

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

# MICROZONAZIONE SISMICA

## Relazione illustrativa

Regione Emilia-Romagna

Comune di Castelvetro di Modena



Regione	Soggetto realizzatore	Data
<b>EMILIA-ROMAGNA</b>	<b>Dott. geol. Stefano Castagnetti</b> 	<b>OTTOBRE 2015</b>

## INDICE

1.	Introduzione.....	1
2.	Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento.....	4
2.1	Inquadramento tettonico .....	4
2.2	Caratteristiche sismotettoniche .....	7
2.3	Storia sismica.....	9
2.4	Classificazione sismica comunale.....	15
3.	Dati geotecnici e geofisici.....	19
4.	Modello del sottosuolo.....	20
5.	Interpretazioni e incertezze .....	22
6.	Metodologie di elaborazione e risultati .....	24
7.	Elaborati cartografici.....	26
7.1	Carta delle indagini .....	26
7.2	Carta geologico-tecnica .....	27
7.3	Carta delle frequenze naturali dei terreni.....	33
7.4	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica .....	37
7.5	Carta delle velocità delle onde di taglio S .....	47
7.6	Carta di microzonazione sismica – Livello 2 .....	48
7.7	Commenti finali e criticità .....	54
8.	Confronto della distribuzione dei danni degli eventi passati.....	55
9.	Elaborati .....	56

## 1. Introduzione

Nella presente Relazione illustrativa vengono descritte le attività svolte e i risultati ottenuti nel corso dello Studio di microzonazione sismica di II livello del Comune di Castelvetro di Modena (MO), effettuato su incarico dell'Unione Terre di Castelli (Contratto Prot. n° 1804/2014/C, stipulato il 23/04/2014) e finanziato con OPCM 20 febbraio 2013 n. 52 "Contributi per gli interventi di prevenzione del rischio sismico per l'annualità 2012" (G.U. n° 50 del 20.2.2013).

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 Castelvetro di Modena è dotato di uno studio di Microzonazione Sismica curato dallo scrivente professionista nel 2009, nel rispetto delle indicazioni tecniche di cui all'Atto di indirizzo e coordinamento tecnico approvato con D.A.L. 112/2007.

Tale studio, redatto a corredo del Quadro Conoscitivo del PSC intercomunale, fu rivolto al territorio dei Comuni di Castelnovo Rangone, Castelvetro di Modena, Savignano sul Panaro, Spilamberto e Vignola e fu oggetto di uno specifico accordo sottoscritto dall'Unione (Delibera G.U. n° 8/2008) con il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna, la Provincia di Modena e il CNR – Sezione di Milano, in quanto l'areale dell'Unione Terre di Castelli venne individuato quale area ottimale per testare le tabelle di calcolo contenute nell'All. 2 alla citata DAL 112/2007.

Lo studio non fu esteso all'intero territorio intercomunale, ma fu limitato ad alcuni areali per i quali il Documento Preliminare prevedeva una significativa trasformazione urbanistica.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	1 di 56

Il nuovo studio, partendo da tale base informativa, ha comportato l'acquisizione di ulteriori dati pregressi e l'esecuzione di una nuova campagna d'indagini, costituita da n° 25 prove tromografiche.

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

- Allegato C “Criteri per la realizzazione degli studi di microzonazione sismica, di cui all’Ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 52/2013 e Decreto del Capo Dipartimento della Protezione Civile del 15 aprile 2013” della deliberazione di Giunta regionale n. 1919 del 16.12.2013 “Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione dei contributi di cui all’Ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 52/2013 a favore degli Enti Locali” (di seguito “Allegato C della delibera regionale”)
- Allegato D “Indicazioni per l’archiviazione informatica, rappresentazione e fornitura dei dati degli studi di microzonazione sismica e dell’analisi della condizione limite per l’emergenza, di cui all’ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 52/2013 e decreto del 15 aprile 2013 del Capo del Dipartimento della Protezione Civile” della deliberazione di Giunta regionale n. 1919 del 16.12.2013 “Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione dei contributi di cui all’Ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 52/2013 a favore degli Enti Locali” (di seguito “Allegato D della delibera regionale”)
- “Microzonazione sismica - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica” - Versione 3.0, Roma, ottobre 2013 - 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 dell’Assemblea Legislativa della Regione Emilia Romagna n. 112 del 2.5.2007: Approvazione dell’Atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell’art.16 comma 1, della L.R. 20/2000 per “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica” (di seguito “Indirizzi regionali”).

