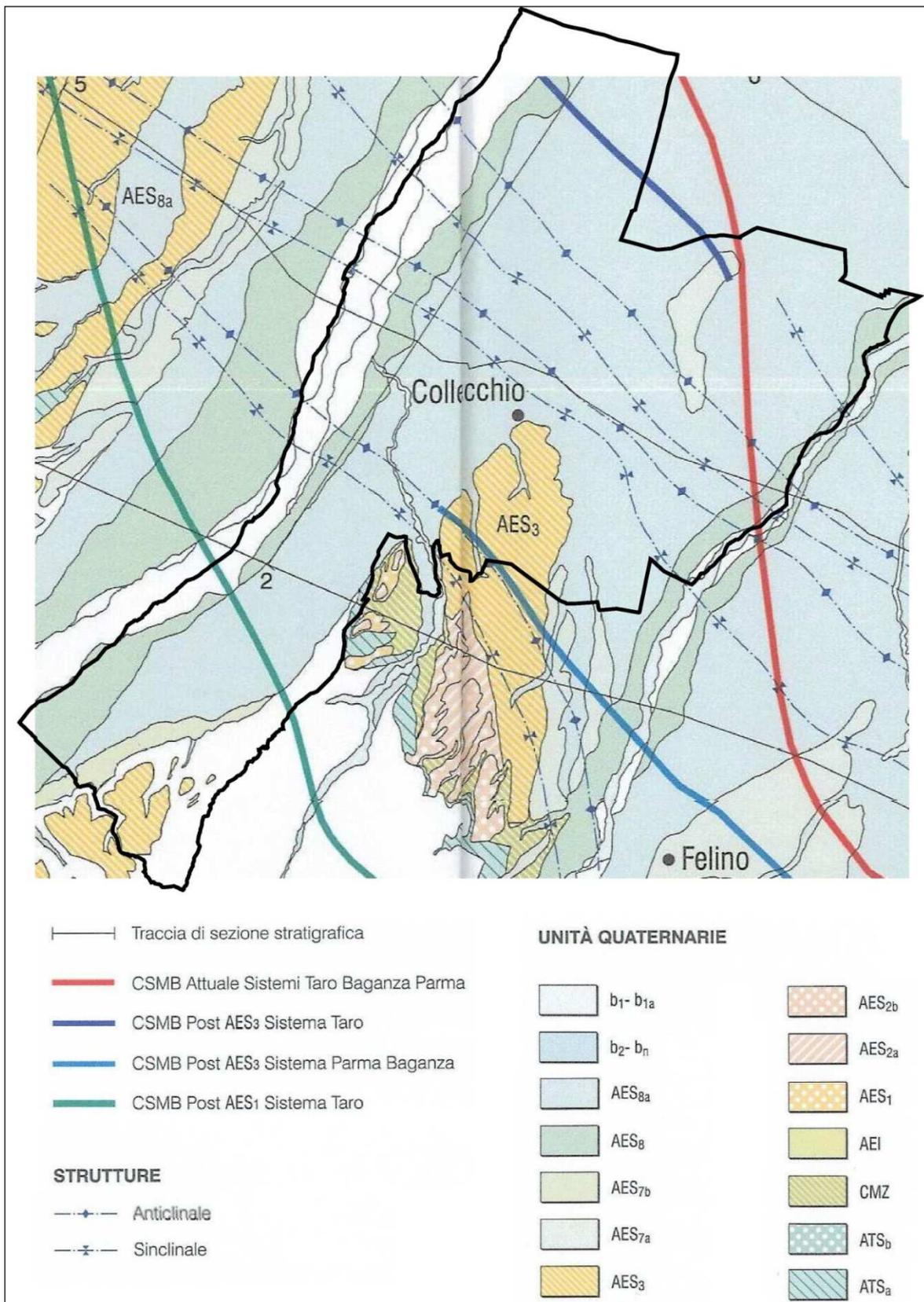


Fig. 2 – Schema geologico del territorio comunale (tratto da “Foglio geologico 199 Parma Sud – Carta Geologica d’Italia)

## 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 3.2.1, il database delle sorgenti sismogenetiche italiane, potenzialmente in grado di generare sismi con magnitudo superiore a M 5.5 nell'area Italiana<sup>1</sup>.

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
- **ITCS046 – Langhirano-Sassuolo**, con una magnitudo massima attesa Mw = 5.9
- **ITCS045 – S. Giorgio Piacentino – Fornovo di Taro** con una magnitudo massima attesa Mw = 5.5

<sup>1</sup> 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*.

 <b>Studio di geologia</b> dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Luglio 2017 aggiornamento Febbraio 2018	7 di 76

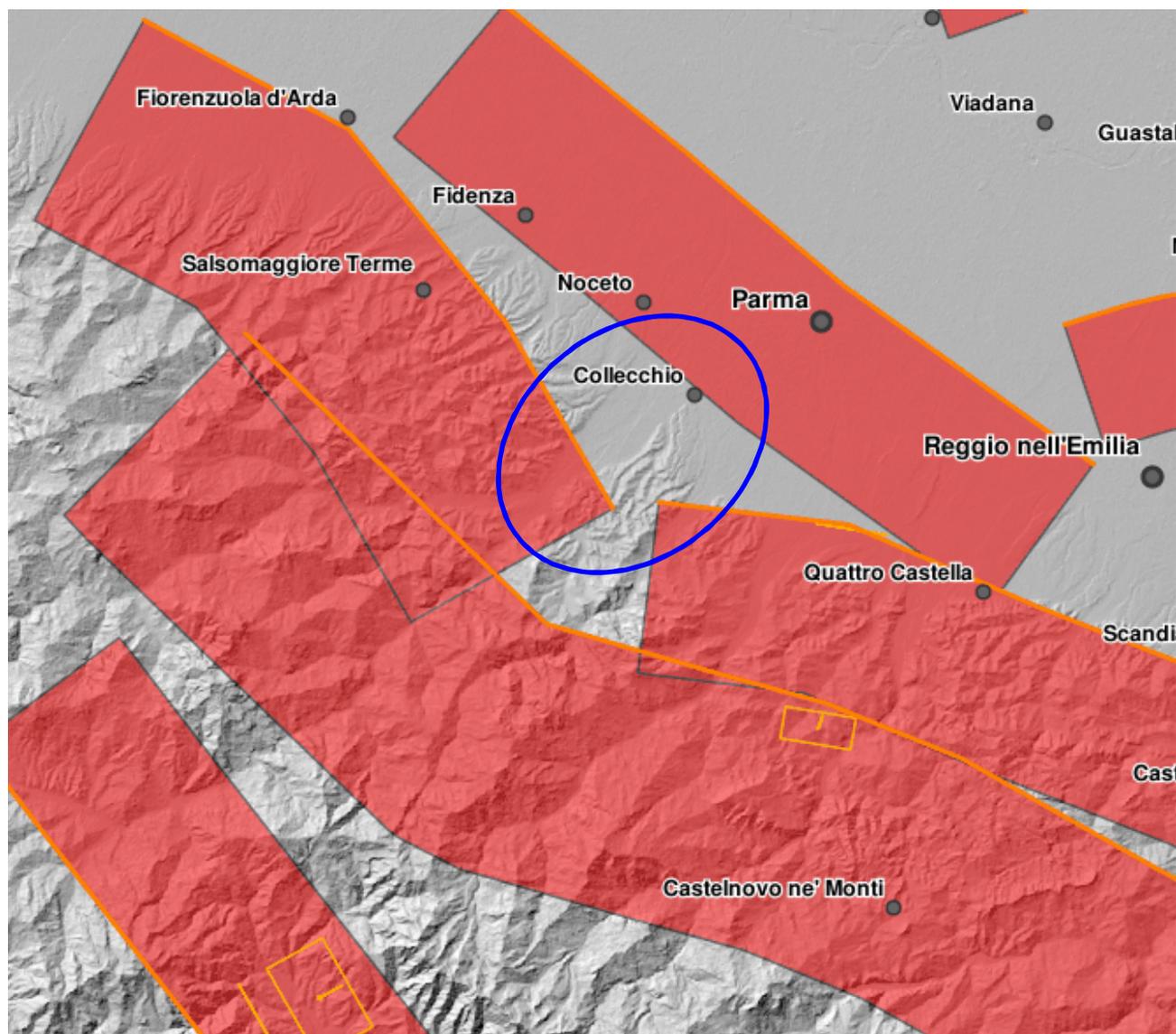


Fig. 3 – Ubicazione delle sorgenti sismogenetiche da DISS 3.2.0 <http://diss.rm.ingv.it/dissmap/dissmap.phtml>  
Il cerchio blu individua approssimativamente il territorio del Comune di Collecchio

## 2.3 Storia sismica

La storia sismica del Comune di Collecchio è stata desunta dal Database Macrosismico Italiano, versione DBMI15<sup>2</sup>, che contiene informazioni relative a 122.701 osservazioni macrosismiche dall'anno 1000 al 2014 riferite a circa 20.000 località, di cui 15213 italiane.

Secondo quanto riportato in DBMI15, la storia sismica di Collecchio è 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).

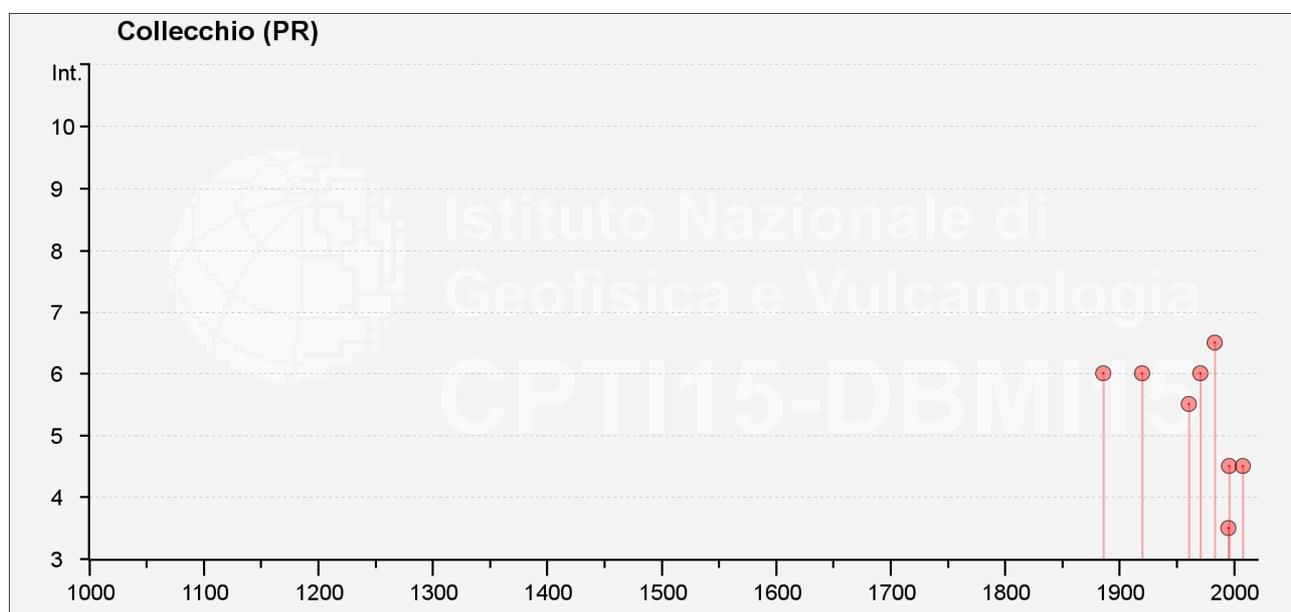


Fig. 4 – Eventi sismici di maggior intensità registrati nel Comune di Collecchio

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

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
6-7	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04
6	1886	10	15	02	20		Collecchio	44	6	4.70
6	1920	09	07	05	55	4	Garfagnana	750	10	6.53
6	1971	07	15	01	33	2	Parmense	228	8	5.51
5-6	1961	08	13	22	34	1	Parmense	22	5-6	4.37
4-5	1996	10	15	09	55	5	Pianura emiliana	135	7	5.38
4-5	2008	12	23	15	24	2	Parmense	291	6-7	5.36
F	1898	03	04	21	05		Parmense	313	7-8	5.37
3-4	1995	10	10	06	54	2	Lunigiana	341	7	4.82
2-3	1893	10	20	20	15		Appennino parmense	25	4-5	4.04
2	1996	12	16	09	09	5	Pianura emiliana	115	5-6	4.06
NF	1974	04	15	21	49	1	Alta Val di Taro	13	5	4.14
NF	1986	12	06	17	07	1	Ferrarese	604	6	4.43
NF	1991	10	31	09	31	1	Emilia occidentale	134	5	4.33
NF	1998	02	21	02	21	1	Pianura emiliana	104	5	3.93
NF	2000	06	18	07	42	0	Pianura emiliana	304	5-6	4.40
NF	2002	06	18	22	23	3	Frignano	186	4	4.30
NF	2002	11	13	10	48	0	Franciacorta	768	5	4.21

Tab. 1 - Massimi eventi sismici i cui effetti si sono fatti risentire a Collecchio

Dalla lettura di Fig. 4 e di Tab. 1 si deduce che, tra quelli censiti nel DBMI15, sono 18 gli eventi sismici che hanno avuto un risentimento significativo a Collecchio.

Tra questi spiccano il terremoto con epicentro nel parmense del 9.11.1983, a cui è stata attribuita una  $M_w = 5.04$  ed effetti locali pari al 6-7° grado della scala MCS, il terremoto con epicentro a Collecchio del 15.10.1886 a cui è stata attribuita una  $M_w = 4.70$  (effetti pari al 6° grado della scala MCS), il terremoto con epicentro in Garfagnana del 7.9.1920, a cui è stata attribuita  $M_w = 6.53$  (effetti pari al 6° grado della scala MCS) ed infine il terremoto del parmense del 15.7.2971 a cui è stata attribuita una  $M_w = 5.51$  ed effetti pari al 6° grado della scala MCS

Gli altri eventi riportati nel database hanno avuto risentimenti assai più modesti e compresi tra 5-6 e 2 MCS.

## 2.4 Classificazione sismica comunale

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 (ag) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni (Tab. 2), 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 ag
1	>0,25
2	0,15 ÷ 0,25
3	0,05 ÷ 0,15
4	<0,05

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

La classificazione vigente, identifica il Comune di Collecchio in zona 3 (Fig. 5), cui corrispondono valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo (ag), con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, compresi tra 0,15\*g e 0,25\*g (dove g è l'accelerazione di gravità).

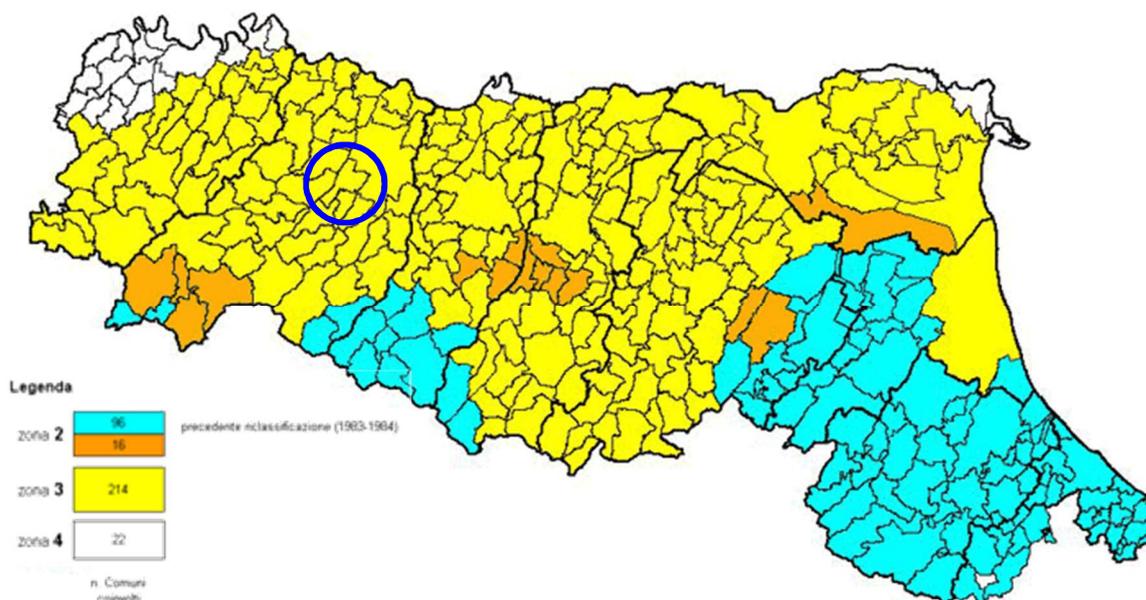


Fig. 5 – Classificazione sismica regionale dei Comuni dell'Emilia Romagna. Il cerchio blu individua il territorio del Comune di Collecchio.

Successivamente con OPCM 3519/2006 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", che ha sostituito il precedente D.M. 14.9.2005.

Alle NTC 2008 è allegato un documento sulla pericolosità sismica (Allegato 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 citato 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 Assemblea Legislativa n. 112/2007, 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".

Scopo di tale documento è quello di fornire i criteri per la 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:

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Luglio 2017 aggiornamento Febbraio 2018	12 di 76

- 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 o "Analisi della Risposta Sismica Locale" (RSL);
- la suddivisione del territorio in sottozone a diversa pericolosità sismica locale o Microzonazione Sismica (MS).

Detti studi vanno condotti a diversi livelli di approfondimento a seconda delle finalità e delle applicazioni nonché degli scenari di pericolosità locale.

La prima fase è diretta 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.).

L'individuazione delle aree soggette ad effetti locali si basa su rilievi, osservazioni e valutazioni di tipo geologico e geomorfologico, svolte a scala territoriale, associati a raccolte di informazioni sugli effetti indotti dai terremoti passati. Tale analisi viene svolta - soprattutto mediante elaborazione dei dati disponibili - in sede di elaborazione del PTCP e del PSC e concorre alla definizione delle scelte di piano, fornendo prime indicazioni sui limiti e le condizioni per la pianificazione nelle suddette aree.

La seconda fase ha come obiettivo la microzonazione sismica del territorio indagato.

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	Luglio 2017 aggiornamento Febbraio 2018	13 di 76

### 3. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

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.

Tutte le indagini sono state trasformate in formato digitale con modalità georiferita, al fine di consentire l'elaborazione in ambiente GIS. A tal proposito sia i dati di base, che i dati elaborati sono stati organizzati in formato vettoriale (*shapefile*).

Tali indagini, unitamente alle informazioni presenti in letteratura e ai sopralluoghi in sito, 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° 22 indagini di sismica passiva mediante misure di ascolto delle vibrazioni ambientali secondo la tecnica HVSR a stazione singola.

Le misure HVSR sono state condotte utilizzando un sismometro a stazione singola (tromografo digitale MICROMED © Tromino) di proprietà dello scrivente soggetto attuatore, in grado di registrare, attraverso dei velocimetri, i microtremori lungo le due direzioni orizzontali (X, Y) e lungo quella verticale (Z), di un ampio intervallo di frequenze (0.1-100 Hz) e per una durata sufficientemente lunga (16 minuti).

Le misure registrate sono state poi elaborate e restituite graficamente in forma di spettri H/V (rapporto H/V in funzione della frequenza) e spettri delle singole componenti (componente del moto in funzione della frequenza per ognuna delle tre direzioni) (cfr. Fig. 6).

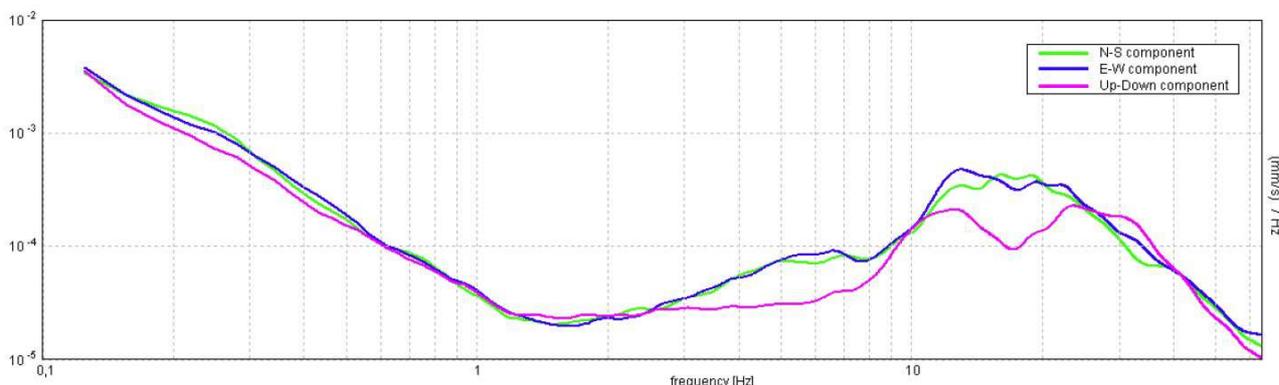


Fig. 6 – Esempio di spettro delle singole componenti

 <p>Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti</p>	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Luglio 2017 aggiornamento Febbraio 2018	14 di 76

## 4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

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 geologico.

A tale scopo, per il Comune di Collecchio, 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 il complesso assetto geologico rilevato possa modificare il moto sismico in superficie e quali problematiche comporti per la determinazione degli effetti locali.

Più in particolare le unità affioranti nel territorio comunale possono essere distinte con riferimento alla "Carta Geologica della Regione Emilia-Romagna – Progetto CARG" (Fig. 7) che, per i depositi di margine appenninico, utilizza una suddivisione geologica delle unità basata sulla stratigrafia sequenziale, ossia su un metodo stratigrafico che utilizza le discontinuità e le superfici di continuità ad esse correlabili, per suddividere la successione sedimentaria in sequenze deposizionali.

### **DEPOSITI QUATERNARI CONTINENTALI**

#### ***Deposito di frana attiva***

Accumuli caotici di elementi litoidi in matrice pelitica che presentano evidenze di movimenti in atto.

#### ***Deposito di frana quiescente***

Accumuli caotici di elementi litoidi in matrice pelitica attualmente quiescenti.