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	2 di 56

Nel rispetto dei riferimenti tecnici sopra elencati, lo studio è stato articolato in due differenti fasi di approfondimento:

*PRIMO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO*, avente le seguenti finalità:

- Definire il modello geologico di base per la microzonazione sismica (litologia, stratigrafia, tettonica e loro rapporti geometrici).
- Individuare le aree suscettibili di effetti locali in cui effettuare le successive indagini di microzonazione sismica.
- Definire il tipo di effetti attesi.
- Indicare, per ogni area, il livello di approfondimento necessario.

*SECONDO LIVELLO DI APPROFONDIMENTO*, avente le seguenti finalità:

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

Le aree oggetto di MS presentano una superficie di circa 548 Ha, corrispondente a circa l'11% dell'intero territorio comunale.

Per l'archiviazione dei dati e l'editing dei documenti sono stati seguiti gli standard di riferimento forniti dall'Allegato D della Delibera regionale e dagli SRAI (Standard di rappresentazione e archiviazione informatica).

Per l'inserimento dei dati alfanumerici dei siti, delle indagini e dei parametri è stato utilizzato l'apposito software: "MS - SoftMS", versione 3.0.

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).

 <b>Studio di geologia</b> dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	3 di 56

## 2. Definizione della pericolosità di base e degli eventi di riferimento

### 2.1 Inquadramento tettonico

Il territorio dell'Unione Terre di Castelli, sotto il profilo geologico, ricade a cavallo del margine appenninico-padano, ovvero della zona costituita dalle colline del basso Appennino e della fascia pedemontana della Pianura Padana.

L'estremità meridionale del territorio, costituita dalle colline altimetricamente più elevate dei Comuni di Castelvetro di Modena e Savignano sul Panaro, è caratterizzata dalla presenza di unità tettoniche appartenenti al settore di catena appenninica, strutturate in un edificio a falde di ricoprimento, originatosi in seguito all'interazione tra le placche Africana ed Euroasiatica. Queste unità tettoniche sono rappresentate dalle Unità Liguri, costituite da successioni pelagiche deposte su crosta oceanica nell'arco di tempo compreso tra il Cretacico e l'Eocene medio, e dalla Successione Epiligure che si è deposta in discordanza sulle precedenti, tra l'Eocene medio e il Miocene.

Viceversa la zona mediana del territorio ricade nella fascia propriamente detta di margine appenninico-padano, in cui affiorano per lo più terreni appartenenti alla successione post-evaporitica, costituita da depositi in prevalenza pelitici (Formazione a Colombacci, Argille Azzurre). Tale successione alla base poggia sulle evaporiti messiniane (Formazione Gessoso-Solfifera), mentre al tetto è sigillata dai depositi continentali della Pianura Padana, affioranti estesamente nella porzione settentrionale del territorio dell'Unione.

La zona di apice della pianura modenese, che si sviluppa ai piedi dell'Appennino settentrionale e che è delimitata lateralmente dai fiumi Secchia e Panaro, si raccorda con il solco vallivo intercollinare a quote comprese fra 120 e 150 metri, in cui affiorano le successioni argillose del ciclo plio-pleistocenico, che verso valle rappresentano il substrato delle alluvioni pleistoceniche superiori e oloceniche costituenti la pianura e la sede dell'acquifero principale.

Il passaggio tra la sedimentazione marina e quella continentale è contraddistinto da depositi di transizione, quali sabbie e ghiaie di ambiente litorale e da peliti sabbiose e ghiaie di delta.

La Pianura Padana è infatti il risultato del riempimento del Bacino Perisuturale Padano, legato all'orogenesi dell'Appennino settentrionale, la cui successione di depositi plio-quadernari presenta carattere regressivo, con alla base sabbie e peliti torbiditiche, seguite da un prisma sedimentario fluvio-deltizio, progradante, ricoperto al tetto da depositi continentali.

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

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	4 di 56

al paleodelta del Po; la seconda, trasversale, nord-vergente, originata dai sistemi deltizi ad alimentazione appenninica.

Il riempimento del bacino padano ed il successivo passaggio alla sedimentazione continentale, non sono avvenuti in maniera progressiva e continua, ma sono il risultato di eventi tettonico-sedimentari “parossistici”, separati nel tempo da periodi di marcata subsidenza bacinale e movimenti ridotti delle strutture compressive. Ciò ha originato numerose superfici di discontinuità stratigrafica, che hanno permesso di suddividere i depositi di riempimento del bacino padano in unità stratigrafiche principali (Supersistema del Pliocene medio-superiore, Supersistema del Quaternario Marino e Supersistema Emiliano-Romagnolo) che, limitatamente a quelle affioranti nella zona in esame, sono oggetto di descrizione nei successivi capitoli.

I depositi affioranti della zona di pianura dell’Unione Terre dei Castelli sono riconducibili a sistemi deposizionali di conoide alluvionale, costituiti nella zona prossimale da depositi grossolani (ghiaie e sabbie) di canale fluviale, amalgamati tra loro a formare dei corpi tabulari coalescenti, mentre verso valle (zona di conoide distale) il progressivo aumento di sedimenti fini (peliti) determina la separazione dei corpi ghiaiosi.

Nella zona di fronte delle conoidi, individuabile circa all’altezza della via Emilia, le peliti sono riconducibili sia al sistema deposizionale della conoide stessa, che al sistema di sedimentazione della piana alluvionale, che si sviluppa sia al fronte che ai lati delle conoidi. È da segnalare inoltre come le conoidi più recenti, collocabili posteriormente al Neolitico, si presentino asimmetriche rispetto l’attuale corso dei corpi idrici, poiché questi ultimi sono migrati nel tempo verso occidente.

Sotto il profilo tettonico le recenti ricerche avviate dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna, sintetizzate nella “*Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna*” (2004), hanno messo in evidenza gli elementi strutturali del territorio, riconosciuti sulla base di dati morfologici e geologici (Fig. 1).

La fascia di alta pianura si inserisce in un contesto geodinamico caratterizzato da una tettonica a stile compressivo, che ha determinato un generale raccorciamento del margine appenninico e dell’edificio padano.

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

Il fascio più settentrionale, denominato *Fronte di accavallamento esterno* (External Thrust Front = ETF), appartiene all’arco delle “*Pieghe Emiliane e Ferraresi*” che costituiscono il fronte della catena appenninica, sepolto dai sedimenti quaternari padani, che circa all’altezza del Po sovrascorre verso nord sulla piattaforma padano-veneta.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	5 di 56