#### ***Depositi di versante in senso lato***

Depositi costituiti da litotipi eterogenei ed eterometrici più o meno caotici immersi in matrice pelitica e/o sabbiosa.

#### ***Depositi alluvionali in evoluzione***

Ghiaie, talora embriciate, sabbie e subordinati limi argillosi di origine fluviale, attualmente soggetti a variazioni dovute alla dinamica fluviale, detrito generalmente incoerente e caotico, costituito da clasti eterometrici ed eterogenei, talora arrotondati, in matrice sabbiosa, allo sbocco di impluvi e valli secondarie.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Luglio 2017 aggiornamento Febbraio 2018	15 di 76

### ***Depositi alluvionali in evoluzione fissati da vegetazione***

Ghiaie e sabbie con scarsa o assente copertura fine fissati da vegetazione. Corrispondono alle aree esondabili in condizioni di piena ordinaria.

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

Si tratta di depositi appartenenti alla successione post-evaporitica, sedimentatasi successivamente alla crisi di salinità che ha interessato il bacino del Mediterraneo nel corso del Messiniano.

### ***Supersintema Emiliano-Romagnolo***

Il Supersintema Emiliano-Romagnolo, deponosi a partire da circa 650.000 anni b.p. sino all'Olocene, è costituito da una successione sedimentaria di ambiente continentale, articolata in due sintemi:

- Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (**AES**);
- Sintema Emiliano Romagnolo Inferiore (**AEI**).

Il Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (Pleistocene medio – Olocene) è un'unità alluvionale prevalentemente grossolana.

Le unità di rango inferiore del AES affioranti nella zona sono:

- Subsintema di Ravenna (AES8) (Pleistocene sup. – Olocene; post circa 20.000 anni b.p.): ghiaie sabbiose, sabbie e limi con copertura discontinua di limi argillosi. Il profilo di alterazione varia da qualche decina di cm fino ad 1 m. 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. Lo spessore massimo dell'unità è inferiore a 20 m.
- Unità di Modena (AES8a) (Olocene; post IV-VII sec. d.C.): ghiaie prevalenti e sabbie, ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua. Il profilo di alterazione è di esiguo spessore (poche decine di cm). Lo spessore massimo dell'unità è di alcuni metri.
- Subsintema di Villa Verucchio (AES7): (Pleistocene sup.): ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati, localmente con copertura discontinua di limi argillosi: depositi di conoide ghiaiosa e depositi intravallivi terrazzati. Il profilo di alterazione (alfisuoli) presenta uno spessore fino a 4-5 m. Il tetto dell'unità è rappresentato dalla superficie deposizionale relitta corrispondente al piano topografico, mentre il contatto di base è erosivo e discordante sugli altri allomembri e sulle unità più antiche. Lo spessore massimo dell'unità è di circa 20 m.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Luglio 2017 aggiornamento Febbraio 2018	16 di 76

- *Unità di Niviano (AES7a)* (Pleistocene sup.): ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati. Il profilo di alterazione dell'unità è molto evoluto e può raggiungere i 4-5 m di profondità. L'unità presenta una copertura fine, composita e discontinua, di spessore fino a 2 m, costituita da limi e limi argillosi giallastri. Lo spessore massimo è di circa 15 metri.
- *Subsistema di Agazzano (AES3)* (Pleistocene medio): ghiaie e ghiaie sabbioso-argillose prevalenti nelle aree di conoide e sabbie e limi argillosi con subordinati livelli di ghiaie nelle aree di interconoide. I depositi intravallivi sono generalmente costituiti da un intervallo basale con ghiaie prevalenti, sovrastato da un intervallo fine, limoso-argilloso. I depositi di conoide ghiaiosa, distali, invece, presentano comunemente un livello fine di spessore metrico alla base dell'unità. Il profilo di alterazione dell'unità è molto evoluto e raggiunge i 6-7 m di profondità. Alla sommità dell'intervallo fine delle aree terrazzate si rinvengono manufatti del Paleolitico medio. Il contatto di base è erosivo e discordante. Spessore variabile da alcuni metri a 55 metri circa (nel sottosuolo della pianura).
- *Subsistema di Monterlinzana (AES1)* (Pleistocene medio): unità costituita da un intervallo basale grossolano a ghiaie clasto-sostenute, con matrice sabbioso-limosa, e da un intervallo superiore prevalentemente fine, massivo, di colore grigiastro, giallognolo all'alterazione, con intercalate localmente sabbie e ghiaie di spessore massimo pari a 2 m: depositi intravallivi terrazzati. Sabbie e limi argillosi, con subordinati livelli di ghiaie, localmente stratificati: depositi di interconoide. Il profilo di alterazione dell'unità è molto evoluto e raggiunge i 7-8 m di profondità. Il contatto di base è generalmente erosivo e discordante. Lo spessore dei depositi intravallivi, terrazzati, non supera i 20 m; nel sottosuolo della pianura alluvionale, i depositi coevi di conoide alluvionale ghiaiosa raggiungono spessori di circa 40 m.

### **Supersistema del Quaternario Marino**

Il Supersistema del Quaternario Marino (Qm), depositosi tra la fine del Pliocene – inizio Pleistocene e circa 650.000 anni b.p., è costituito da terreni paralici e marini, depositi al di sopra di una superficie di discontinuità regionale.

- *Sistema di Costamezzana (CMZ)* (Pleistocene inf.): è costituito grossolanamente da 3 associazioni di facies, sovrapposte ciclicamente e giustapposte, che individuano, nel complesso, un prisma sedimentario costiero con tendenza regressiva e progradante verso nord, nord-ovest. 1) Sabbie e ghiaie argillose in strati spessi, frequentemente gradati e amalgamati, con intercalati livelli argillosi sottili, discontinui, biancastri, sterili,

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Luglio 2017 aggiornamento Febbraio 2018	17 di 76

alternate a banconi argilloso-limosi con livelli ricchi in resti vegetali lignitizzati: depositi prossimali di delta-conoide. 2) Sabbie medio-fini in strati sottili e medi con laminazione piano-parallela oppure di tipo hummocky, intercalate a limi argillosi verdi, debolmente bioturbati, contenenti talora macrofaune oligotipiche: depositi lagunari. 3) Sabbie, sabbie ghiaiose e subordinatamente ghiaie ciottolose in strati massivi o con una gradazione diretta poco sviluppata e comunque sovente mascherata dalle frequenti amalgamazioni tra strati successivi che possono inglobare clasti pelitici di dimensioni anche metriche. Frequenti anche la stratificazione obliqua a grande scala e le laminazioni trattive. La matrice delle ghiaie è costituita sempre da sabbia medio grossolana: depositi di delta-conoide ad alta energia fluviale e marina. Il contatto di base è erosivo o netto e discordante.

- Sintema del Torrente Stirone (ATS) (Pliocene sup. - Pleistocene inf.): unità costituita da depositi parali e marini che si compone di due litofacies in parte eteropiche. Il limite basale è netto e discordante. Spesso, in affioramento sul margine appenninico e in corrispondenza degli alti strutturali sepolti, il limite basale è marcato dalla presenza di un livello calcarenitico di spessore plurimetrico ("crostone fossilifero" nei Profili al mille dei pozzi AGIP). Lo spessore di questa alloformazione varia da poche decine a circa 1200 m.
  - *litofacies pelitica (ATSa)*: litofacies prevalentemente fine, costituita da peliti sovente bioturbate e con presenza di fossili marini. Si intercalano strati sottili di sabbie fini, gradati, talvolta con detrito conchigliare alla base e con laminazione piano-parallela oppure di tipo hummocky. Eccezionalmente, intercalati alle peliti, si possono rinvenire livelli con ghiaie e ciottoli in matrice pelitica: depositi di prodelta, piattaforma e scarpata sottomarina.

### **Argille Azzurre (FAA)**

Peliti marnose, grigio-azzurre massive a frattura concoide, in genere a stratificazione poco evidente, con rari livelli sabbioso-siltosi per lo più concentrati nella porzione basale della formazione e rari livelli siltosi in quella superiore (Pleistocene sup. – Pleistocene inf.). Le Argille Azzurre affiorano nel versante in destra idrografica al F. Taro e costituiscono il substrato del Quaternario Marino.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Luglio 2017 aggiornamento Febbraio 2018	18 di 76

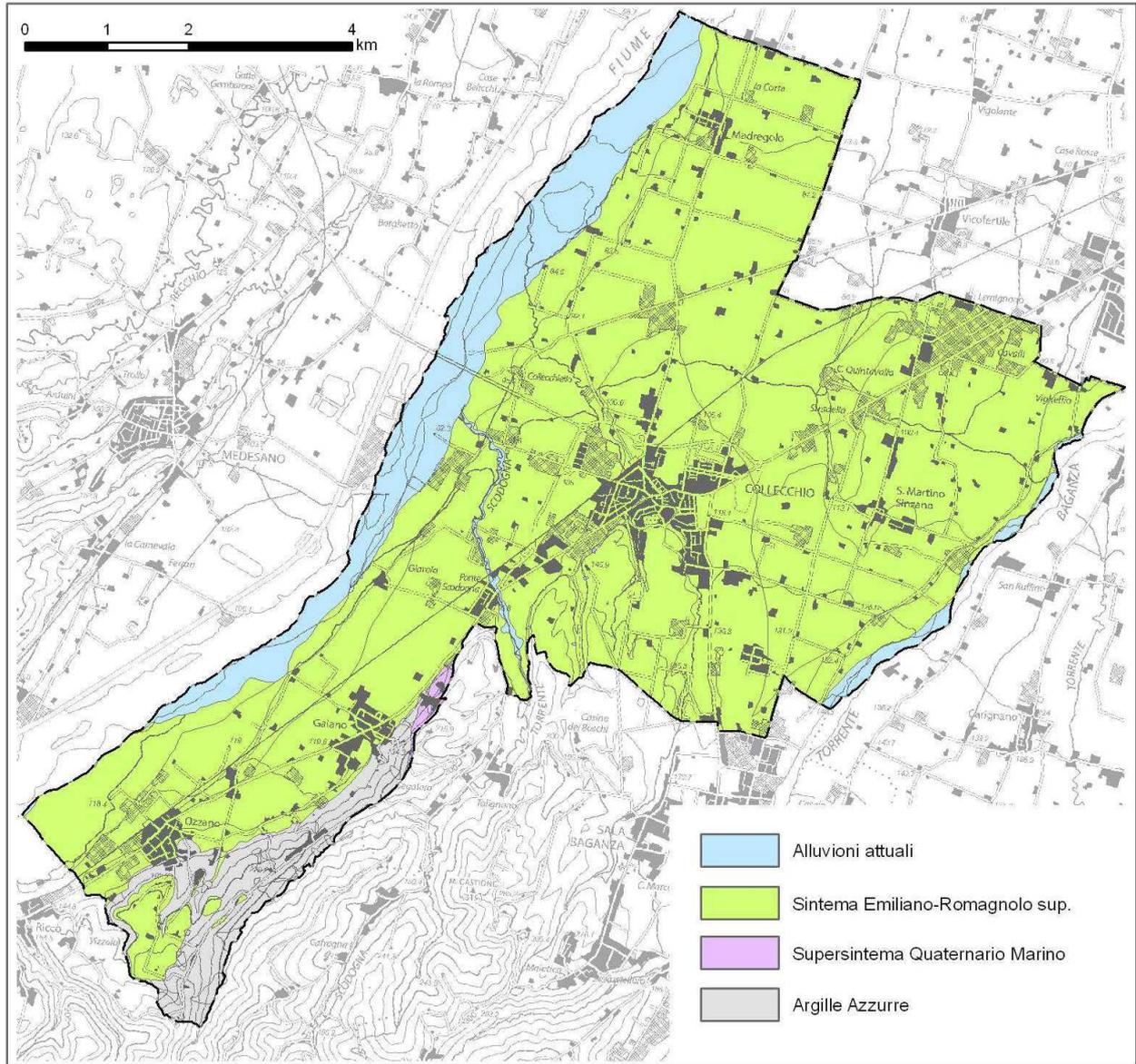


Fig. 7 – Inquadramento delle principali unità geologiche affioranti

## 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. 8).

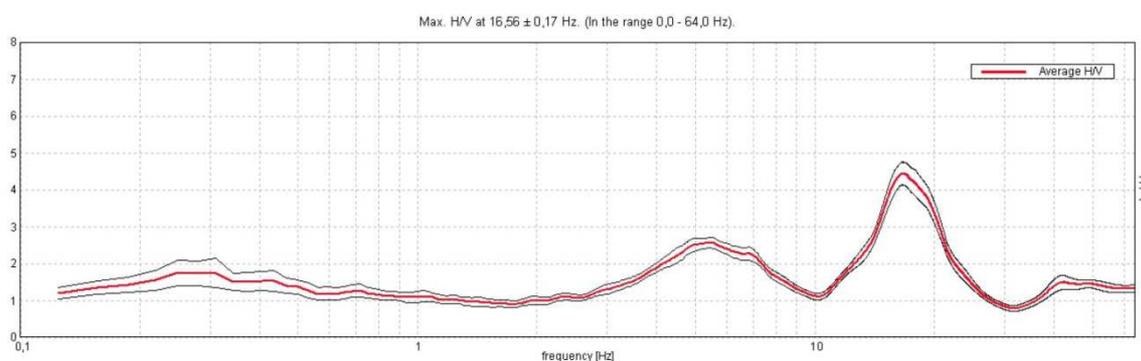


Fig. 8 – Esempio di curva H/V naturale della prova 034009P167HVSR167 eseguita nell'abitato di Collecchio

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.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Luglio 2017 aggiornamento Febbraio 2018	20 di 76

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 spettrali misurati, prestando inoltre particolare attenzione alle variazioni azimutali 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 per i motivi già anticipati nel capitolo 4 (talvolta le caratteristiche geologiche del territorio esaminato fanno sì che, nelle curve H/V, non siano presenti picchi significativi).

Inoltre l’analisi dei profili di velocità derivanti da indagini sismiche MASW o Re.MI di archivio, in cui sono talvolta evidenti netti contrasti di impedenza, talora non hanno trovato un riscontro nelle curva H/V delle misure di microtremore a stazione singola effettuate appositamente per lo studio di microzonazione.

 <b>Studio di geologia</b> <i>dott. Stefano Castagnetti</i>	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Luglio 2017 aggiornamento Febbraio 2018	21 di 76

## 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 di sismica, ai fini della definizione delle frequenze fondamentali dei terreni.

Gli elaborati prodotti in questa prima fase sono costituiti da:

- **Carta delle indagini:** 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:** 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:** 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:** 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 quali vengono operate ulteriori distinzioni, identificando delle microzone omogenee, sulla base delle caratteristiche litostratigrafiche.

Successivamente e in diretta continuità con la prima, è stata svolta la seconda fase di lavoro, che ha quale obiettivo la Microzonazione Sismica del territorio indagato.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Luglio 2017 aggiornamento Febbraio 2018	22 di 76

Gran parte del territorio è stato sottoposto ad analisi di Livello 2, con definizione dell'amplificazione sismica attraverso un metodo semplificato che prevede l'utilizzo di tabelle e formule indicate nell'All. 2 degli Indirizzi regionali.

Limitatamente ad un areale di particolare interesse strategico nel Capoluogo invece è stato eseguito un approfondimento di Livello 3, in quanto vi ricade la sede del COM, la sede dell'Assistenza Volontaria di Collecchio - Felino - Sala Baganza, i plessi scolastici della scuola primaria e della secondaria di primo grado, il Palazzetto dello sport "Leoni", la palestra comunale "Ori". Inoltre nel medesimo ambito vi è la previsione di un'importante futura trasformazione urbanistica con la delocalizzazione a nord dei campi sportivi e l'edificazione di strutture di pubblico interesse. Per questo areale è stata sviluppata l'analisi numerica della Risposta Sismica Locale che ha portato alla determinazione dello spettro di risposta in superficie e dei fattori di amplificazione.

In questa fase sono stati prodotti i seguenti elaborati:

- **Carta delle velocità delle onde di taglio S:** carte in sono ubicati tutti i punti di misura di  $V_s$  con indicazione, per ogni punto misura, del valore di  $V_{s30}$  o  $V_{SH}$ , ossia della velocità delle onde di taglio mediata nei primi 30 metri di profondità o entro una profondità "H" che identifica l'interfaccia copertura/substrato geologico.
- **Carte di microzonazione sismica:** 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 ( $PGA/PGA_0$ ), sia di rapporto di Intensità di Housner ( $SI/SI_0$ ), per prefissati intervalli di periodi (0,1-0,5s e 0,5-1s).

L'estensione e la forma del territorio comunale ha reso necessario la suddivisione del territorio in due finestre denominate rispettivamente "A" e "B" e rappresentandole in un'unica rappresentazione cartografica alla scala 1:10.000 con un artificio grafico, che ne consente la facile leggibilità.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Luglio 2017 aggiornamento Febbraio 2018	23 di 76

## 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. 11).

	Sondaggio a carotaggio continuo
	Sondaggio da cui sono stati prelevati campioni
	Trincea o pozzetto esplorativo
	Prova sismica in foro tipo Downhole
	Prova sismica in foro tipo Crosshole
	Prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)
	Prova penetrometrica statica con punta elettrica (CPTE)
	Prova penetrometrica statica con piezocono (CPTU)
	Prova penetrometrica con cono sismico e piezocono (SCPTU)
	Prova penetrometrica dinamica super pesante (DS)
	Prova penetrometrica dinamica pesante (DP)
	Prova penetrometrica dinamica leggera (DL)
	Pozzo per acqua
	Pozzo per idrocarburi
	Stazione microtremore a stazione singola (HVSr)
	MASW
	Prova REfraction Microtremors
	Profilo sismico a rifrazione

Fig. 11 – 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 il modello geologico del sottosuolo.

La ricerca effettuata presso l'archivio dell'Ufficio Tecnico Comunale ha consentito di acquisire le seguenti indagini (Tab. 3):

tipo indagine	n° indagini acquisite	
	Archivio UTC	DataBase RER
sondaggi a carotaggio continuo	17	-
prove penetrometriche statiche (CPT-CPTU)	40	-
prove penetrometriche dinamiche pesanti e superpesanti (DP - DPSH)	50	-
prove penetrometriche dinamiche leggere e medie (DL - DM)	9	15
pozzi per acqua	-	118
pozzi per idrocarburi	-	15
stazioni microtremore a stazione singola (HVSr)	66	-
trincee o pozzetti esplorativi	11	-
MASW	16	-
prove REfraction Microtremors	3	-
profili sismici a rifrazione	1	-

Tab. 3 – indagini acquisite ai fini del presente studio

Come ricordato in precedenza, ad integrazione di tali dati, è stata progettata ed eseguita una specifica campagna di indagine costituita da n° 22 misure di ascolto di microtremori a stazione singola (HVSr), eseguite internamente o al contorno del perimetro del territorio urbanizzato e urbanizzabile.

Inoltre, nell'area sottoposta ad approfondimento di terzo livello, è stato realizzato un sondaggio a carotaggio continuo spinto a -30.00 m da p.c., con prelievo di campioni di terreno sottoposti ad analisi di laboratorio e prova Down-Hole nel foro di sondaggio.

## 7.2 Carta geologico-tecnica

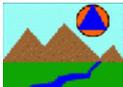
Nella Carta geologico-tecnica sono state riportate le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche, geotecniche e idrogeologiche) derivate da elaborati esistenti e da indagini geognostiche pregresse.

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 del Piano Strutturale Comunale;
- “Carta Geologica d’Italia” alla scala 1: 50.000, Foglio 199 “Parma”, 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 (vedi precedente paragrafo).

Allo scopo di migliorare la comprensione del modello geologico locale, nelle Figg. 13-15 sono proposte delle sezioni geologiche orientate trasversalmente ai principali elementi strutturali (cfr. rappresentazione planimetrica delle tracce riportata in Fig. 12).

 <b>Studio di geologia</b> <i>dott. Stefano Castagnetti</i>	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Luglio 2017 aggiornamento Febbraio 2018	26 di 76

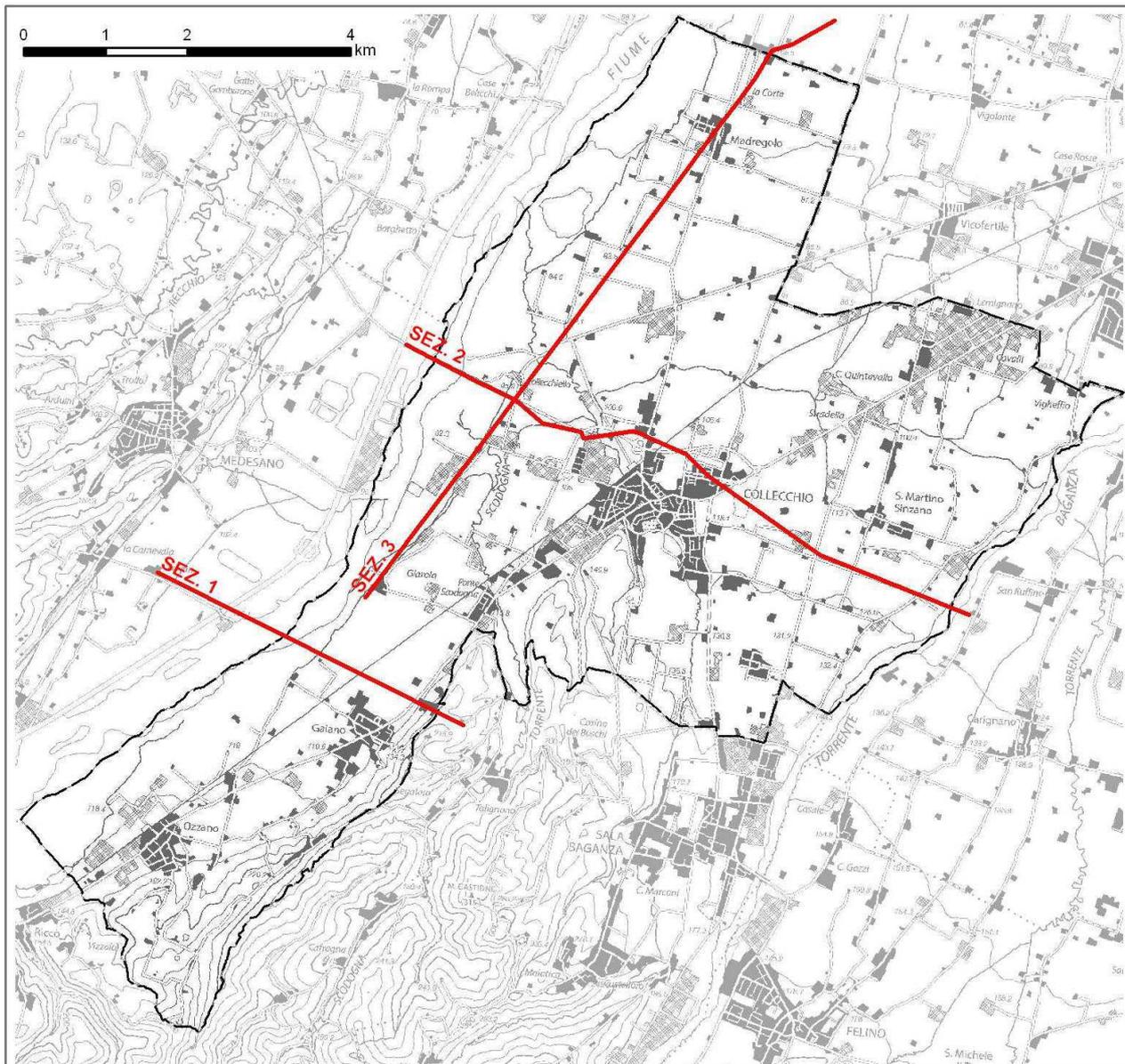


Fig. 12 – Rappresentazione planimetrica delle tracce delle sezioni delle Sezioni geologiche pubblicate sul sito del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna

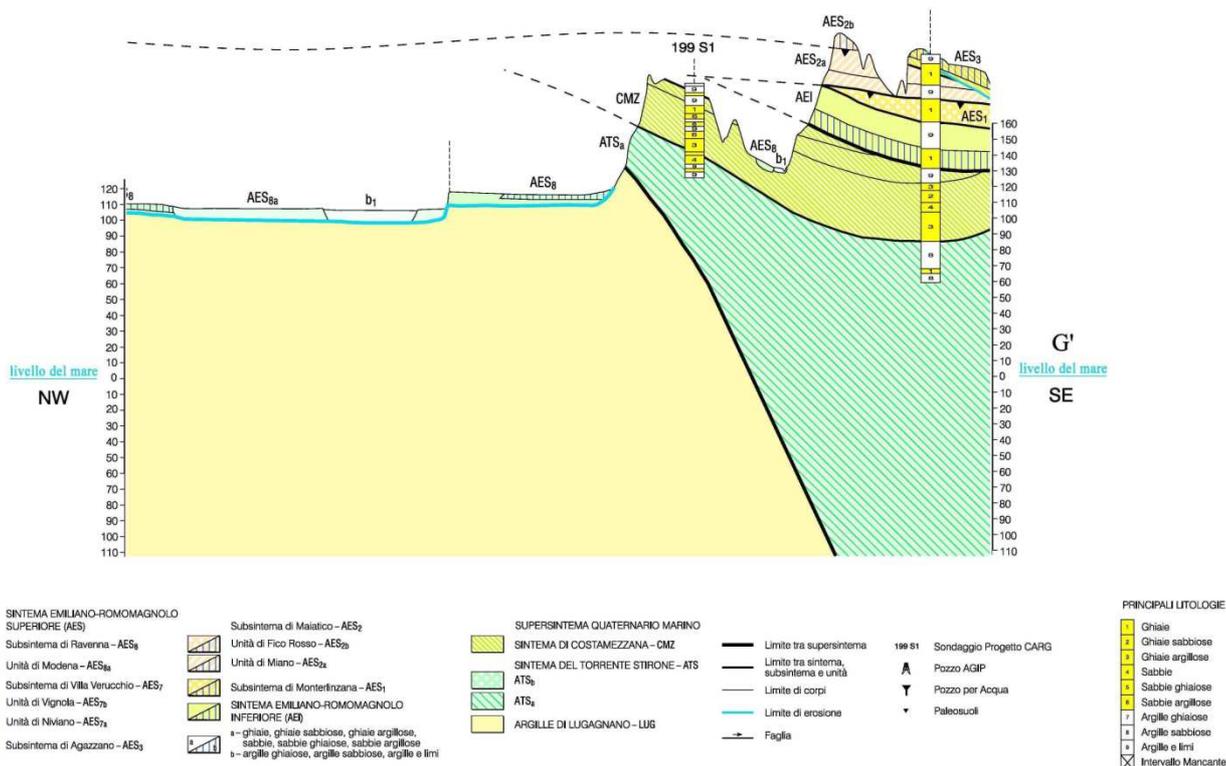


Fig. 13 – Sezione n° 1 (Fonte: stralcio Sezione Geologica n° 41 “Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna”)

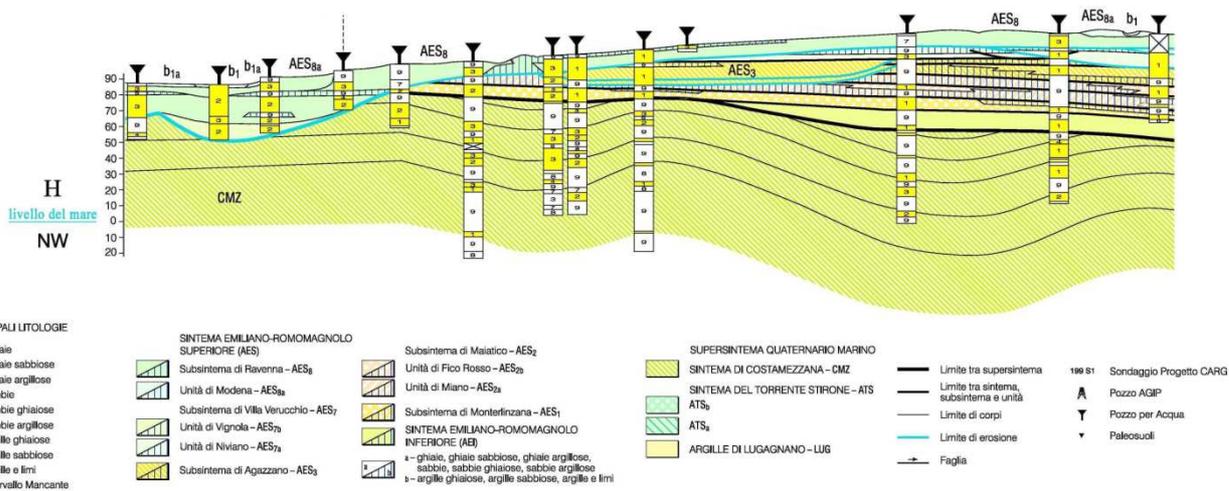


Fig. 14 – Sezione n° 2 (Fonte: stralcio Sezione Geologica n° 42 “Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna”)

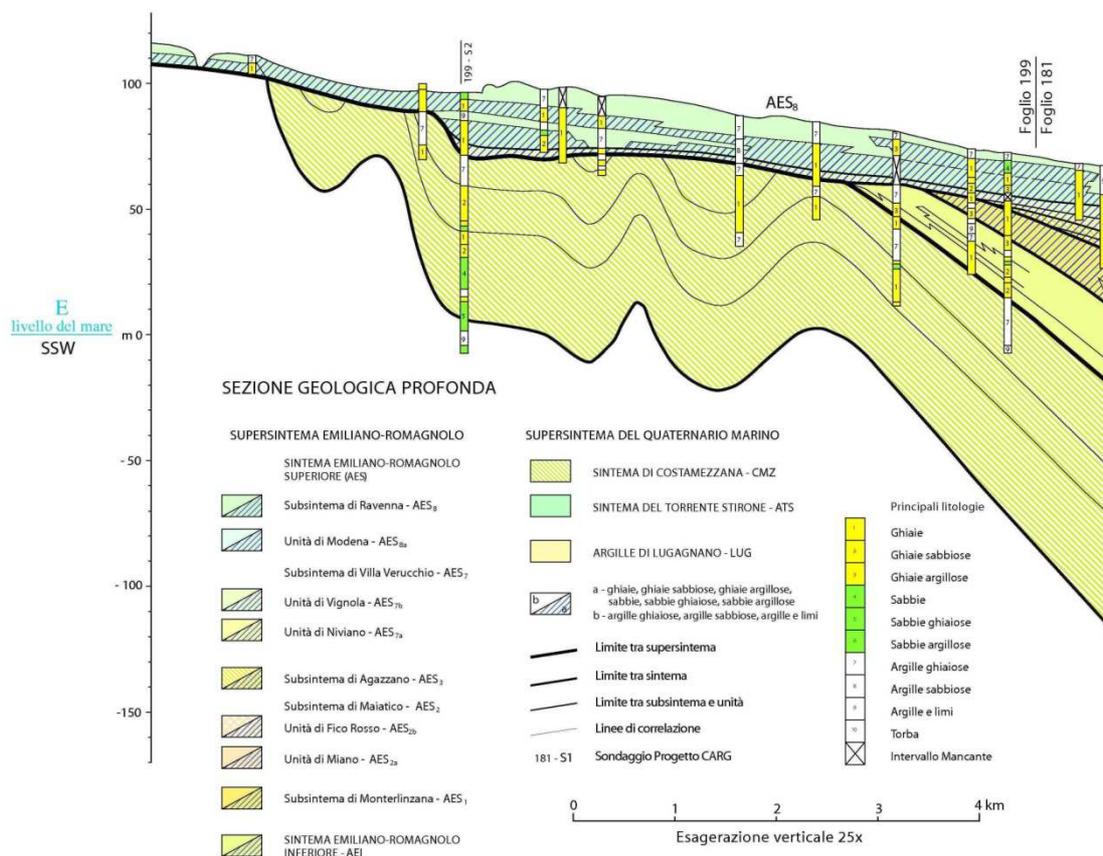


Fig. 15 – Sezione n° 3 (Fonte: stralcio Sezione Geologica n° 88 “Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna”)

In estrema sintesi il sottosuolo del territorio comunale presenta le seguenti caratteristiche:

- il settore SW del territorio (abitati di Gaiano e Ozzano Taro) è costituito dal fondovalle del F. Taro, in cui i depositi alluvionali del Subsistema di Ravenna presentano una ridotta potenza e sovrastano direttamente i sedimenti marini pliocenici delle Argille Azzurre (Fig. 13). Questi ultimi affiorano lungo il versante in destra idrografica al corso d’acqua;
- nel settore W del territorio, circa all’altezza dell’abitato di Ponte Scodogna, si assiste ad un rapido approfondimento del substrato argilloso pliocenico, che risulta sormontato dai sedimenti del Supersistema del Quaternario Marino (Sistema di Costamezzana), interessati da deformazioni connesse al “Fronte di Sovrascorrimento Pedeappenninico” (Fig. 15). In superficie sono presenti i sedimenti alluvionali della conoide del F. Taro appartenenti al Subsistema di Ravenna, il cui spessore aumenta spostandosi verso l’estremità settentrionale del territorio comunale;
- la porzione occidentale del territorio comunale è caratterizzata da depositi alluvionali della conoide del T. Baganza. All’altezza di Stradella l’emersione di una anticlinale appartenente alle strutture appenniniche, ha permesso la conservazione di un lembo terrazzato dell’Unità

di Niviano, con riduzione dello spessore del Sintema Emiliano Romagnolo Sup. sino a circa 20 metri.

Nelle Carta geologico tecnica, dovendo attenersi agli standard di rappresentazione dettati dagli SRAI, sono state distinte, sulla base delle caratteristiche tessiturali, le seguenti unità di terreni di copertura:

- **GP** – *Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia*: sono cartografate in corrispondenza dell’abitato di Ozzano Taro ad ovest della linea ferroviaria e nel settore nord-occidentale dell’abitato di Madregolo;
- **GM** – *Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo*: sono cartografate in zone a cavallo della S.P. 62 della Cisa negli abitati di Ozzano Taro e Gaiano, nel settore centro-orientale di Madregolo e in ampio settore che ricomprende gli abitati di S. Martino Sinzano, Stradella e Lemignano.
- **GC** – *Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla*: sono cartografate in corrispondenza dell’area produttiva “Filagni”, nei settori settentrionale ed orientale del Capoluogo e in una striscia che sia allunga verso nord in corrispondenza del polo produttivo “Copador – Molino Figna”.
- **CL** - *Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre*: sono cartografate sul bordo occidentale dell’area produttiva di Lemignano, in un ampia area che comprende il settore occidentale del Capoluogo e l’abitato di Ponte Scodogna, le fasce esterne del polo produttivo “Copador – Molino Figna”, e le fasce di raccordo tra la pianura ed i rilievi collinari di Gaiano ed Ozzano Taro;

Inoltre sono state cartografate le zone laddove affiora il substrato geologico:

- **CO** – coesivo sovraconsolidato: affiora lungo il versante a monte degli abitati di Ozzano Taro e Gaiano nella fascia di margine appennino dove affiorano le Argille Azzurre.

A seguito dell’ampliamento dell’area microzonata richiesta dal DPC, sono ricomprese nei perimetri anche alcuni corpi di frana di modesta estensione, ubicati lungo il versante a monte dell’abitato di Gaiano e lungo la scarpata sovrastante via del Conventino alla periferia sud-ovest del Capoluogo. Queste aree sono state classificate come **instabilità di versante per scorrimento attive**.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Luglio 2017 aggiornamento Febbraio 2018	30 di 76

Sono stati altresì distinti gli ambienti genetico - deposizionali dei terreni di copertura secondo le seguenti classi:

- **es** – argini, barre, canali;
- **tf** – terrazzo fluviale;
- **pd** – piana pedemontana.

Infine nella Carta geologico tecnica sono stati riportati:

- la profondità in metri della falda misurata negli areali con sabbie e/o ghiaie
- i pozzi e i sondaggi profondi, distinguendoli a seconda che abbiano raggiunto o meno il substrato geologico, corrispondente alle Argille Azzurre, e la profondità dello stesso oppure la profondità raggiunta dal pozzo/sondaggio.

### 7.3 Carta delle frequenze naturali dei terreni

Sulla base di tutti i dati tomografici disponibili, sia contenuti nell'archivio comunale, 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. 16).

Le misure sono state suddivise in classi sulla base delle frequenze ( $F_0 \leq 0.6$  Hz;  $0.6 < F_0 < 1$ ;  $1 < F_0 \leq 2$  Hz;  $2 < F_0 \leq 8$  Hz;  $F_0 > 8$  Hz) e dell'ampiezza del picco ( $1,5 \leq HVSR < 2$ ;  $2 \leq HVSR < 8$ ;  $HVSR \geq 8$ ).

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Luglio 2017 aggiornamento Febbraio 2018	31 di 76

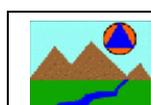
frequenza picco significativo (Hz)	ampiezza picco		
	$1,5 \leq \text{HVSr} < 2$	$2 \leq \text{HVSr} < 3$	$\text{HVSr} \geq 3$
$F_0 \leq 0,6$			
$0,6 < F_0 \leq 1$			
$1 < F_0 \leq 2$			
$2 < F_0 \leq 8$			
$F_0 > 8$			
Assenza di picchi significativi			

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

Fig. 16 – Legenda della carta delle frequenze naturali dei terreni

Di seguito viene proposta una tabella riepilogativa dei risultati delle prove tomografiche (Tab. 4), specificando, per ciascuna di esse, frequenza (compresa nell'intervallo 0,1 – 20 Hz) e ampiezza dei picchi principali e secondari, oltre all'unità di appartenenza nella Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica che sarà descritta nel successivo paragrafo 7.4:

PROVA	MOPS (cod.)	Picco principale F0		Picco secondario F1	
		Frequenza (Hz)	Ampiezza H/V	Frequenza (Hz)	Ampiezza H/V
P3HVSr3	(2011)	13,7	2,9	-	-
P4HVSr4	-	3,5	2,5	-	-
P9HVSr9	2011	9,7	3,2	-	-
P11HVSr11	2011	-	-	-	-
P15HVSr15	2010	13,0	2	-	-
P24HVSr24	2010	14,1	2,4	-	-
P25HVSr25	2010	-	-	-	-
P31HVSr31	2009	12,7	2,4	-	-
P32HVSr32	2010	13,0	3,1	-	-
P33HVSr33	2010	20	3,2	-	-
P34HVSr34	2009	20	2,8	-	-
P35HVSr35	2009	12	1,8	-	-
P36HVSr36	2009	-	-	-	-



P37HVS37	2011	-	-	-	-
P38HVS38	2009	-	-	-	-
P45HVS45	2009	-	-	-	-
P47HVS47	2006	3,5	3	-	-
P48HVS48	2007	5,0	2,5	-	-
P49HVS49	2007	6,0	3,2	-	-
P50HVS50	2006	4,7	2,6	0,8	1,5
P51HVS51	2006	4,8	3,9	14,0	2,1
P53HVS53	2006	4,2	3,8	7,0	2,9
P54HVS54	2008	19,0	1,9	3,5	1,8
P55HVS55	2004	19,8	4,3	-	-
P58HVS58	2004	-	-	-	-
P61HVS61	-	0,9	2,1	-	-
P73HVS73	2006	4,0	3,5	12,0	2
P74HVS74	2006	3,7	3,4	15	2
P79HVS79	2006	20,0	2,8	4,8	1,9
P80HVS80	2004	14,1	3,2	0,5	1,5
P81HVS81	2004	14,4	5,2	8,5	2
P82HVS82	2008	4,25	2,2	9,5	1,8
P83HVS83	2008	16,0	4,3	4,0	2
P91HVS91	2004	20,0	1,9	-	-
P92HVS92	2004	20,0	3	-	-
P93HVS93	2004	18,5	1,9	-	-
P94HVS94	2004	12,5	2,95	-	-
P102HVS102	2004	-	-	-	-
P109HVS109	2004	18,3	3,8	-	-
P110HVS110	2004	11,8	2,4	-	-
P119HVS120	2005	6,2	2,9	-	-
P121HVS122	2002	20,0	4,2	-	-
P122HVS123	2002	-	-	-	-
P129HVS130	2002	0,5	1,7	-	-
P132HVS133	2003	-	-	-	-
P133HVS134	2002	-	-	-	-
P135HVS136	2003	10,4	2,7	-	-
P136HVS137	2002	0,58	1,7	-	-
P137HVS138	2002	20,0	2,1	-	-
P138HVS139	2003	8,5	2,8	0,6	1,7
P139HVS140	2002	11,7	2,1	-	-
P140HVS141	2002	20,0	2	-	-

P141HVS142	2002	16,0	1,7	-	-
P145HVS146	2001	16,0	2,8	8,5	2,4
P146HVS147	2001	14,0	2,5	-	-
P149HVS150	2009	13,0	2,3	2,7	1,9
P150HVS151	2009	9,5	2,2	-	-
P152HVS152	2009	11,5	2,9	-	-
P153HVS153	2009	12,0	2	-	-
P154HVS154	2009	-	-	-	-
P155HVS155	2010	16,8	3,4	-	-
P156HVS156	2009	1,1	2,8	20	1,7
P157HVS157	2009	-	-	-	-
P158HVS158	2004	17,3	2,8	-	-
P159HVS159	2004	-	-	-	-
P160HVS160	2002	12,0	1,95	-	-
P161HVS161	(2004)	19,2	1,55	-	-
P166HVS166	2008	3,7	2,9	-	-
P167HVS167	2004	16,6	4,4	5,5	2,6
P170HVS170	2005	5,5	3,9	0,9	2,1
P171HVS171	2005	3,1	2,1	-	-
P172HVS172	2004	-	-	-	-
P173HVS173	(2005)	5,0	1,5	-	-
P174HVS174	2004	4,9	2,2	-	-
P178HVS178	2001	8,4	1,8	-	-
P179HVS179	2001	15,3	3,7	0,5	1,5
P202HVS206	(2002)	15,9	2	-	-
P203HVS207	2004	16,1	2,5	-	-
P204HVS208	2004	-	-	-	-
P265HVS269	2005	4,8	2,4	13	2,2
P266HVS270	2003	10,0	2,1	0,83	1,7
P267HVS271	2003	12,0	2,7	19	2,9
P268HVS272	2003	11,0	2,9	-	-
P269HVS273	2002	10,0	2,2	-	-
P270HVS274	2003	12,3	3,3	-	-

Tab. 4 – Riepilogo dei risultati delle prove tomografiche. Il codice MOPS tra parentesi, indica che la prova risulta esterna ai perimetri di microzonazione, ma per analogia può essere ugualmente attribuita ad una microzona.

Sulla base dell'esame di Tab. 4 e della carta delle frequenze naturali dei terreni, si possono formulare le seguenti osservazioni:

 <p>Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti</p>	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Luglio 2017 aggiornamento Febbraio 2018	34 di 76

- La zona di Madregolo, quella di Lemignano e il settore orientale del Capoluogo sono generalmente caratterizzati da picchi H/V significativi ricadenti nel campo delle alte frequenze (>10 Hz), indotti da depositi alluvionali grossolani sub-affioranti di rilevante spessore costituenti gli apparati di conoide alluvionale del F. Taro e del T. Baganza;
- Viceversa nel settore occidentale del capoluogo sono stati riscontrati picchi di frequenza generalmente compresi tra 3 e 6 Hz, indotti dalla presenza di una coltre fine di spessore pari a 10÷20 metri che ricopre depositi alluvionali grossolani;
- Il settore SW del territorio, costituito dalle aree di fondovalle del F. Taro in cui i depositi alluvionali hanno spessore modesto e poggiano direttamente sul substrato geologico, è caratterizzato da picchi H/V ricadenti nel campo delle alte frequenze;
- Situazione analoga alla precedente si riscontra anche dove affiora il substrato geologico delle Argille Azzurre, in quanto caratterizzato da una coltre di alterazione superficiale che si spinge a profondità di 3÷6 metri dal piano campagna.