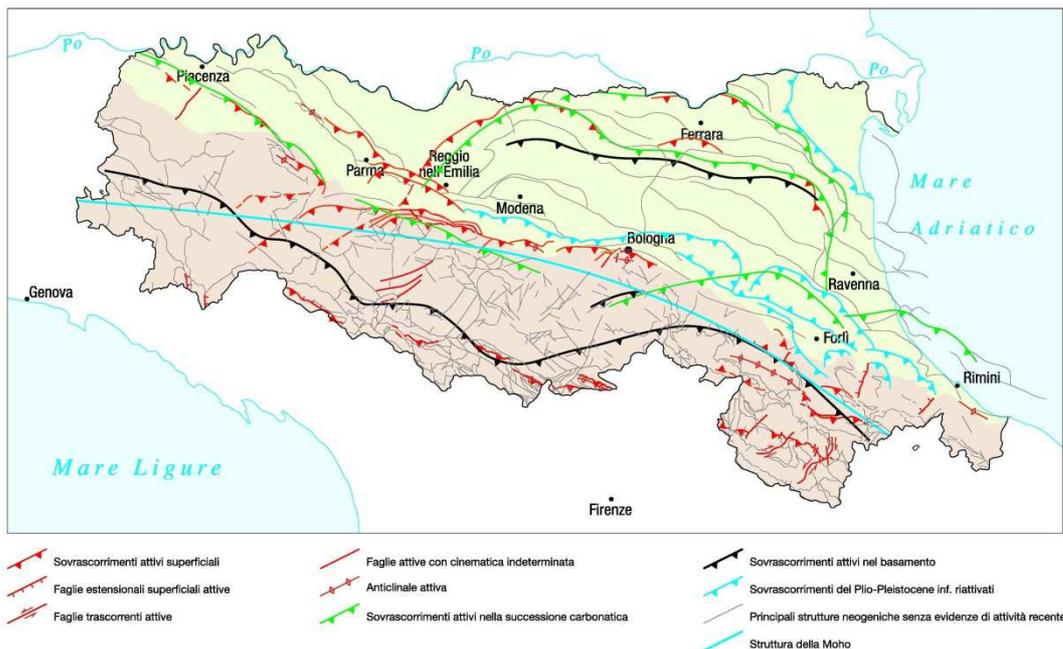


Fig. 1 - Attività neotettonica in Emilia-Romagna (da: “Note illustrative – Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna” - Servizio Geologico Sismico e dei Suoli - Regione Emilia-Romagna - 2004)

Il fascio meridionale, coincidente con il margine morfologico appenninico, si sviluppa nel sottosuolo in corrispondenza dei terrazzi pre-wurmiani ed è denominato *Fronte di accavallamento pedeappenninico* (Pedeapenninic Thrust Front = PTF). Anche questo fronte risulta coinvolto da discontinuità trasversali (linee) coincidenti con alcuni corsi d'acqua appenninici, tra i quali il F. Panaro, che delimitano settori a diverso comportamento tettonico-sedimentario.

In particolare l'areale di Castelvetro è caratterizzato dall'emersione del PTF, evidenziato da morfostrutture tipiche delle strutture attive e dallo sviluppo di una piccola anticlinale di thrust (Ghiselli e Martelli, 1997). Questa struttura emerge dai depositi attuali di pianura determinando la deformazione e il sollevamento di depositi sia marini, che continentali che presentano età che vanno dal Pliocene (Argille Azzurre), al Pleistocene medio-Olocene (Sintema Emiliano-Romagnolo Sup.).

L'attività recente ed attuale di tale struttura si manifesta nella morfologia, determinando il *tilting* di paleosuperfici (sia verso la pianura che verso i rilievi) e modificazioni sull'andamento idrografico locale. Infatti durante il sollevamento tettonico, mentre i corsi d'acqua principali mantengono il loro andamento originario, mostrando quindi relazioni di antecedenza rispetto all'anticlinale, i corsi d'acqua minori sono notevolmente influenzati dalla crescita dell'anticlinale.

Di conseguenza tali corsi d'acqua subiscono talvolta deflessioni, mentre in altri casi si osserva una inversione di drenaggio locale, con piccoli torrenti costretti a scorrere verso sud prima di essere catturati dal corso d'acqua principale (Fig. 2).