#### 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 tre categorie:

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 del Comune di Collecchio.
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 un'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 instabilità.** Si tratta di zone nelle quali effetti sismici attesi e predominanti, oltre i fenomeni di amplificazione, sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio, quali instabilità di versante (frane attive e quiescenti),

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Luglio 2017 aggiornamento Febbraio 2018	35 di 76

liquefazioni e densificazione. In queste zone sono richiesti approfondimenti di terzo livello.

Tutte le aree urbanizzate e urbanizzabili oggetto del presente studio risultano appartenenti alla *categoria 2 - zone stabili suscettibili di amplificazioni locali*, all'interno della quale sono state operate ulteriori distinzioni.

Infatti, sulla base delle caratteristiche litostratimetriche, sono state identificate 11 microzone omogenee per le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (Fig. 17), ciascuna con un proprio profilo stratigrafico tipo riferito ai primi 50 m di sottosuolo.

Inoltre in un settore di limitata estensione, esterno alle aree urbanizzate e urbanizzabili, lungo il versante a monte dell'abitato di Gaiano e lungo la scarpata sovrastante via del Conventino alla periferia sud-ovest del Capoluogo, sono presenti alcune *zone suscettibili di instabilità* di modesta estensione che sono state classificate quali zone di attenzione per instabilità di versante. All'interno di tale categoria è stata operata un'ulteriore distinzione sulla base della presenza o meno del substrato geologico al di sotto del corpo di frana (Fig. 17).

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Luglio 2017 aggiornamento Febbraio 2018	36 di 76

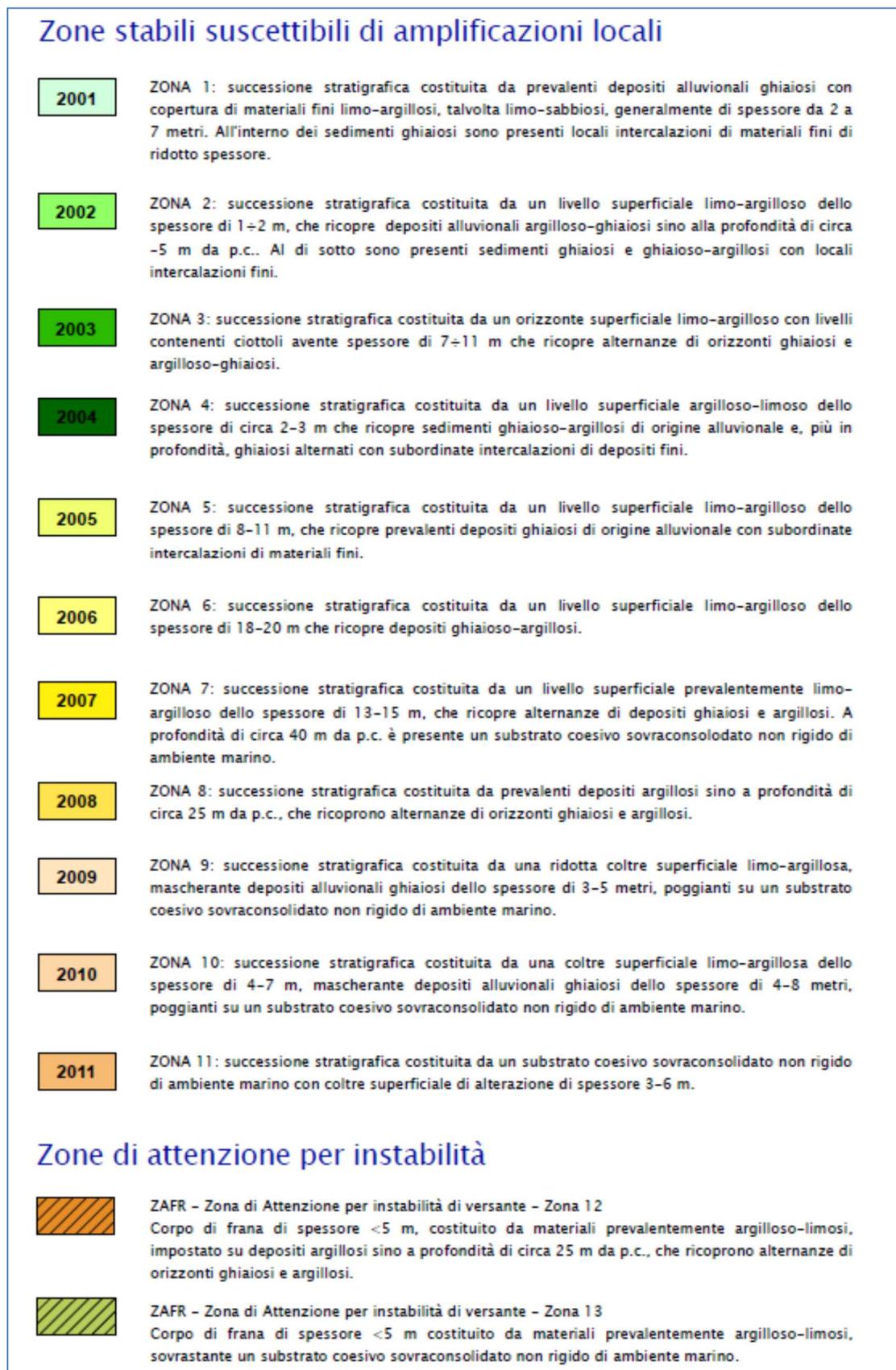


Fig. 17 – Legenda della carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)

Zona 1 (cod. 2001)

Questa zona è stata individuata nell'estremo settore settentrionale del territorio comunale in corrispondenza dell'abitato di Madregolo e presso il polo produttivo "Copador – Molino Figna". Il sottosuolo risulta caratterizzato da una copertura pedogenizzata di materiali fini limo-argillosi, talvolta limo-sabbiosi, il cui spessore varia da 2.00 a 7.00 m in ricoprimento di depositi prevalentemente ghiaiosi, con locali intercalazioni di depositi fini di ridotto spessore (Fig. 18), costituenti l'apparato di conoide del F. Taro. Con riferimento alla carta geologica CARG i depositi affioranti appartengono all'Unità di Modena del Subsistema di Ravenna di età olocenica.

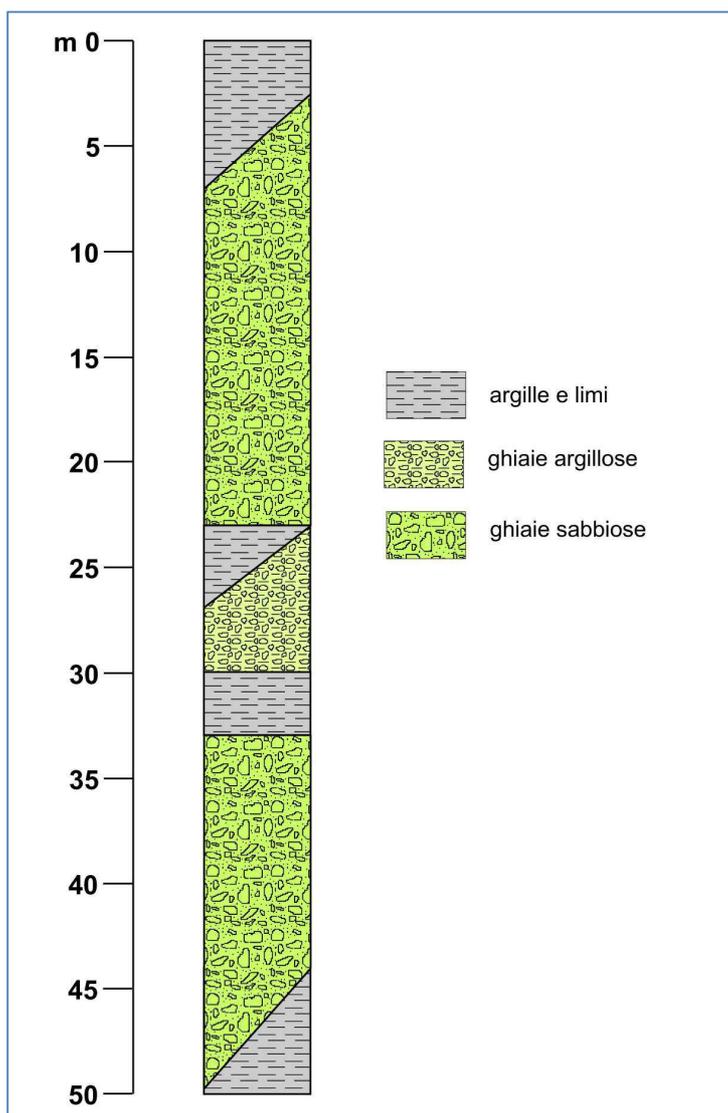


Fig. 18 – Successione stratigrafica cod. 2001

Zona 2 (cod. 2002)

Si tratta di una zona individuata nel settore occidentale del territorio comunale e ricomprende gli abitati di Lemignano a nord, di Stradella al centro e di S. Martino Sinzano a sud. Il sottosuolo è caratterizzato da un livello superficiale limo-argilloso dello spessore di 1÷2 m, che ricopre depositi

alluvionali argilloso-ghiaiosi sino alla profondità di circa -5 m da p.c.. Al di sotto sono presenti sedimenti ghiaiosi e ghiaioso-argillosi con locali intercalazioni fini (Fig. 19), costituenti l'apparato di conoide del T. Baganza. Con riferimento alla carta geologica CARG i depositi affioranti appartengono al Subsistema di Ravenna.

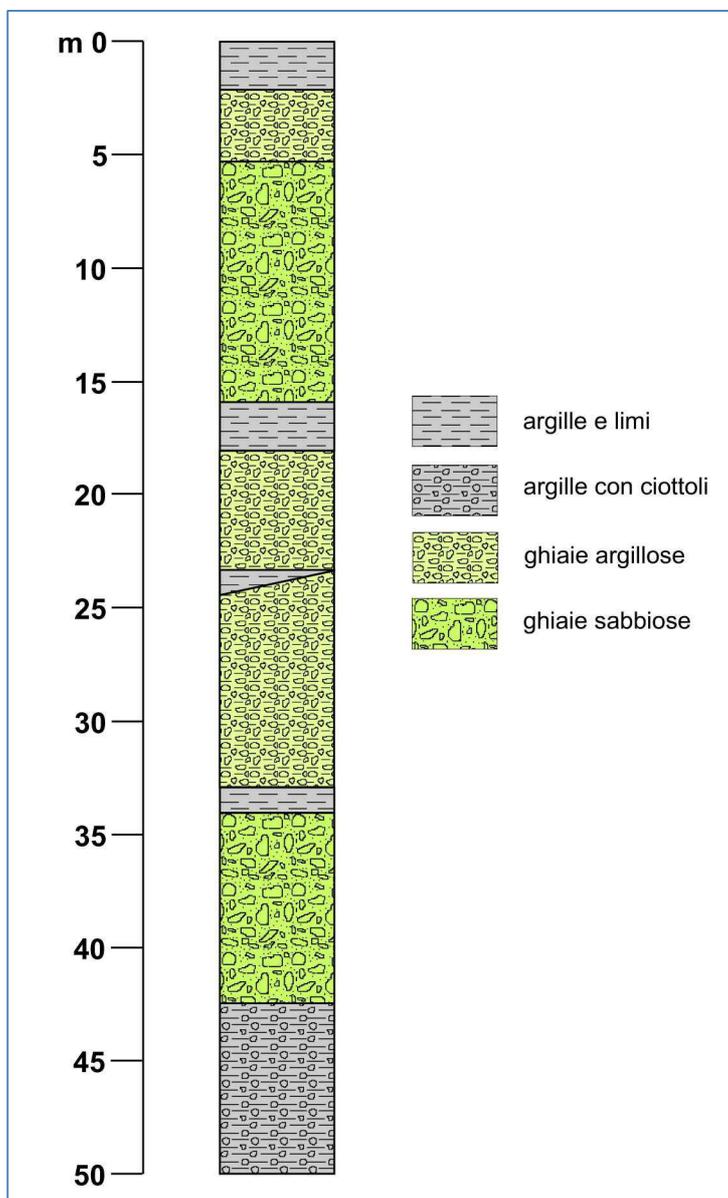


Fig. 19 – Successione stratigrafica cod. 2002

Zona 3 (cod. 2003)

Questa zona è stata individuata sul bordo occidentale della Zona 2, ad ovest degli abitati di Lemignano e Stradella. Il sottosuolo è caratterizzato da un livello superficiale limo-argilloso con livelli contenenti ciottoli dello spessore di 7.00÷11.00 m in ricoprimento di alternanze di orizzonti ghiaiosi e argilloso-ghiaiosi (Fig. 20). Con riferimento alla carta geologica CARG i depositi affioranti

appartengono all'Unità di Niviano del Subsistema di Villa Verucchio di età Pleistocene sup., ricadenti in corrispondenza della struttura anticlinale di Stradella.

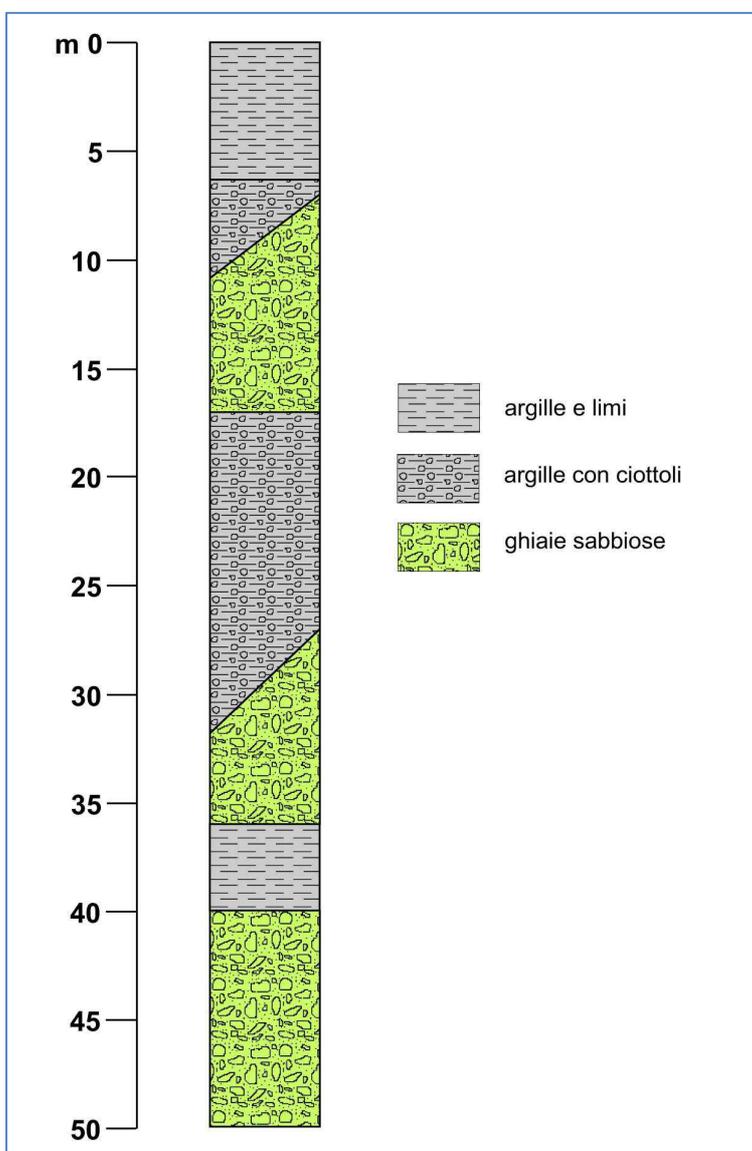


Fig. 20 – Successione stratigrafica cod. 2003

Zona 4 (cod. 2004)

Questa zona, di significativa estensione ricomprende l'area produttiva dei "Filagni" a sud, i settori settentrionale ed orientale del Capoluogo. Il sottosuolo è caratterizzato da un livello superficiale argilloso-limoso dello spessore di circa 2.00÷3.00 m che ricopre sedimenti ghiaioso-argillosi di origine alluvionale e, più in profondità, ghiaiosi alternati con subordinate intercalazioni di depositi fini (Fig. 21). Con riferimento alla carta geologica CARG i depositi affioranti appartengono al Subsistema di Ravenna.

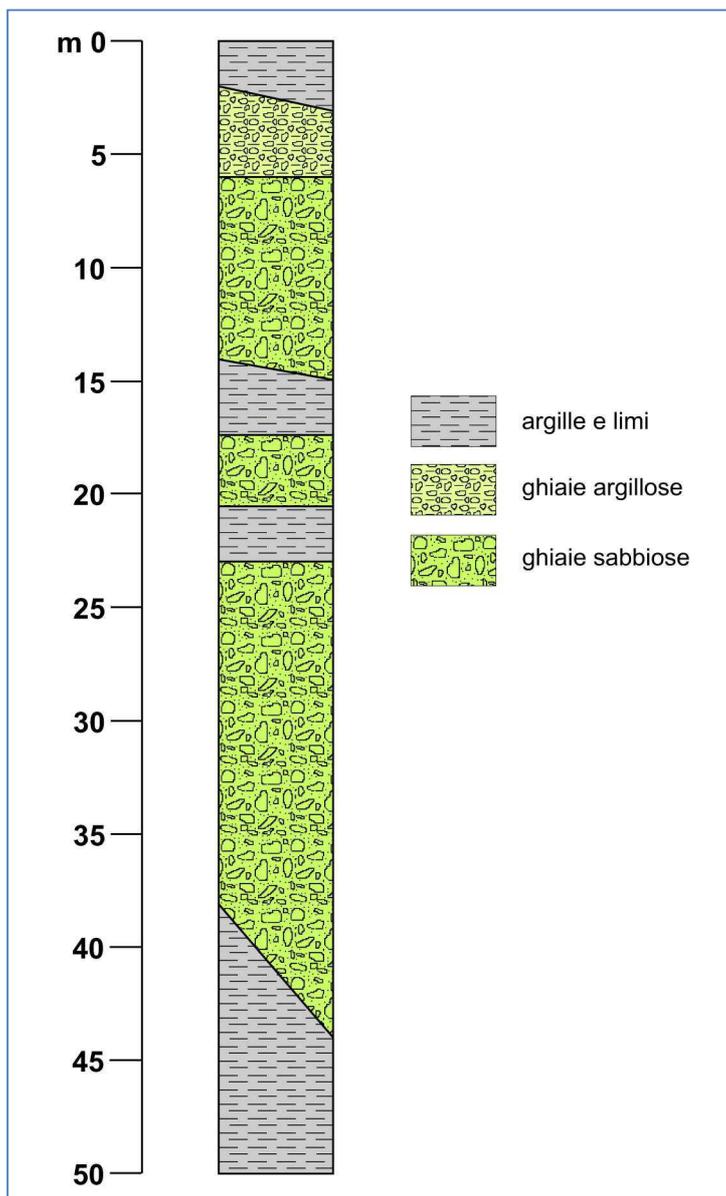


Fig. 21 – Successione stratigrafica cod. 2004

Zona 5 (cod. 2005)

Questa zona è stata individuata nel settore nord-ovest del Capoluogo compreso tra la linea ferroviaria e la tangenziale e lungo due fasce esterne del polo produttivo “Copador – Molino Figna”. Il sottosuolo è caratterizzato da un livello superficiale limo-argilloso dello spessore di 8.00÷11.00 m, che ricopre prevalenti depositi ghiaiosi di origine alluvionale con subordinate intercalazioni di materiali fini (Fig. 22). Con riferimento alla carta geologica CARG i depositi affioranti appartengono al Subsistema di Ravenna (Pleistocene sup. – Olocene).

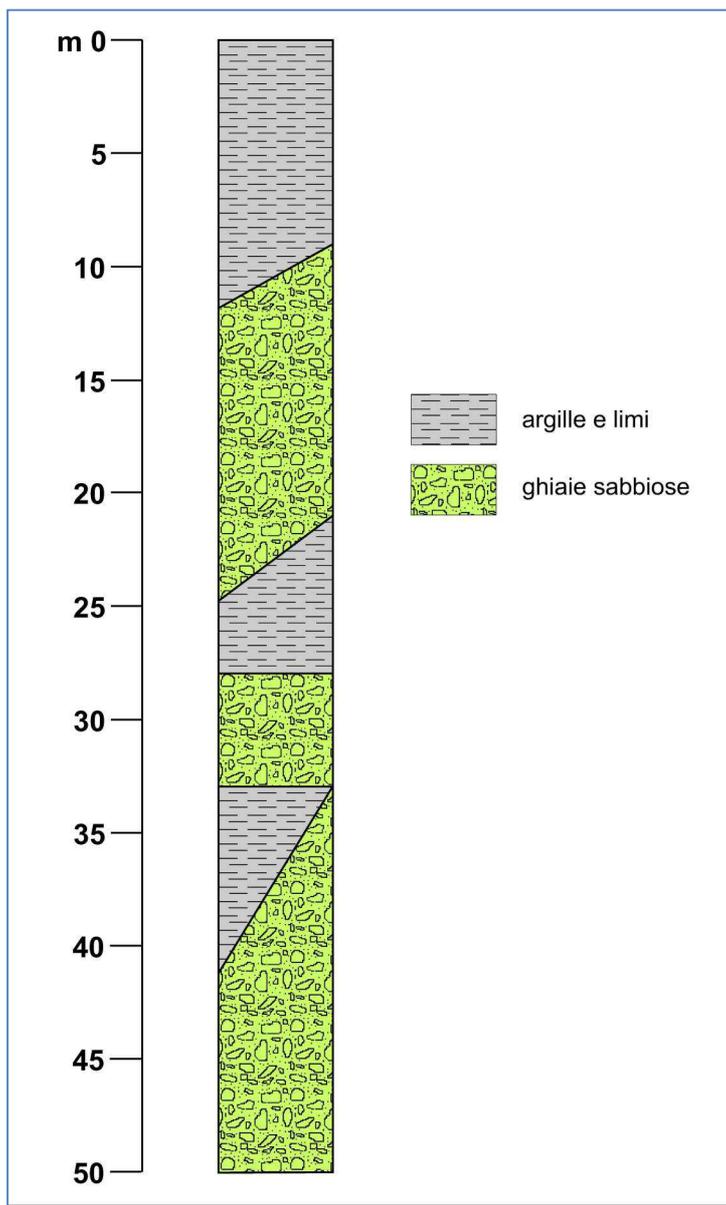


Fig. 22 – Successione stratigrafica cod. 2005

Zona 6 (cod. 2006)

Questa zona è stata individuata nel settore sud-orientale del Capoluogo, delimitata dal T. Scodogna, dalla linea ferroviaria Pontremolese e dalla base dei rilievi collinari dei Boschi di Carrega. Il sottosuolo è caratterizzato da un livello superficiale limo-argilloso dello spessore di 18.00÷20.00 m che ricopre depositi ghiaioso-argillosi (Fig. 23). Con riferimento alla carta geologica CARG i depositi affioranti appartengono al Subsistema di Ravenna (Pleistocene sup. – Olocene).