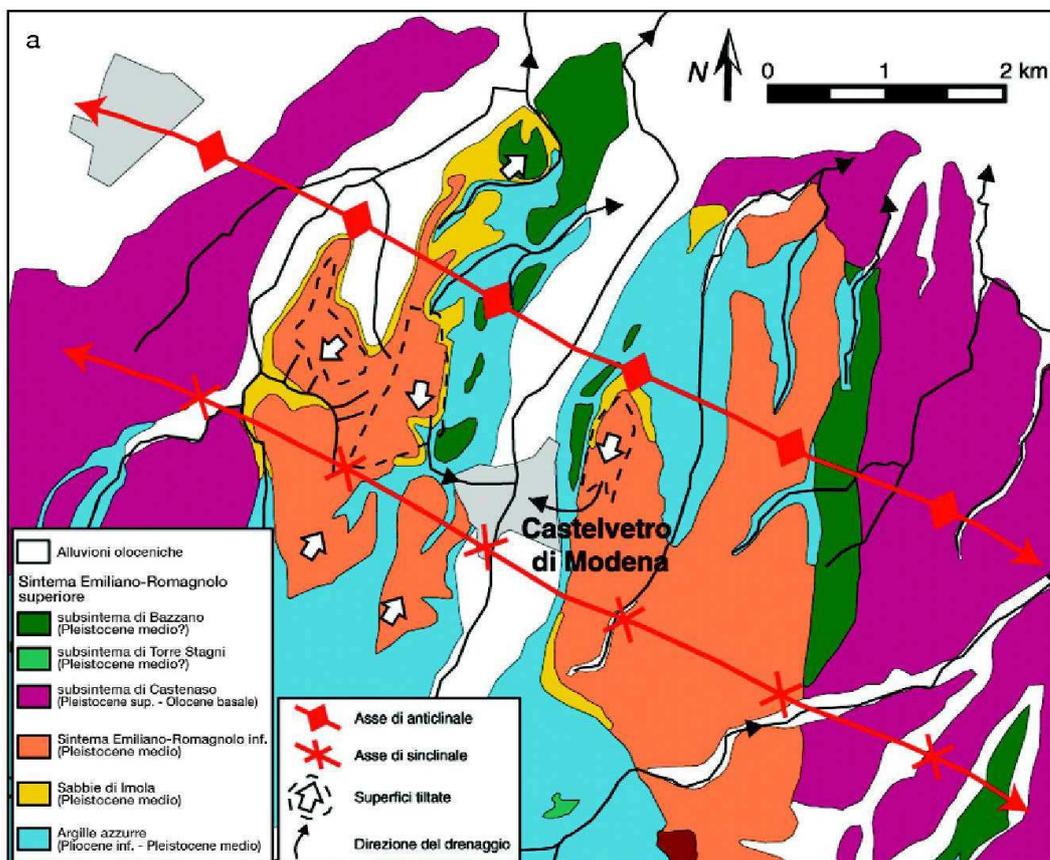


Fig. 2 - Cartografia geologica della zona di Castelvetro (da: "Note illustrative – Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna" - Servizio Geologico Sismico e dei Suoli - Regione Emilia-Romagna - 2004)

## 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.

 <p>Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti</p>	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	7 di 56

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 3.1.1, 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. , le sorgenti sismogenetiche più significative al contorno dell'area in studio sono:

- **ITCS047 – Castelvetro di Modena-Castel San Pietro Terme**, con magnitudo massima attesa  $M_w=5.6$ , a cui sono associate le faglie:
  - ITIS103 – Crespellano;
  - ITIS091 – Casalecchio di Reno;
- **ITCS049 – Reggio Emilia-Rolo**, con una magnitudo massima attesa  $M_w=5.5$ ;
- **ITCS051 – Novi-Poggio Renatico**, con una magnitudo massima attesa  $M_w=5.9$ , a cui è associata la faglia:
  - ITIS – Mirandola;
- **ITCS046 – Langhirano-Sassuolo**, con una magnitudo massima attesa  $M_w=5.9$ ;

<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> <b>dott. Stefano Castagnetti</b>	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	8 di 56