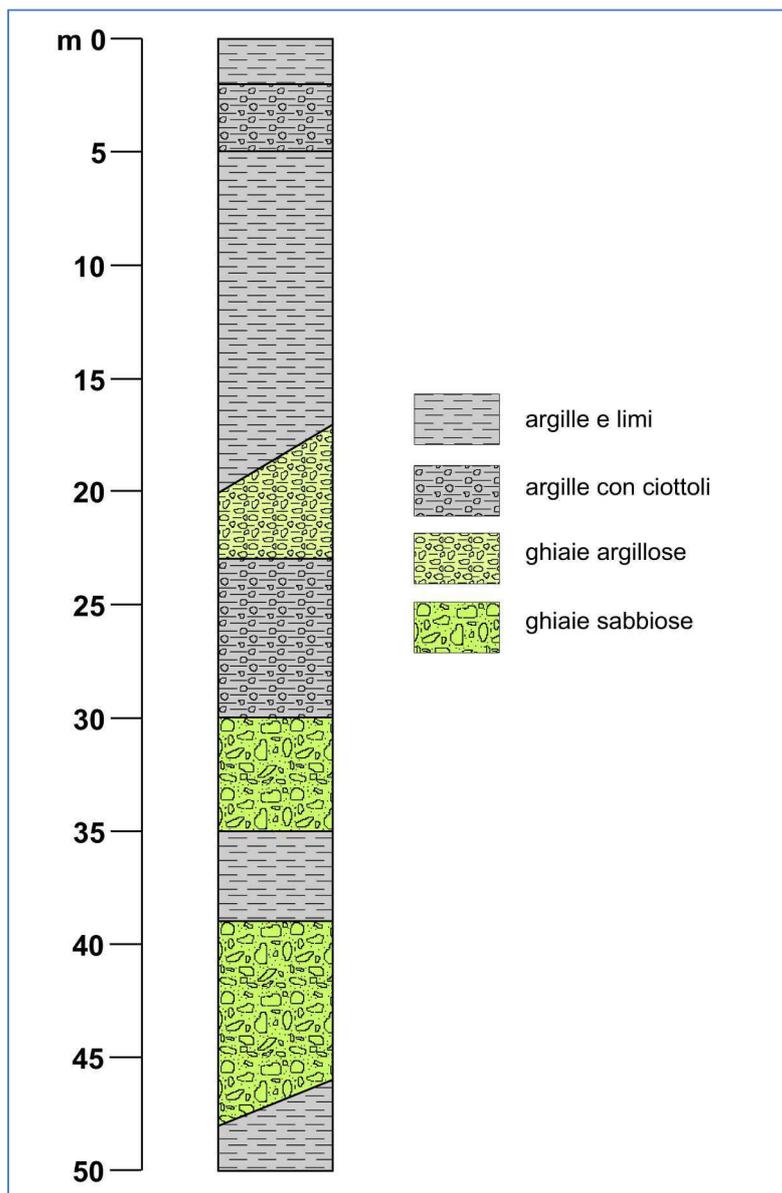


Fig. 23 – Successione stratigrafica cod. 2006

Zona 7 (cod. 2007)

Questa zona è stata individuata in corrispondenza dell'abitato di Ponte Scodogna. Il sottosuolo è caratterizzato da un livello superficiale prevalentemente limo-argilloso dello spessore di 13.00÷15.00 m, che ricopre alternanze di depositi ghiaiosi e argillosi. Alla profondità di circa 40 m da p.c. è presente il substrato coesivo sovraconsolidato non rigido di ambiente marino (Fig. 24). Con riferimento alla carta geologica CARG i depositi affioranti appartengono al Subsistema di Ravenna (Pleistocene sup. – Olocene).

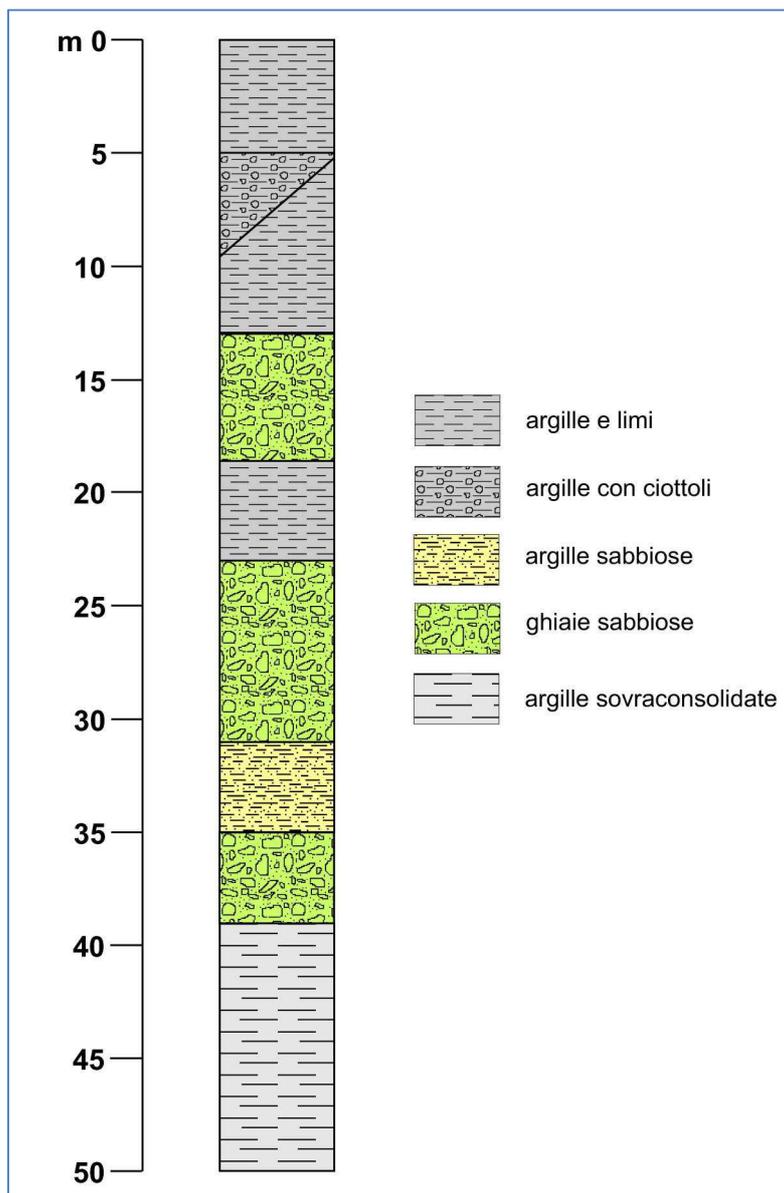


Fig. 24 – Successione stratigrafica cod. 2007

Zona 8 (cod. 2008)

Questa zona è stata individuata nel settore morfologicamente più rilevato del Capoluogo, e comprende la chiesa, il cimitero ed il parco Nevicati. Il sottosuolo è caratterizzato da prevalenti depositi argillosi sino a profondità di circa 25 m da p.c., che ricoprono alternanze di orizzonti ghiaiosi e argillosi (Fig. 25). Con riferimento alla carta geologica CARG i depositi affioranti appartengono al Subsistema di Agazzano.

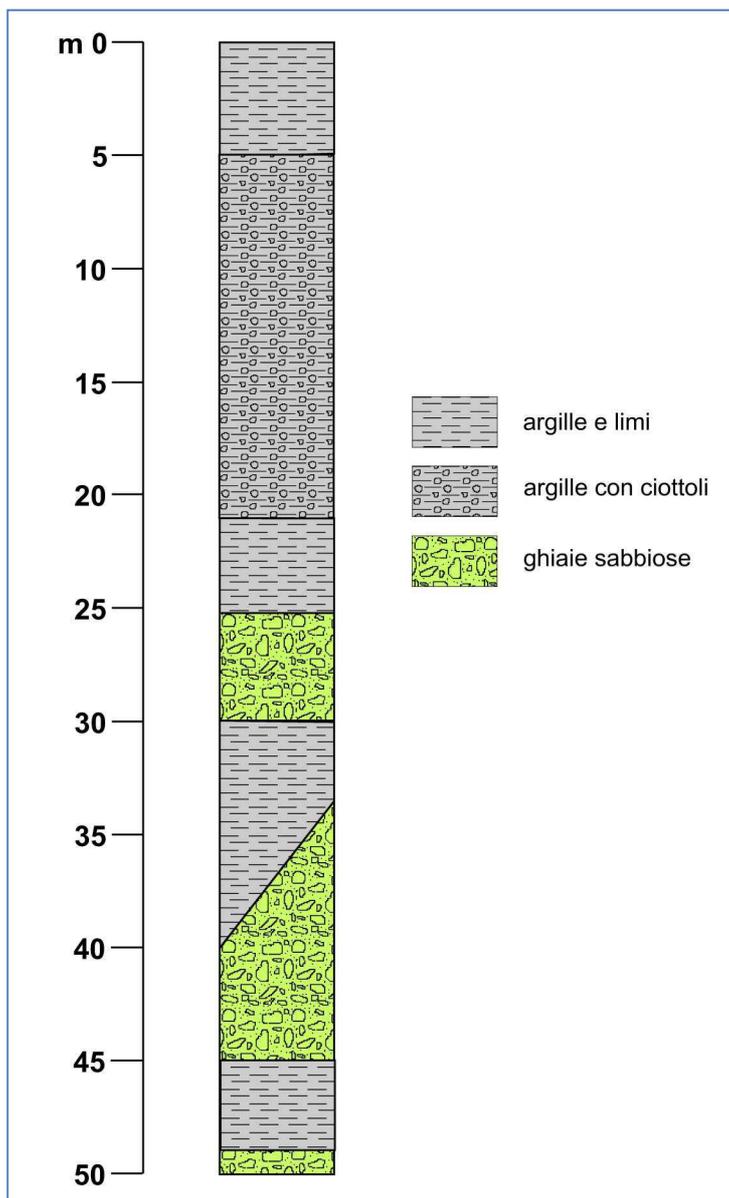


Fig. 25 – Successione stratigrafica cod. 2008

Zona 9 (cod. 2009)

Questa zona è stata individuata nella fascia di fondovalle pianeggiante rivolta verso il F. Taro degli abitati di Ozzano Taro e Gaiano. Il sottosuolo è caratterizzato da una ridotta coltre superficiale limo-argillosa, mascherante depositi alluvionali ghiaiosi dello spessore di 3.00÷5.00 metri, poggianti su un substrato coesivo sovraconsolidato non rigido di ambiente marino (Fig. 26).

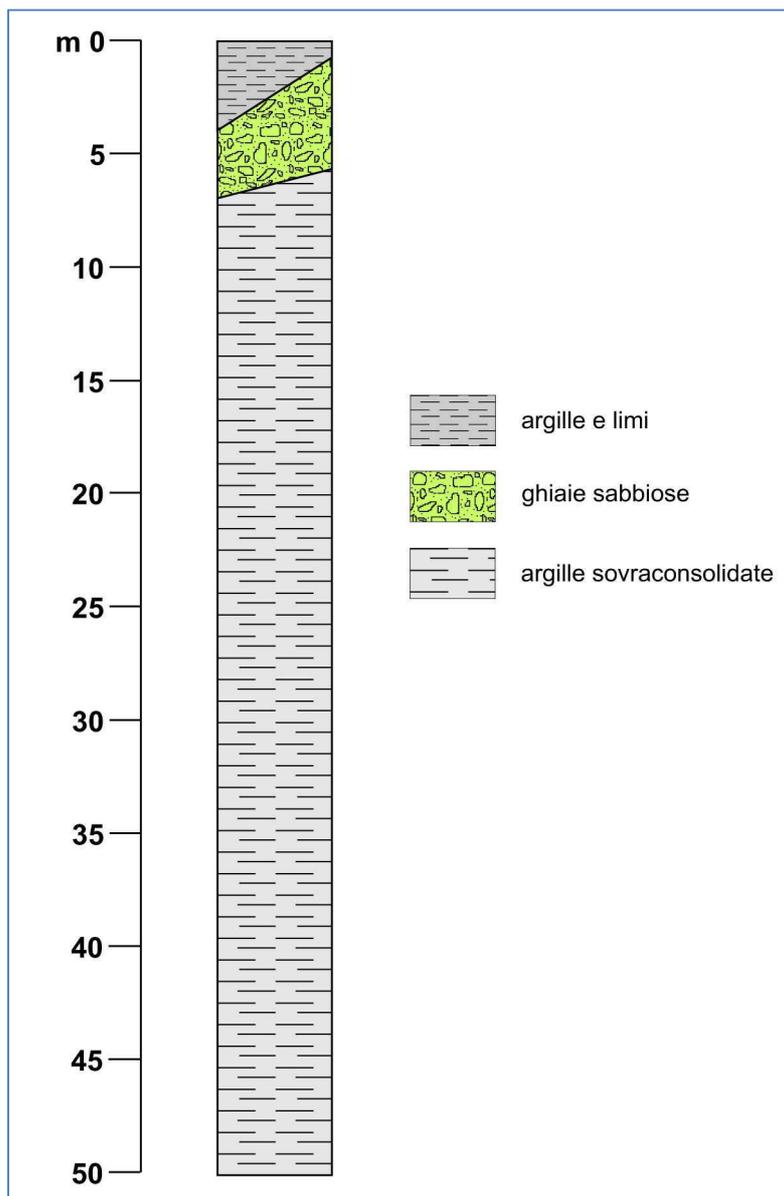


Fig. 26 – Successione stratigrafica cod. 2009

Zona 10 (cod. 2010)

Questa zona è stata individuata nella fascia di raccordo tra la zona di fondovalle ed i rilievi collinari degli abitati di Ozzano Taro e Gaiano. Il sottosuolo è caratterizzato da una coltre superficiale limo-argillosa dello spessore di 4.00÷7.00 m, mascherante depositi alluvionali ghiaiosi dello spessore di 4.00÷8.00 metri, poggianti su un substrato coesivo sovraconsolidato non rigido di ambiente marino (Argille Azzurre) (Fig. 27).

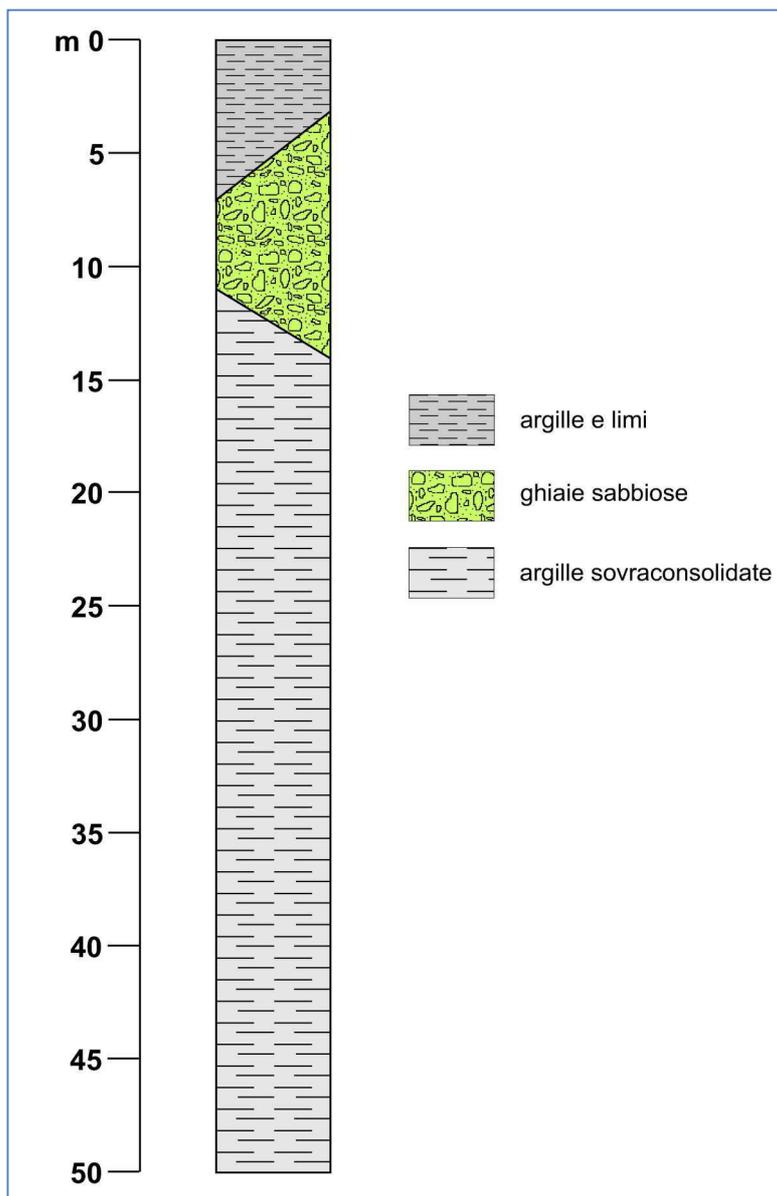


Fig. 27 – Successione stratigrafica cod. 2010

Zona 11 (cod. 2011)

Questa zona è stata individuata lungo il versante a monte degli abitati di Ozzano Taro e Gaiano, nella fascia di margine appennino dove affiorano le Argille Azzurre. Il sottosuolo è caratterizzato da un substrato coesivo sovraconsolidato non rigido di ambiente marino con coltre superficiale di alterazione di spessore 3.00÷6.00 m (Fig. 28).

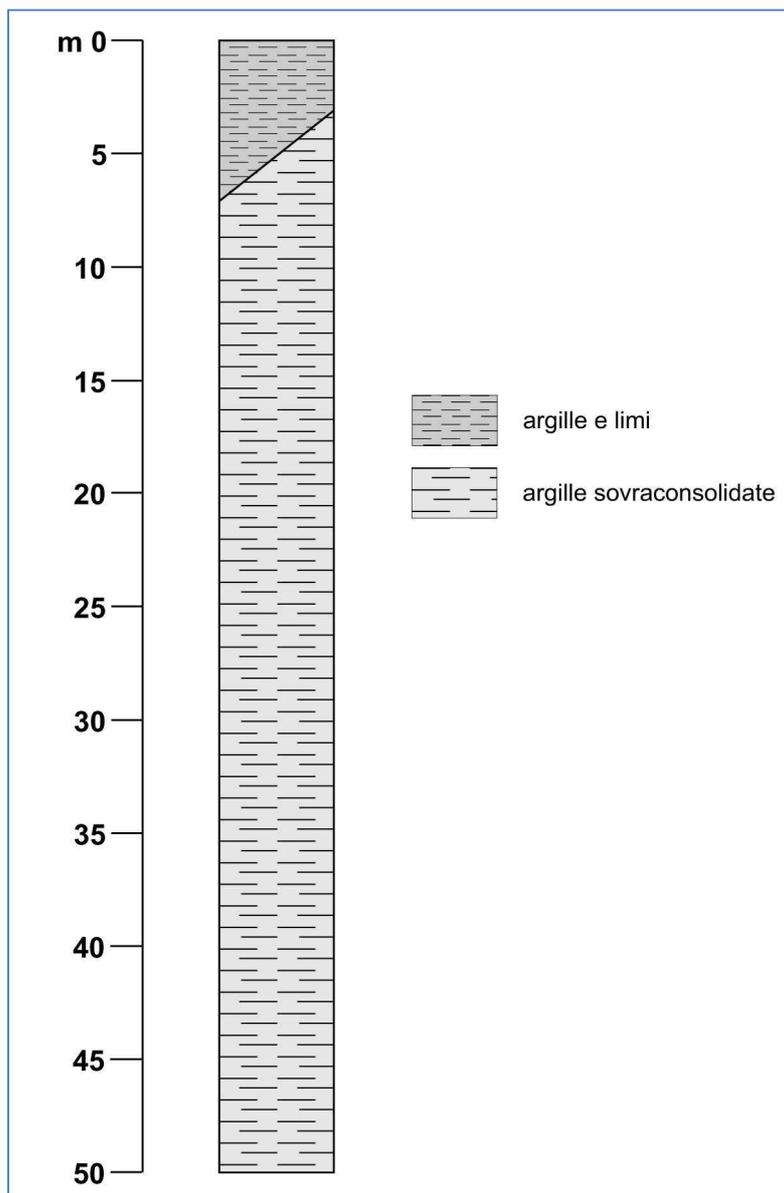


Fig. 28 – Successione stratigrafica cod. 2011

## 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  $V_s$  con indicazione del valore in m/s di  $V_{sH}$ , in cui H esprime lo spessore dei depositi di copertura o la profondità del substrato non rigido.

Sono state altresì distinte le misure di  $V_s$  sulla base della tecnica impiegata: MASW, Re.Mi, ecc. (Fig. 29).

 <p>Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti</p>	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Luglio 2017 aggiornamento Febbraio 2018	48 di 76

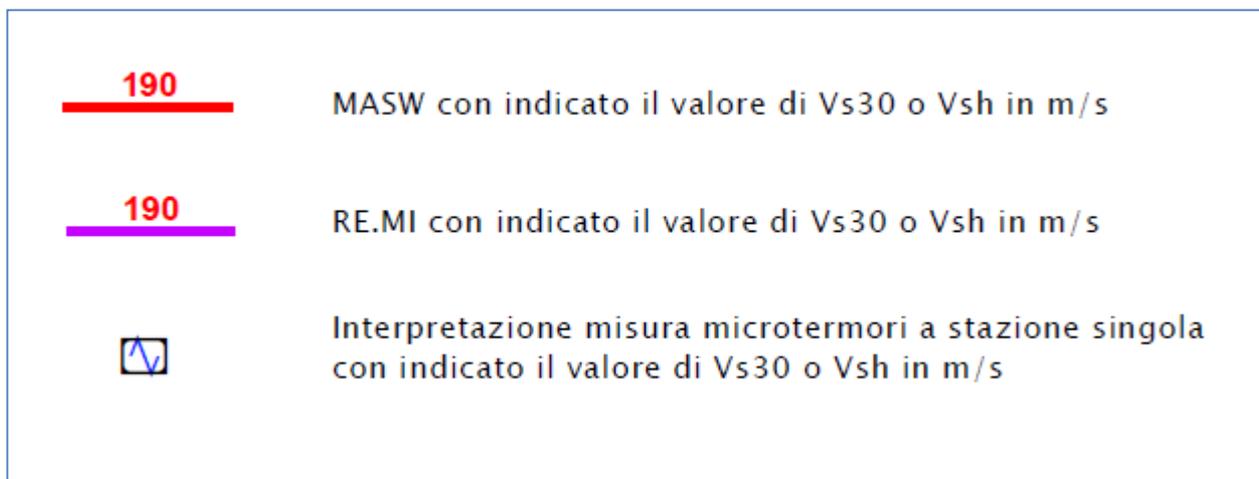


Fig. 29 – Legenda della carta delle velocità delle onde di taglio S

Con riferimento alle zone individuate nella carta delle MOPS, alle varie microzone sono stati attribuiti i seguenti valori delle velocità delle onde di taglio:

MOPS	Spessore copertura H (m)	Velocità delle onde di taglio (m/s)
2001	5	200
2002	5	200
2003	8	250
2004	5	250
2005	10	250
2006	20	300
2007	15	300
2008	25	300
2009	25	300
2010	5	200
2011	5	200

Tab. 5 – Valori di  $V_{SH}$  relativi alle microzone

Per le microzone dalla 2001 e la 2008, lo spessore H corrisponde alla profondità dei depositi fini sovrastanti il primo livello ghiaioso, che genera un significativo contrasto di impedenza.

Nella microzona 2009, situata nel fondovalle del F. Taro, si è assunto come valore di H la profondità di un contrasto di impedenza individuato all'interno del substrato non rigido costituito dalle Argille Azzurre, in cui le onde di taglio raggiungono velocità prossime a 600 m/s.

Per la microzona 2010 lo spessore H è stato assunto pari a quello della coltre fine che ricopre i sedimenti ghiaiosi di modesta potenza, a loro volta sovrastanti le Argille Azzurre, in quanto il passaggio tra sedimenti grossolani e substrato non rigido sembra non generare contrasti di impedenza.

Nella microzona 2011 invece il valore di H corrisponde allo spessore della coltre di alterazione delle Argille Azzurre.

## 7.6 Carta di microzonazione sismica

Gli elaborati grafici in cui sono riportati i risultati del presente studio sono le Carte dei fattori di amplificazione. In esse viene raffigurata la stima dell'amplificazione effettuata 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 ( $0.1s < T_0 < 0.5s$  e  $0.5s < T_0 < 1.0s$ ), 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.

Per la definizione dell'amplificazione sono state utilizzate le tabelle e le formule indicate dell'Allegato A2 degli indirizzi regionali (DGR 21.12.2015, n° 2193), in cui vengono distinti due ambienti geo-litologici omogenei principali relativi a: 1) zona collinare e montana (Appennino) e 2) pianura e zona costiera che comprende anche il settore di transizione Appennino-Pianura (Margine).

In ambiente di Appennino sono state individuate tre casi:

- depositi di copertura, con spessori sino a 50 metri, sovrastanti il sub-strato geologico rigido (depositi marini generalmente caratterizzati da  $V_s > 800m/s$ );
- depositi di copertura, con spessori sino a 50 metri, sovrastanti il substrato marino non rigido (depositi marini caratterizzati da  $V_s \ll 800 m/s$ );

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Luglio 2017 aggiornamento Febbraio 2018	50 di 76

- substrato marino non rigido affiorante o sub-affiorante (ovvero depositi marini caratterizzati da  $V_s \ll 800$  m/s, con spessore della copertura o della coltre di alterazione inferiore a 2,5 m).

Per l'ambiente della Pianura sono stati individuati i seguenti ambiti

- **PIANURA 1**: 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.;
- **PIANURA 2**: 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 bedrock sismico ( $V_s > 800$  m/s) a circa 150 m da p.c.;
- **PIANURA 3**: settore di pianura caratterizzato da elevati spessori di sedimenti prevalentemente fini e poco consolidati, alternanze di limi, argille e sabbie di ambiente alluvionale e transizionale, con substrato rigido a profondità non inferiori a 300 m da p.c.;
- **MARGINE**: settore di transizione tra la zona collinare (Appennino) e la pianura caratterizzato da terreni prevalentemente fini sovrastanti orizzonti grossolani (ghiaie, ghiaie sabbiose). Il substrato geologico è generalmente costituito da sabbie marine pleistoceniche o da peliti plio-pleistoceniche (substrato non rigido). Questo ambiente è ulteriormente suddiviso in:
  - **MARGINE settore A**: caratterizzato dallo spessore dei terreni sovrastanti gli orizzonti grossolani inferiore a 30 m da p.c. Gli strati grossolani sovrastano direttamente il substrato geologico. In questo caso si utilizza  $V_{sH}$ , compresa fra 150 e 300 m/s, dove  $H$  è la profondità, in metri dal p.c., del primo contrasto di impedenza significativo, spesso coincidente con il tetto delle ghiaie pleistoceniche;
  - **MARGINE settore B**: caratterizzato dallo spessore dei terreni fini sovrastanti gli strati di ghiaia generalmente superiore a 30 m. Gli strati grossolani sovrastano altri strati di terreni fini presenti sino al substrato. In questo caso si utilizza  $V_{s30}$  compresa fra 170 e 400 m/s.

In Fig. 30 vengono rappresentate le Zone oggetto del presente studio, distinte sulla base delle Tabelle utilizzate per l'attribuzione dei fattori di amplificazione.

Per quanto riguarda le Zone 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 - 7 - 8 e 12 sono state impiegate le tabelle degli indirizzi regionali denominate “*Margine di tipo A*” (Tab. 6), in quanto le aree oggetto di studio ricadono in un ambito caratterizzato da spessore dei terreni fini inferiore a 30 m sovrastanti gli

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Luglio 2017 aggiornamento Febbraio 2018	51 di 76

orizzonti grossolani; gli strati grossolani, con subordinate intercalazioni di materiali fini, sovrastano direttamente il substrato geologico situato generalmente a profondità di oltre 50 metri.

Limitatamente alla Zona 4, ricadente nel settore orientale del capoluogo, è stato effettuato un approfondimento di terzo livello, le cui risultanze sono riportate nel successivo Cap. 8. Per tale areale, pertanto, i fattori di amplificazione sono stati determinati attraverso una analisi numerica della Risposta Simica Locale.

Viceversa le Zone 9, 10, 11 e 13 ricadono in areali caratterizzati da coperture alluvionali o eluvio-colluviali di modesto spessore, che ricoprono direttamente un substrato geologico costituito dalle Argille Azzurre. Pertanto per queste zone sono state impiegate le tabelle "Appennino" degli indirizzi regionali riferite alla presenza di substrato non rigido ( $V_s \ll 800 \text{ m/s}$ ) con sovrastanti depositi di copertura (Tab. 7).

 <b>Studio di geologia</b> <i>dott. Stefano Castagnetti</i>	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Luglio 2017 aggiornamento Febbraio 2018	52 di 76

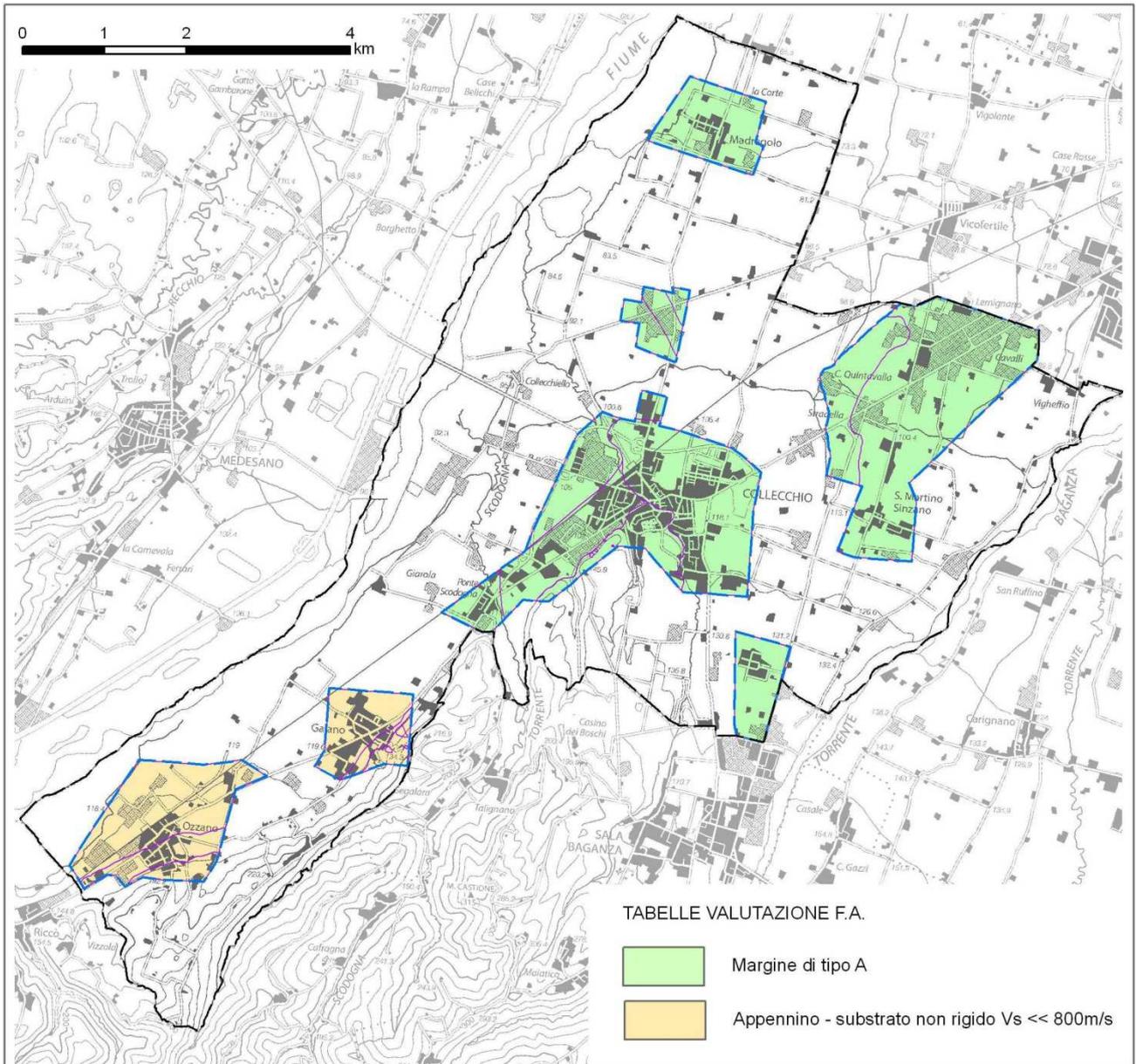


Fig. 30 – Rappresentazione delle Zone sulla base delle Tabele (DGR 21.12.2015, n° 2193) utilizzate per l'attribuzione dei fattori di amplificazione

	150	200	250	300	350	400
5	2.3	2.1	1.8	1.5		
10	2.3	2.2	2.0	1.8		
15	2.1	2.1	2.0	1.8		
20	2.1	2.1	2.0	1.9		
25	2.0	2.0	2.0	1.9		
30	1.9	1.9	1.9	1.9		

Fattori di Amplificazione **PGA**. Colonna 1  $H$  (m), riga 1  $V_{sH}$ (m/s)

	150	200	250	300	350	400
5	2.2	1.9	1.7	1.6		
10	2.6	2.4	2.0	1.8		
15	2.6	2.5	2.2	1.9		
20	2.5	2.5	2.3	2.0		
25	2.3	2.3	2.2	2.1		
30	2.1	2.1	2.1	2.0		

Fattori di Amplificazione **SI1** ( $0.1s \leq T_0 \leq 0.5s$ ). Colonna 1  $H$  (m), riga 1  $V_{sH}$ (m/s)

	150	200	250	300	350	400
5	1.8	1.7	1.6	1.6		
10	2.3	2.0	1.8	1.7		
15	3.2	2.6	2.1	2.0		
20	3.5	3.1	2.5	2.1		
25	3.7	3.4	2.8	2.4		
30	3.6	3.5	3.0	2.6		

Fattori di Amplificazione **SI2** ( $0.1s \leq T_0 \leq 0.5s$ ). Colonna 1  $H$  (m), riga 1  $V_{sH}$ (m/s)

Tab. 6 – Tabelle 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 MARGINE di Tipo A (da Allegato 2 degli indirizzi regionali)

	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

Fattori di Amplificazione PGA. Colonna 1  $H(m)$ , riga 1  $V_{sH}(m/s)$

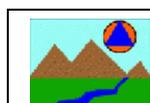
	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2.1	1.7	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	
10	2.6	2.3	1.9	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.3	
15	2.7	2.6	2.3	1.9	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	
20	2.6	2.6	2.4	2.1	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	
25	2.6	2.6	2.5	2.3	2.0	1.7	1.6	1.4	1.3	
30		2.4	2.4	2.3	2.1	1.8	1.6	1.5	1.3	
35		2.4	2.4	2.3	2.2	1.9	1.7	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

Fattori di Amplificazione SII ( $0.1s \leq T_0 \leq 0.5s$ ). Colonna 1  $H(m)$ , riga 1  $V_{sH}(m/s)$

	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

Fattori di Amplificazione SI2 ( $0.5s \leq T_0 \leq 1.0s$ ). Colonna 1  $H(m)$ , riga 1  $V_{sH}(m/s)$

Tab. 7 – Tabelle da utilizzare per la stima di F.A., in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA<sub>0</sub>) e Intensità di Housner (SI/SI<sub>0</sub>), nel caso di substrato marino non rigido con  $V_s \ll 800$  m/s (da Allegato 2 degli indirizzi regionali)



le tabelle dell'Allegato 2 degli indirizzi regionali, i fattori di amplificazione (F.A.) per gli areali oggetto di microzonazione sono riportati nella tabella seguente:

zona	tabella	valore Vs (m/s)	H (m)	fattori di amplificazione		
				P.G.A.	Is (0,1s<T <sub>0</sub> <0,5s)	F.A. Is (0,5s<T <sub>0</sub> <1,0s)
1	Pianura – Margine A	200	5	2.1	1.9	1.7
2	Pianura – Margine A	200	5	2.1	1.9	1.7
3	Pianura – Margine A	250	10	2.0	2.0	1.8
4	Pianura – Margine A	200	5	2.1	1.9	1.7
5	Pianura – Margine A	250	10	2.0	2.0	1.8
6	Pianura – Margine A	300	20	1.9	2.0	2.1
7	Pianura – Margine A	300	15	1.8	1.9	2.0
8	Pianura – Margine A	300	25	1.9	2.1	2.4
9	Appennino - Substrato non rigido con copertura	300	25	2.0	2.3	1.7
10	Appennino - Substrato non rigido con copertura	200	5	2.0	1.7	1.4
11	Appennino - Substrato non rigido con copertura	200	5	2.0	1.7	1.4
12	Pianura – Margine A	300	25	1.9	2.1	2.4
13	Appennino - Substrato non rigido con copertura	200	5	2.0	1.7	1.4

Tab. 8 - valori dei Fattori di Amplificazione sismica

## 8. APPROFONDIMENTI DI TERZO LIVELLO

### 8.1 Area considerata

L'approfondimento di terzo livello è consistito nella valutazione della risposta sismica locale (RSL) effettuata in corrispondenza del sondaggio a carotaggio continuo ovvero laddove era disponibile un'adeguata conoscenza di tutti i parametri necessari a definire il modello geofisico del sottosuolo.

Si ricorda che l'ubicazione del sondaggio è stata individuata di concerto con i responsabili del Servizio Urbanistica del Comune di Collecchio in corrispondenza di un areale nel Capoluogo di particolare interesse strategico, in quanto vi ricade la sede del COM, la sede dell'Assistenza Volontaria di Collecchio - Felino - Sala Baganza, i plessi scolastici della scuola primaria e della secondaria di primo grado, il Palazzetto dello sport "Leoni", la palestra comunale "Ori". Inoltre nel medesimo ambito vi è la previsione di un'importante futura trasformazione urbanistica con la delocalizzazione a nord dei campi sportivi e l'edificazione di strutture di pubblico interesse.

Con riferimento alla Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica, l'areale in questione ricade nella Zona 4 (cod. 2004).

Non sono invece stati sottoposti ad approfondimento di terzo livello le zone di attenzione per instabilità di versante, in quanto trattasi di limitate porzioni di territorio esterne alle aree urbanizzate e urbanizzabili.

### 8.2 Risposta sismica locale

Di seguito vengono fornite alcune informazioni di carattere generale sulle procedure di valutazione di risposta sismica locale. Nei successivi paragrafi saranno poi illustrati i risultati di dettaglio della RSL.

#### 8.2.1 Pericolosità sismica di base

Nel caso della valutazione della risposta sismica locale di 3° livello nell'ambito della microzonazione sismica i parametri di riferimento (PGA su suolo di categoria A, spettri di risposta rappresentativi e segnali di riferimento) sono definiti dall'Allegato A4 della DGR 2193/2015 della Regione Emilia Romagna.

In particolare l'Allegato A4 contiene:

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Luglio 2017 aggiornamento Febbraio 2018	57 di 76

- la forma dello spettro di risposta normalizzato rappresentativo del moto sismico atteso per un periodo di ritorno di 475 anni (con smorzamento pari al 5%) in Emilia-Romagna;
- l'indicazione per la definizione dei valori di  $a_{refg}$  (10% di probabilità di superamento in 50 anni);
- le indicazioni per il reperimento e l'utilizzo dei segnali di riferimento selezionati.

Per il punto di indagine considerato 034009P186S186 (Sondaggio 1 presso il centro abitato di Collecchio) il parametro  $a_{refg}$ , ricavato per interpolazione dai valori dei nodi più vicini, risulta 0.151.

Di conseguenza, lo spettro elastico di risposta in accelerazione (Fig. 31) di riferimento per la valutazione della risposta sismica locale, ed il conseguente spettro di risposta in velocità, per il calcolo dell'intensità di *Housner* (Fig. 32), sono i seguenti:

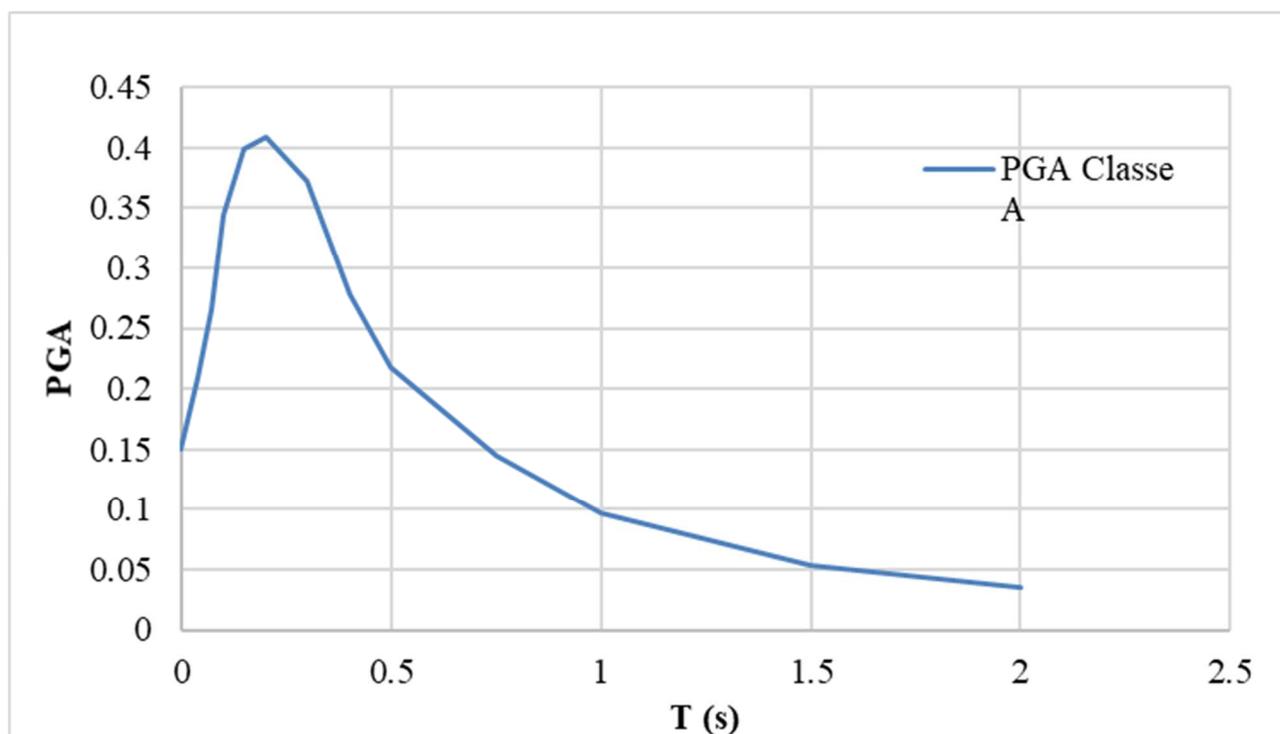


Fig. 31 – Spettro di risposta elastico in accelerazione su suolo A (475Y)

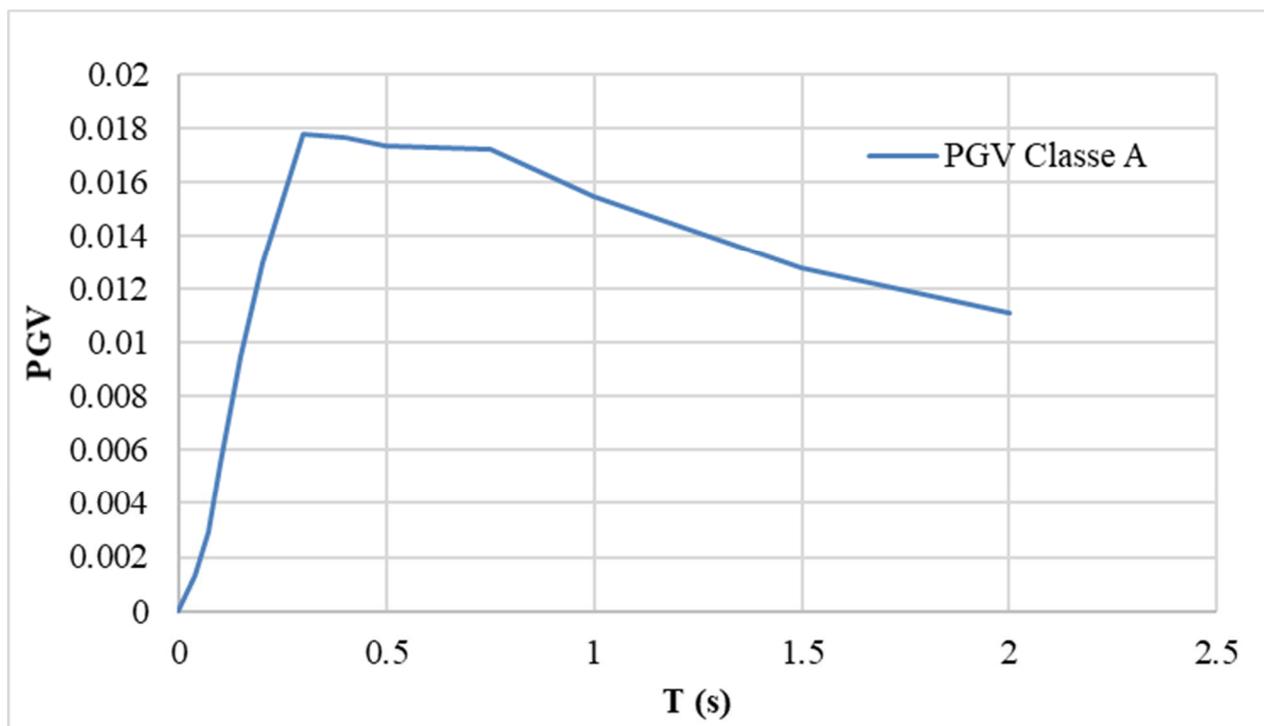


Fig. 32 – Spettro di risposta elastico in velocità su suolo rigido (475Y)

### 8.2.2 Segnali in input

Quali dati di input sismico sono stati utilizzati, oltre a quelli forniti dalla Regione Emilia Romagna secondo le indicazioni della DGR 2193/2015<sup>3</sup>, anche quelli forniti dal software SEISM-HOME<sup>4</sup> di Eucentre.