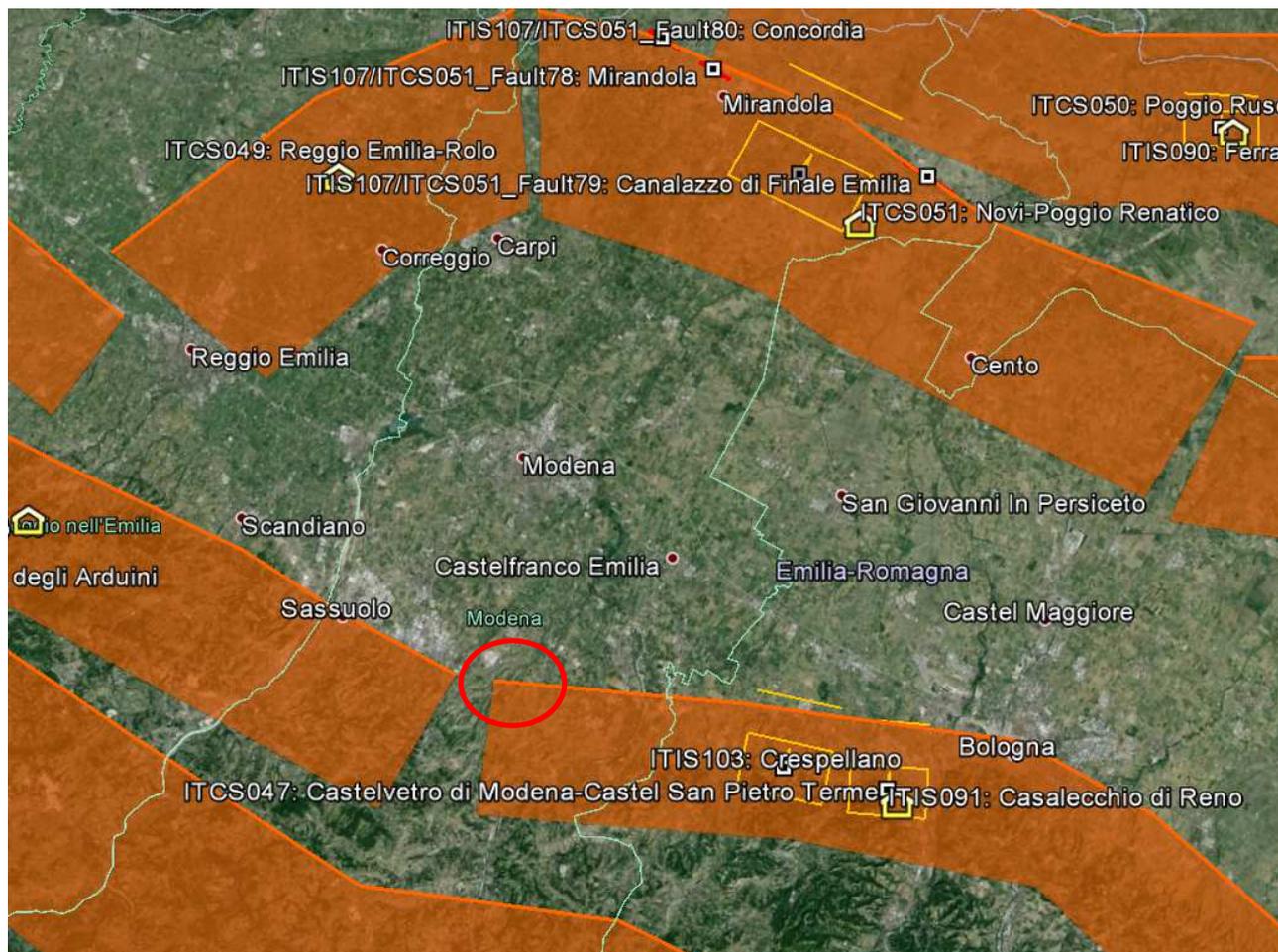


Fig. 3 – Ubicazione delle sorgenti sismogenetiche del DISS 3.1.1. Il Cerchio rosso individua approssimativamente il territorio del Comune di Castelvetro di Modena

### 2.3 Storia sismica

La storia sismica del Comune di Castelvetro di Modena è stata desunta dal Database Macrosismico Italiano, versione DBMI11<sup>2</sup>, che contiene informazioni relative a 58.146 osservazioni macrosismiche dal 217 A.C. al 2006, e in cui sono presenti 6806 località con almeno 3 osservazioni.

Secondo quanto riportato in DBMI11, la storia sismica di Castelvetro di Modena è riassunta graficamente nel diagramma riportato in Fig. , 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).

<sup>2</sup> M. Locati, R. Camassi e M. Stucchi (a cura di), 2011. DBMI11, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>. DOI: 10.6092/INGV.IT-DBMI11