Tutti i segnali sono stati selezionati attraverso una procedura che valuta la similarità tra le forme spettrali di riferimento e la forma degli spettri di risposta dei segnali contenuti nelle banche dati.

Nel caso dei sismogrammi RER, il confronto è avvenuto con la forma dello spettro di risposta isoprobabile, con il 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni, così come rappresentato in Fig. 31, mentre, nel caso di SEISM\_HOME, il confronto viene effettuato con lo spettro di risposta indicato dalla NTC 2008, sempre con il 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni.

<sup>3</sup> disponibili nel sito web del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale [www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica](http://www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica)

<sup>4</sup> Rota M., Zuccolo E., Taverna L., Corigliano M., Lai C.G., Penna A. [2012] “Mesozonation of the Italian territory for the definition of real spectrum-compatible accelerograms”, Bulletin of Earthquake Engineering, Vol. 10, No. 5, pp. 1357-1375.

Il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale fornisce 3 segnali per ciascun comune; SEISM-HOME, invece, fornisce 7 accelerogrammi per ciascun nodo del reticolo di riferimento della pericolosità sismica locale dell'Allegato A delle NTC 2008.

Nel complesso, quindi sono stati utilizzati 10 diversi accelerogrammi per le verifiche di risposta sismica locale. Ovviamente, tutti i sismi sono stati scalati in accelerazione per ottenere un valore massimo di input compatibile con quello previsto dalla RER e indicato in Fig. 31.

RER	SEISM-HOME
000046xa_034010Colorno.xy	TR475_ID15383_1
000126xa_034010Colorno.xy	TR475_ID15383_2
000354xa_034010Colorno.xy	TR475_ID15383_3
	TR475_ID15383_4
	TR475_ID15383_5
	TR475_ID15383_6
	TR475_ID15383_7

Tab. 9 – Segnali in input utilizzati nelle analisi di RSL

### 8.2.3 Modello geofisico del sottosuolo

La valutazione della risposta sismica locale richiede un'accurata modellazione delle caratteristiche geofisiche del sottosuolo, principalmente basata sui seguenti parametri:

- litologia;
- velocità delle onde sismiche di taglio ( $V_s$ );
- curve di variazione dello smorzamento ( $D$ ) e della rigidezza ( $G/G_0$ ) in funzione della deformazione e densità in situ,

Tale modellazione andrebbe spinta in profondità fino a raggiungere il *bedrock* sismico, che teoricamente dovrebbe essere uno strato con velocità  $V_s > 800$  m/s, difficilmente raggiungibile nelle zone in questione.

#### 8.2.3.1 Litologia

Per la determinazione delle caratteristiche litologiche sono stati utilizzati, principalmente, i dati della stratigrafia del sondaggio. L'integrazione della stratigrafia fino al *bedrock* sismico (il

 <p>Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti</p>	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Luglio 2017 aggiornamento Febbraio 2018	60 di 76

sondaggio raggiunge la profondità di 30 m) è stata effettuata mediante l'utilizzo di dati al contorno, tipicamente stratigrafie di pozzi.

#### 8.2.3.2 Determinazione della $V_s$ e del *bedrock* sismico

La determinazione della  $V_s$  in funzione della profondità è stata effettuata mediante una prova Down-Hole in foro di sondaggio fino a 30 m.

La prova ha fornito valori di  $V_s$  variabili con la profondità in relazione alla presenza di alternanze di litologie coesive o granulari (ghiaie).

Il valore di  $V_{s30}$  calcolato è risultato  $V_{s,30} = 446.8$  m/s.

 <b>Studio di geologia</b> <i>dott. Stefano Castagnetti</i>	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Luglio 2017 aggiornamento Febbraio 2018	61 di 76

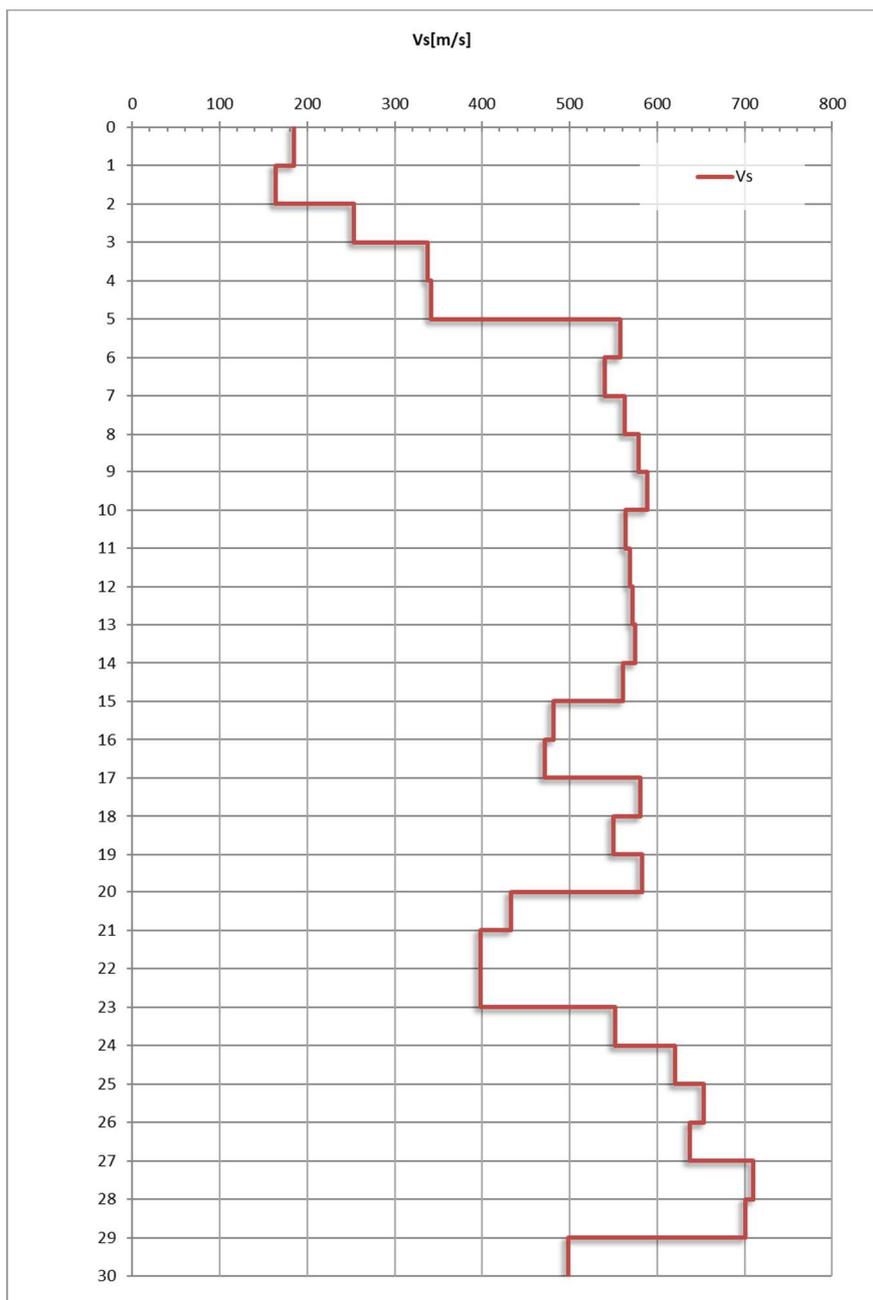


Fig. 33 – Valori di Vs misurati nella prova DH

Considerato che le ghiaie presenti nel sondaggio presentano valori di Vs molto elevati (oltre 700 m/s) per i terreni tra 28 e 29 m di profondità, si è ritenuto di poter utilizzare tale strato quale bedrock sismico.

Va detto che in via preliminare si erano ipotizzate altre soluzioni, si erano, cioè, ricercati altri strati ghiaiosi ad elevato spessore nei depositi sottostanti. Le stratigrafie dei pozzi al contorno,

tuttavia hanno evidenziato che la successione di ghiaie e argille che caratterizza i primi 30 m si ripete fino ad elevate profondità.

Sulla base del database regionale relativo alle stratigrafie dei pozzi si erano ipotizzate profondità del bedrock a **76 m** e/o poi a **139 m**.

Le modellazioni effettuate, tuttavia, hanno evidenziato che lo spostamento del bedrock a tali profondità non alterava significativamente la risposta sismica locale. Per questo motivo, nel presente studio si è scelto di mantenere il bedrock all'interno dei 30m studiati dal sondaggio.

La discretizzazione della Vs in funzione della profondità, utilizzata per la RSL, pertanto, è quelle illustrata in Tab. 10 ed in Fig. 34

CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE	V <sub>s</sub> [m/s]	H [m]
ghiaia limo-sabbiosa	170	2
ghiaia limo-sabbiosa	340	5
ghiaia limo-sabbiosa	560	15
limo argilloso con materiale organico	470	17
limo argilloso con materiale organico.	580	20
limo argilloso con materiale organico	400	24
ghiaia con limo sabbiosa	640	27

Tab. 10 – Modello litostratigrafico con associate le velocità Vs discretizzate

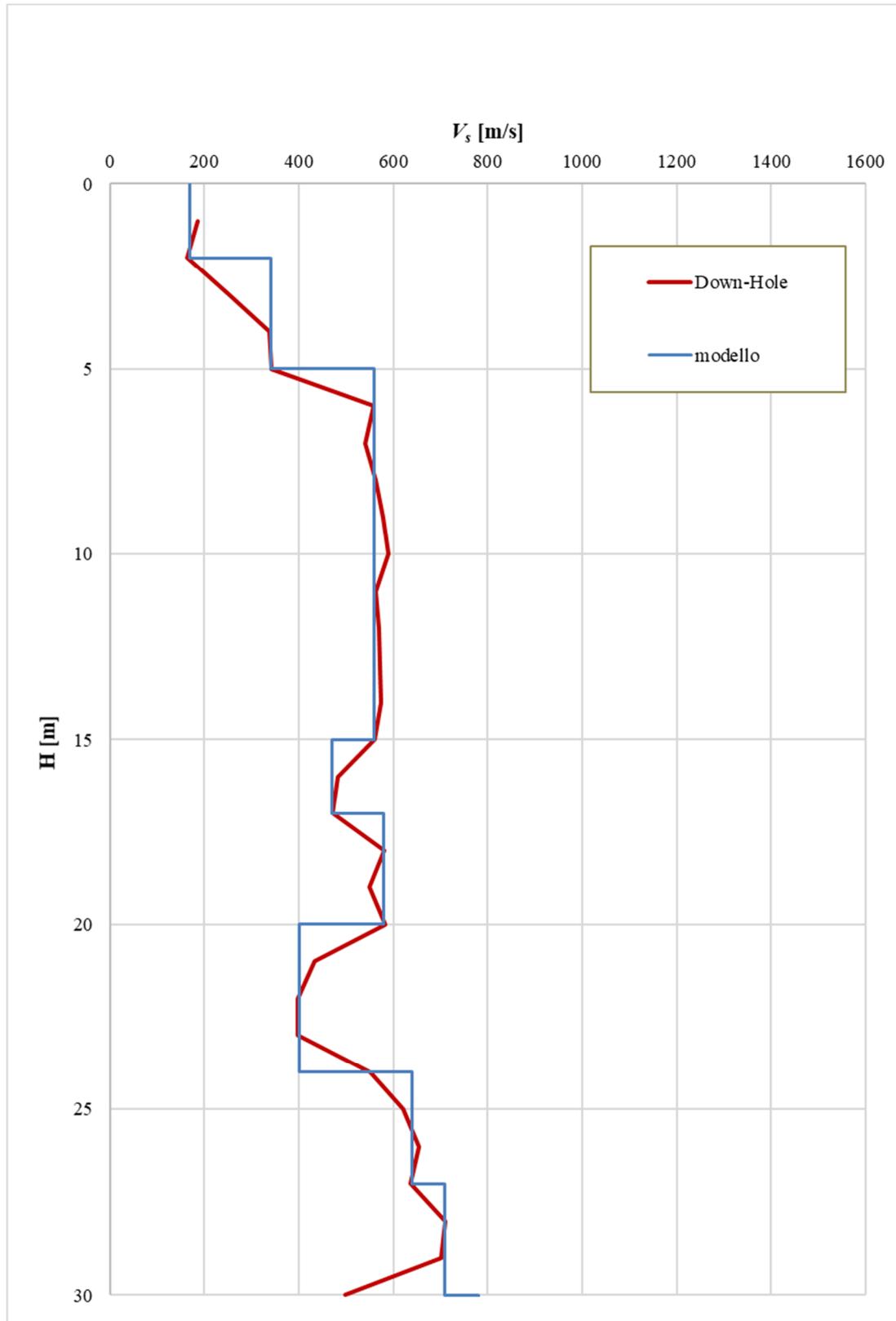


Fig. 34 – Discretizzazione della  $V_s$

### 8.2.3.3 Curve di variazione dello smorzamento (D) e della rigidezza ( $G/G_0$ ) in funzione della deformazione

Per la valutazione delle curve di variazione del rapporto di smorzamento (D) e del decadimento del modulo di taglio normalizzato (rigidezza,  $G/G_0$ ) in funzione della deformazione di taglio  $\gamma$ , è stata realizzata una prova di laboratorio sul campione prelevato nel corso del sondaggio.

In particolare è stata realizzata una prova in colonna risonante (RC). Tale prova ha fornito dati sperimentali che ha consentito di definire le leggi di variazione dei parametri D e  $G/G_0$  mediante il modello iperbolico di Yokota (1981).

Le leggi di variazione proposte da Yokota sono le seguenti:

$$\frac{G}{G_0} = \frac{1}{1 + \alpha\gamma^\beta}$$

$$D = \eta e^{-\lambda \frac{G}{G_0}}$$

dove:

$G/G_0$  = modulo di taglio normalizzato

D = rapporto di smorzamento

$\gamma$  = deformazione di taglio

$\alpha, \beta, \eta, \lambda$  = parametri sperimentali del modello

Il fit dei dati sperimentali alle funzioni sopra descritte è stato effettuato con il metodo dei minimi quadrati ( $X^2$ ).

In Fig. 35 è riportato il grafico della procedura di normalizzazione utilizzata per il campione S1SH1.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Luglio 2017 aggiornamento Febbraio 2018	65 di 76

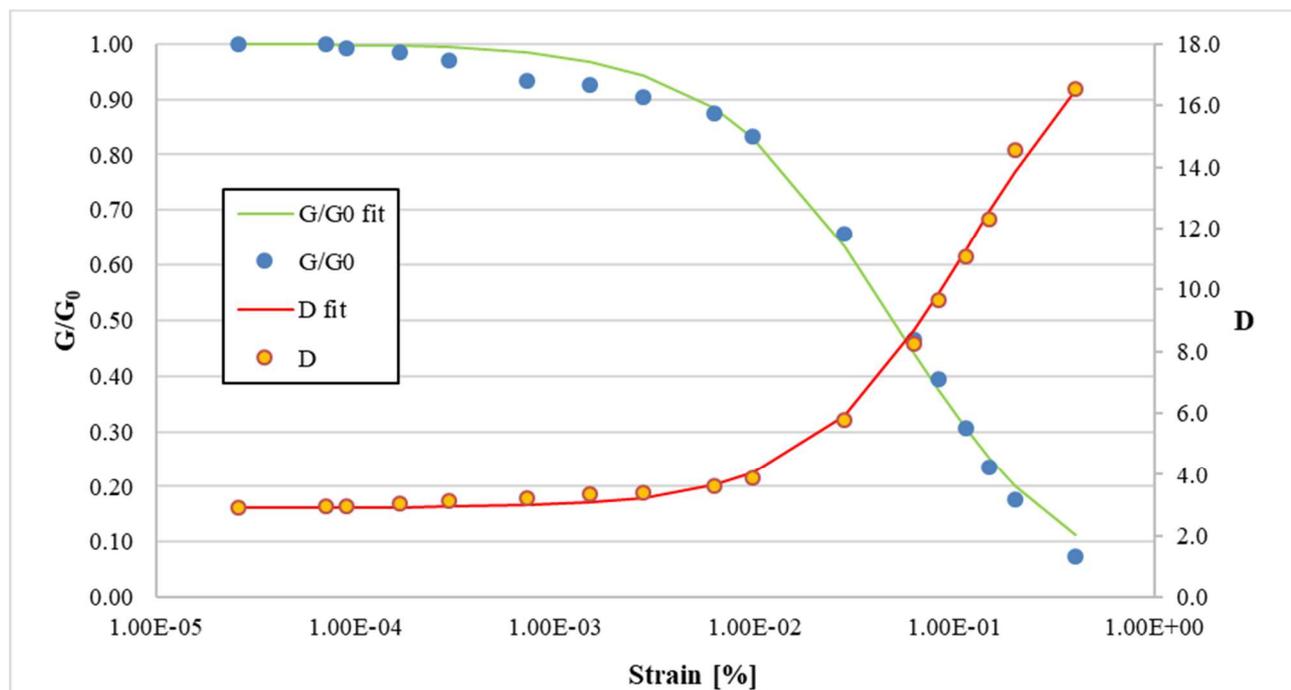


Fig. 35 – Grafico dei dati sperimentali e delle curve di interpolazione per il campione S1SH1

Per i depositi ghiaiosi sono stati utilizzati parametri di bibliografia (Rollins), data l'impossibilità di prelevare campioni indisturbati nei terreni grossolani.

Il riepilogo dei risultati delle analisi effettuate, è riportato in Tab. 11, mentre in Tab. 12 sono indicati i valori delle proprietà indice dei terreni analizzati.

In Fig. 36 sono riportati i grafici delle curve sintetiche relative a tutti i tipi di depositi utilizzati nel modello geofisico.

CAMPIONE	PROFONDITÀ [m]	LITOLOGIA (AGI)	PROVA	$G_0$ [MPa]	$\alpha$	$\beta$	$\eta$	$\lambda$
CO-S1H1	16.50-17.00	limo con argilla	RC	113.32	19.28	0.98	20.59	1.96
Rollins		Ghiaie			21.55	0.8	14.7	3.08

Tab. 11 – Riepilogo dei risultati della ricostruzione delle curve sperimentali

CAMP.	PROFONDITÀ [m]	LITOLOGIA (AGI)	VALORI INDICE						GRANULOMETRIA (AGI)			
			W	$\gamma_{nat}$	$\gamma_{sec}$	LL	LP	IP	Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla
			%	Mg/m <sup>3</sup>	Mg/m <sup>3</sup>	%	%	%	%	%	%	%
S1S H1	16.50-17.00	limo con argilla debolmente sabbioso marrone con screziature nerastre e tracce di sostanza organica	26.1	1.98	1.57	52	25	27	0.0	6.7	65.7	27.5

Tab. 12 – Riepilogo delle proprietà indice dei terreni analizzati

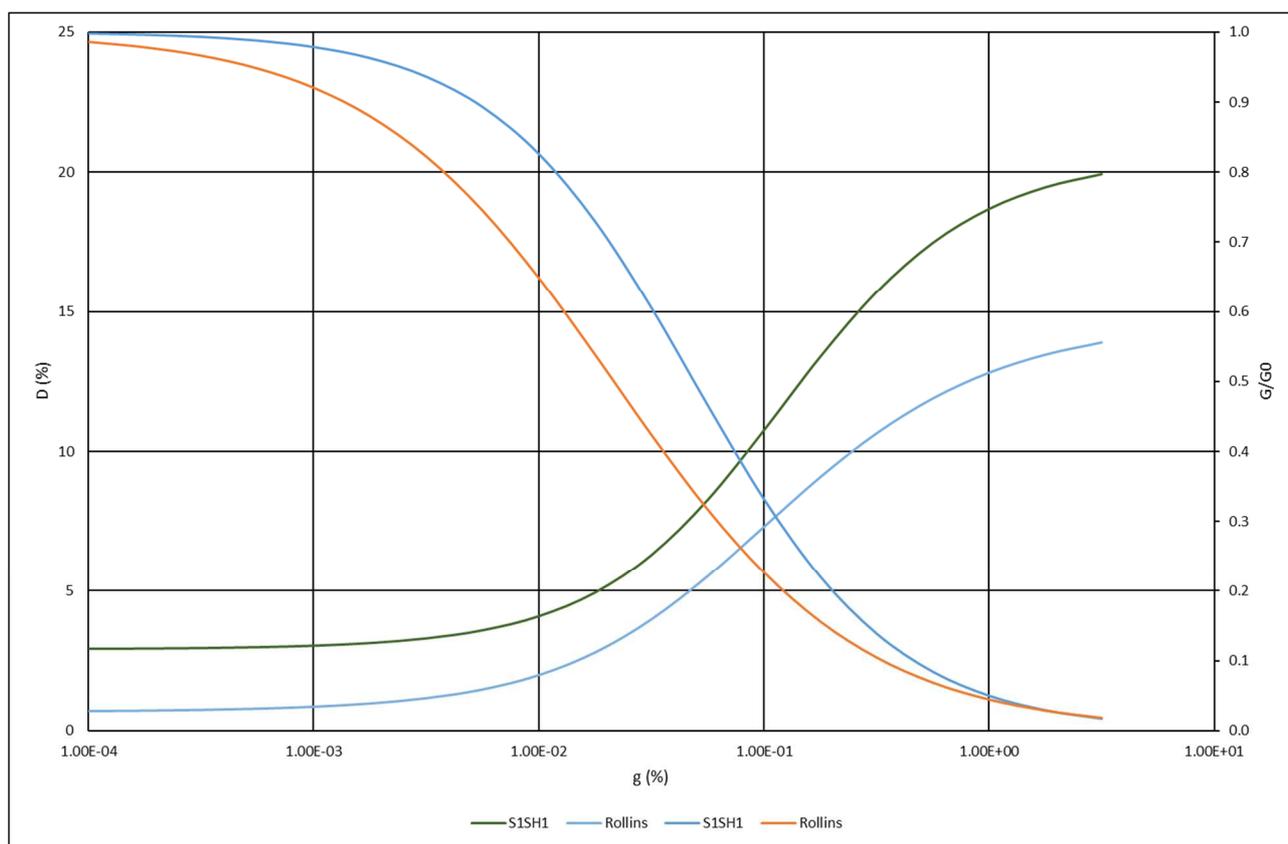


Fig. 36 – Grafico delle curve di interpolazione  $G/G_0$  e  $D$  per tutti i tipi di terreno del modello geofisico utilizzato

### 8.2.4 Codice di calcolo per la valutazione della RSL

Per la valutazione della risposta sismica locale è stato utilizzato il codice di calcolo Strata<sup>5</sup> sviluppato da A. Kottke e E. Rathje<sup>6</sup>. Validazioni indipendenti di Strata sono riportate in letteratura (Graizer<sup>7</sup>, 2001), con esito soddisfacente.

Strata calcola la risposta dinamica monodimensionale (1D) di una colonna di terreno utilizzando un modello di propagazione lineare delle onde, con proprietà dinamiche del terreno (proprietà elastiche e smorzamento) variabili in funzione del livello deformativo.

Il programma adotta le seguenti convenzioni:

- La risposta del deposito è causata da onde di taglio polarizzate orizzontalmente che si propagano verticalmente nel *bedrock* verso la superficie lungo una colonna verticale monodimensionale di terreno;
- Le superfici di stratificazione sono orizzontali;
- Le superfici del *bedrock* e delle stratificazioni si estendono lateralmente all'infinito;
- La stratificazione è lateralmente omogenea;
- La superficie topografica è priva di irregolarità.

La valutazione della RSL è stata effettuata utilizzando il modello "lineare equivalente" (EQL), che considera la variazione dei parametri di rigidità e smorzamento dei terreni in funzione della deformazione indotta dal sisma.

### 8.2.5 Risultati della modellazione numerica

I risultati della analisi condotte con il codice STRATA, elaborati nel dominio del tempo e delle frequenze, hanno consentito di definire:

- la funzione di trasferimento del segnale sismico dal *bedrock* alla superficie;
- lo spettro di risposta elastico in pseudoaccelerazione (PSA), da cui è stato derivato, mediante la formula  $PSV(T_i) = T_i \cdot PSA(T_i) / 2\pi$ , lo spettro di risposta elastico in

<sup>5</sup> Ellen M. Rathje; Albert Kottke (2010), "Strata," <https://nees.org/resources/strata>.

<sup>6</sup> Kottke, Albert R., and Rathje, Ellen M. (2008) Technical Manual for Strata. PEER Report 2008/10. University of California, Berkeley, California

<sup>7</sup> Treasure island geotechnical array – case study for site response analysis. 4th IASPEI / IAEE International Symposium: Effects of Surface Geology on Seismic Motion August 23–26, 2011 · University of California Santa Barbara

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Luglio 2017 aggiornamento Febbraio 2018	68 di 76

pseudovelocità (PSV); gli spettri rappresentati sono ottenuti come mediana dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output;

- il fattore di amplificazione in termini di picco di accelerazione (FAPGA), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido;
- il fattore di amplificazione di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in pseudovelocità (FAIS) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido. In sostanza viene calcolato il rapporto degli indici di Housner negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s per i due spettri indicati (superficie e suolo rigido). I rapporti risultano pertanto:

$$FA_{IS\ 0.1-0.5} = \frac{\int_{0.1}^{0.5} PSV_{superficie}(T) dt}{\int_{0.1}^{0.5} PSV_{suolo\ rigido}(T) dt}$$

$$FA_{IS\ 0.5-1.0} = \frac{\int_{0.5}^{1.0} PSV_{superficie}(T) dt}{\int_{0.5}^{1.0} PSV_{suolo\ rigido}(T) dt}$$

$$FA_{IS\ 0.5-1.5} = \frac{\int_{0.5}^{1.5} PSV_{superficie}(T) dt}{\int_{0.5}^{1.5} PSV_{suolo\ rigido}(T) dt}$$

- Lo sforzo ciclico di taglio (CSR) in funzione della profondità da utilizzare per le verifiche a liquefazione

### 8.2.6 RSL per il sito del sondaggio S1

I parametri del modello geofisico adottato sono i seguenti:

Soil Types				
	Name	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	G/G_max Model	Damping Model
1	ghiaia limo-sabbiosa superf.	20.00	Ghiaia 1 - Rollins	Ghiaia 1 - Rollins
2	limo argilloso con materiale organico prof.	18.00	Collecchio_limo con argilla debolm. Sabb. (17 m)	Collecchio_limo con argilla debolm. Sabb. (17 m)
3	ghiaia con limo sabbiosa prof.	21.00	Ghiaia 1 - Rollins	Ghiaia 1 - Rollins

Fig. 37 – Tipi di suolo del modello geofisico

Site Profile

	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	2.00	ghiaia limo-sabbiosa superf.	170.00
2	2.00	3.00	ghiaia limo-sabbiosa superf.	340.00
3	5.00	10.00	ghiaia limo-sabbiosa superf.	560.00
4	15.00	2.00	limo argilloso con materiale organico prof.	470.00
5	17.00	3.00	limo argilloso con materiale organico prof.	580.00
6	20.00	4.00	limo argilloso con materiale organico prof.	400.00
7	24.00	3.00	ghiaia con limo sabbiosa prof.	640.00
8	27.00	Half-Space	Bedrock	710.00

Fig. 38 – Modello geofisico

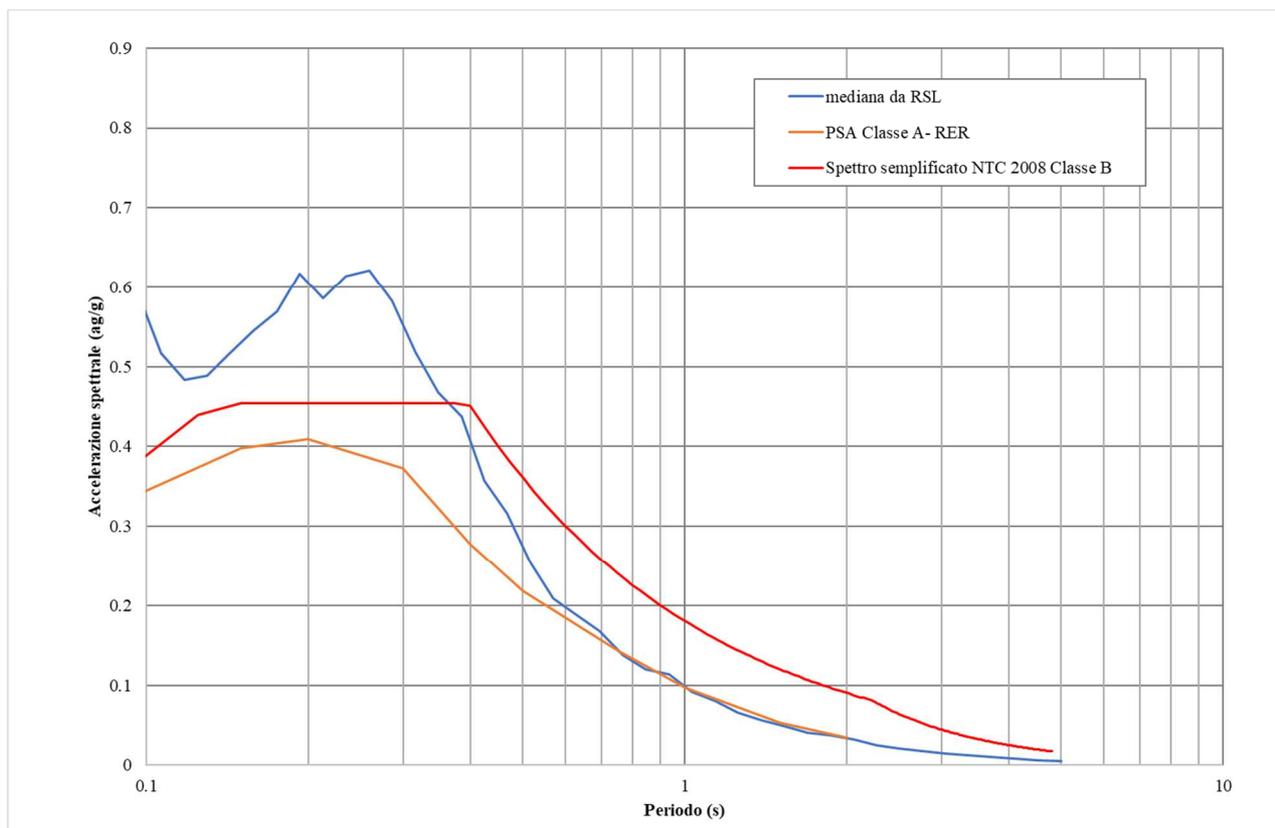


Fig. 39 – Confronto tra gli spettri elastici in accelerazione

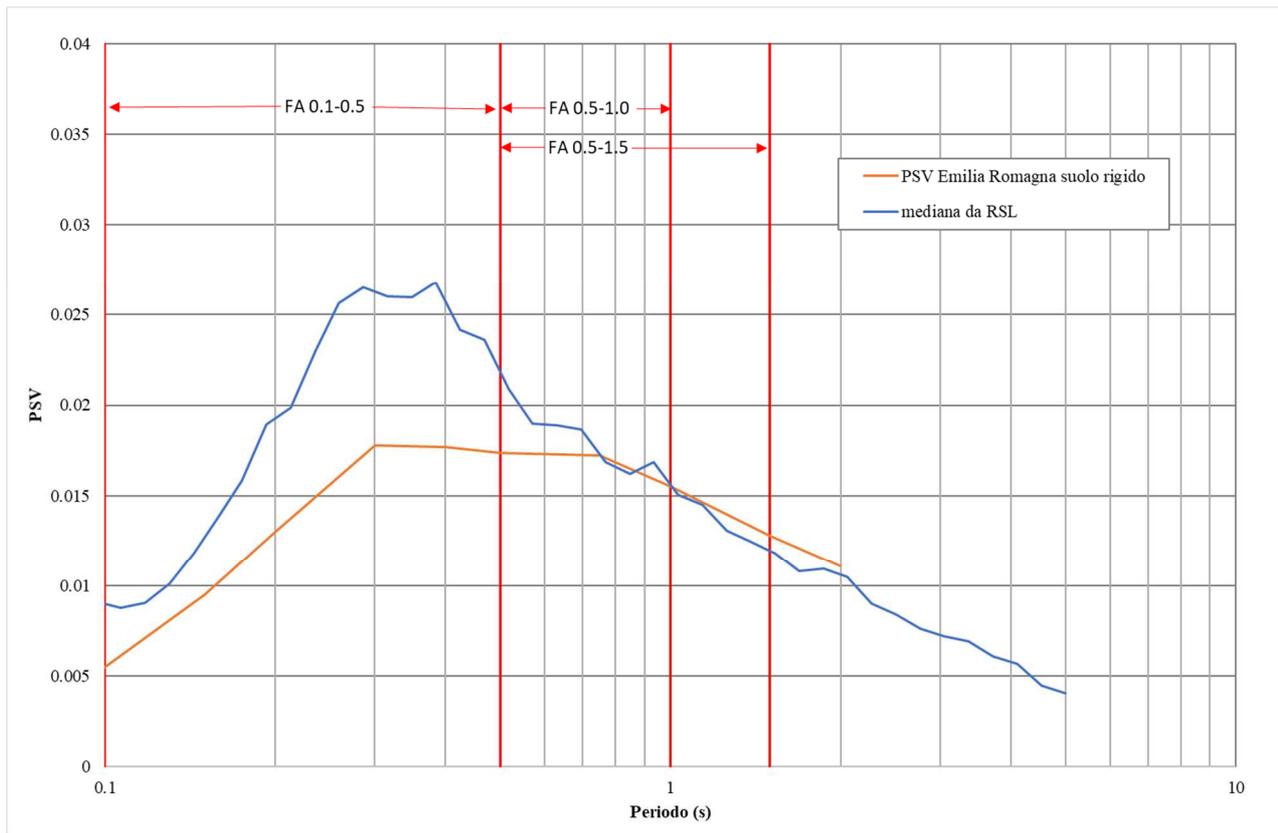


Fig. 40 – Confronto tra gli spettri elastici in velocità

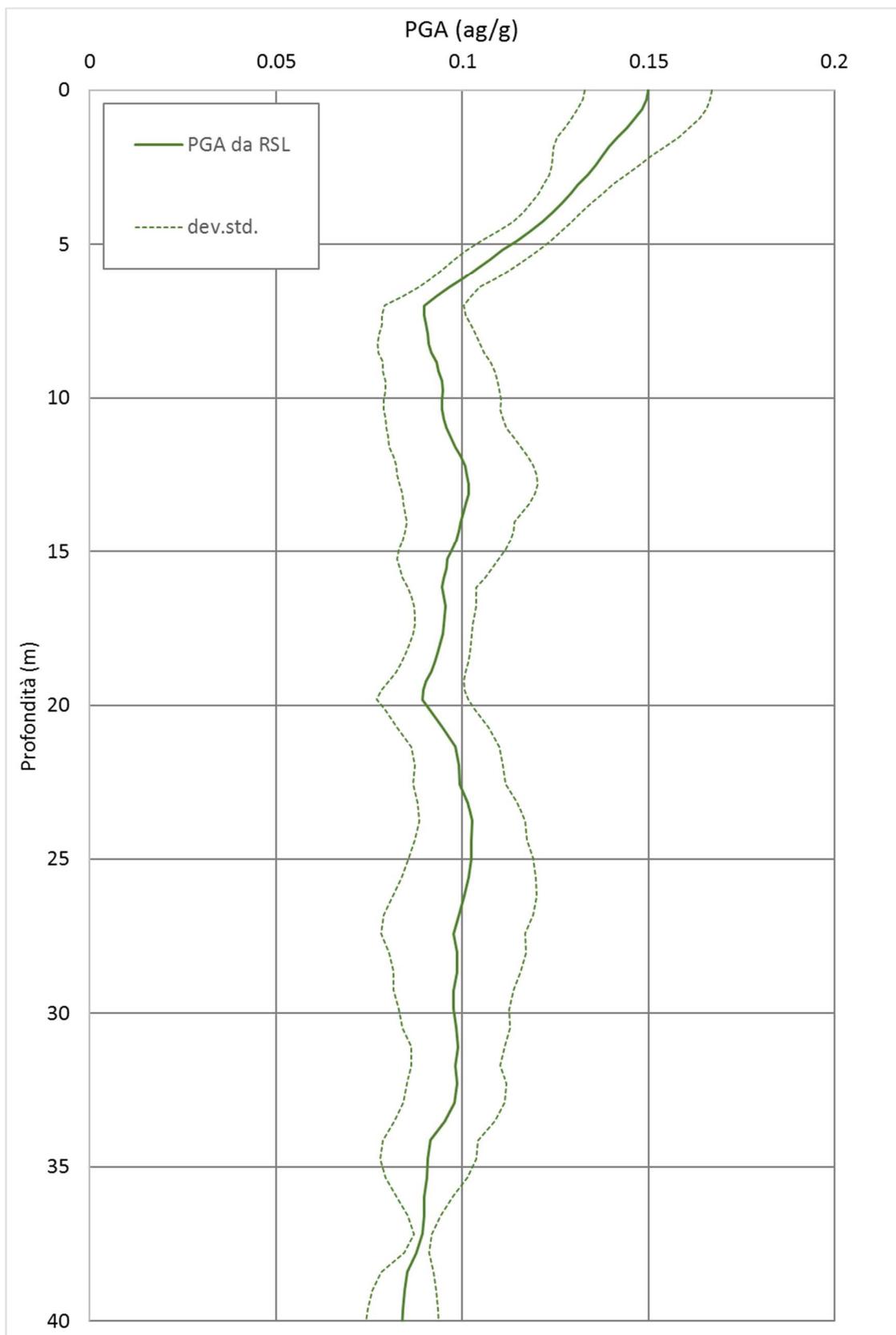


Fig. 41 – Variazione dell'accelerazione con la profondità

	Risposta Sismica Locale
$FA_{PGA}$	1.76
$FA_{IS\ 0.1-0.5\ s}$	1.42
$FA_{IS\ 0.5-1.0\ s}$	1.03
$FA_{IS\ 0.5-1.5\ s}$	0.98

Tab. 13 – Fattori di amplificazione

## 9. 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 Vs maggiore o uguale a 800 m/s).

Per l'intero territorio urbanizzato e urbanizzabile, è stato possibile effettuare, tramite procedure semplificate (Livello 2), una microzonazione del territorio con attribuzione dei fattori di amplificazione.

Viceversa, limitatamente al settore orientale del capoluogo, è stato effettuato un approfondimento di Livello 3 relativamente alla definizione della Risposta Sismica Locale, in quanto in esso vi ricade la sede del COM, la sede dell'Assistenza Volontaria di Collecchio - Felino - Sala Baganza, i plessi scolastici della scuola primaria e della secondaria di primo grado, il Palazzetto dello sport "Leoni", la palestra comunale "Ori". Inoltre nel medesimo ambito vi è la previsione di un'importante futura trasformazione urbanistica con la delocalizzazione a nord dei campi sportivi e l'edificazione di strutture di pubblico interesse.

Sostanzialmente dallo studio effettuato è emersa una amplificazione in termine di PGA in gran parte omogenea su tutto il territorio studiato o comunque con limitate differenze. In particolare la differente amplificazione nel settore est del capoluogo è conseguente al livello di approfondimento di maggior dettaglio cui è stato sottoposto (Livello 3), rispetto ai restanti areali indagati.

L'amplificazione in termini di Intensità di Housner per periodi di 0,1÷0,5 secondi, rispecchia in gran parte una distribuzione simile a quella della PGA per la zona di pianura, con la differenza che una maggior amplificazione sembra manifestarsi principalmente nella zona di fondovalle del F. Taro, dove un contrasto di impedenza significativo sembra essere presente all'interno del substrato marino non rigido (Argille Azzurre) alla profondità di 20÷25 m dal piano campagna.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Luglio 2017 aggiornamento Febbraio 2018	74 di 76

Viceversa si riscontrano sostanziali differenze nella distribuzione dell'amplificazione relativa a I.S. per periodi 0,5÷1,0 secondi.

In particolare emerge che a seguito degli approfondimenti di Livello 3, l'areale est del Capoluogo non risulta soggetto ad amplificazione per i periodi di I.S. considerati. Al contrario i restanti areali, i cui i fattori di amplificazione sono stati determinati con metodo semplificato (Livello 2), evidenziano amplificazioni più elevate dove i depositi fini di copertura sono maggiori come nel settore S e SW del capoluogo.

 <i>Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti</i>	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Luglio 2017 aggiornamento Febbraio 2018	75 di 76

## 10. 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 –  $FA_{PGA}$
- Carta di microzonazione sismica –  $FA_{IS\ 0,1 - 0,5\ s}$
- Carta di microzonazione sismica –  $FA_{IS\ 0,5 - 1,0\ s}$

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.

 <b>Studio di geologia</b> <i>dott. Stefano Castagnetti</i>	Elaborato	Data	Pag.
	RELAZIONE ILLUSTRATIVA	Luglio 2017 aggiornamento Febbraio 2018	76 di 76