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	9 di 56

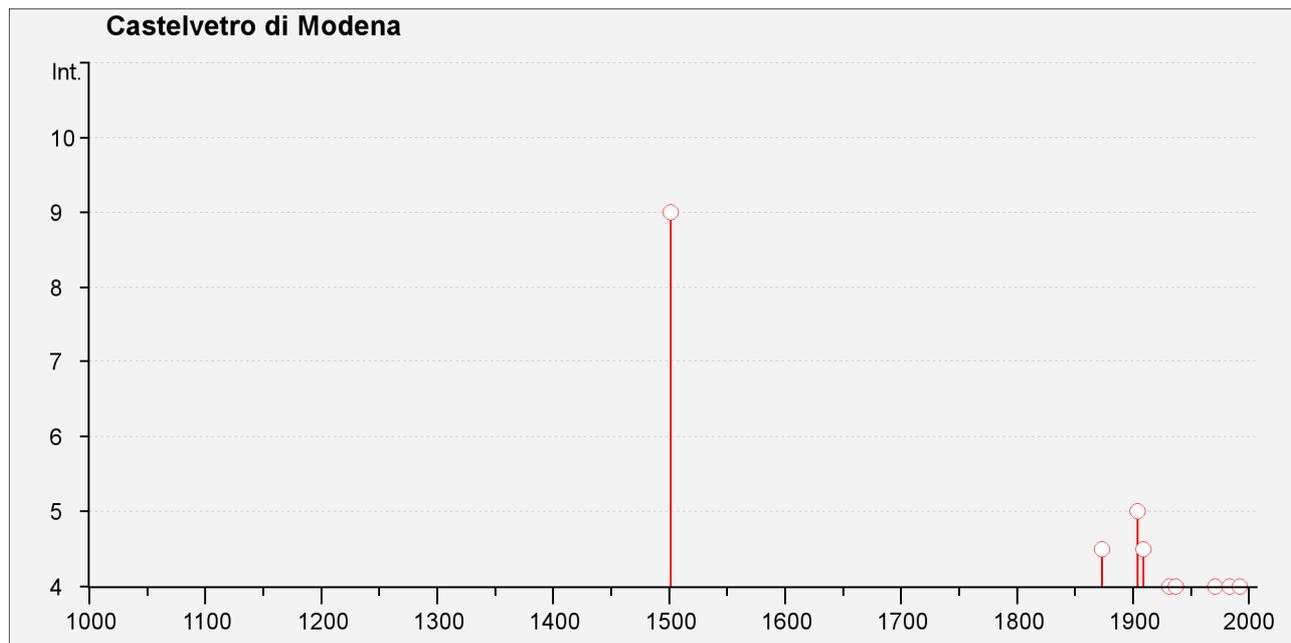


Fig. 4 – Eventi sismici di maggior intensità registrati nel Comune di Castelvetro di Modena

Effetti	In occasione del terremoto del:				
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw	
9	1501 06 05 10:00	Appennino modenese	20	9 5.98 ±0.32	
4-5	1873 05 16 19:35	REGGIANO	15	6-7 5.09 ±0.59	
NF	1874 10 07	IMOLESE	60	7 5.02 ±0.18	
F	1885 02 26 20:48	SCANDIANO	78	6 5.19 ±0.15	
2-3	1899 06 26 23:17	Valle del Bisenzio	138	7 5.06 ±0.15	
5	1904 02 25 18:47	Reggiano	62	6 5.05 ±0.18	
3	1908 06 02 22:30	FRIGNANO	18	4-5 4.52 ±0.25	
4-5	1909 01 13 00:45	BASSA PADANA	799	6-7 5.53 ±0.09	
4	1931 06 10 17:01	Modenese	14	4 4.42 ±0.22	
3	1934 09 18 09:37	VIGNOLA	6	4 4.57 ±0.30	
4	1937 12 10 18:03	APP. MODENESE	28	6 5.17 ±0.25	
3	1939 10 15 14:05	Garfagnana	62	6-7 5.08 ±0.16	
4	1971 07 15 01:33	Parmense	229	8 5.64 ±0.09	
2	1971 09 11 23:18	Correggio	15	5 4.23 ±0.31	
4	1983 11 09 16:29	Parmense	850	6-7 5.06 ±0.09	
NF	1986 12 06 17:07	BONDENO	604	6 4.61 ±0.10	
4	1992 04 17 11:59	Monteveglia	56	4-5 4.32 ±0.18	
NF	1995 10 10 06:54	LUNIGIANA	341	7 4.85 ±0.09	
2	1998 02 21 02:21	Reggiano	104	5 4.34 ±0.17	
2-3	2000 06 18 07:42	Parmense	300	5-6 4.43 ±0.09	
NF	2002 11 13 10:48	Franciacorta	770	5-6 4.29 ±0.09	

Tab. 1 - Massimi eventi sismici i cui effetti si sono fatti risentire a Castelvetro di Modena

Dalla lettura di Fig. e di Tab. 1 si deduce che, tra quelli censiti nel DBMI11, sono 21 gli eventi sismici che hanno avuto un risentimento significativo a Castelvetro di Modena e tra tutti spicca il disastroso terremoto del 5.6.1501, a cui è stata attribuita una  $M_w = 5.98$  ed effetti pari al IX grado della scala MCS.

Gli altri eventi riportati nel database hanno avuto risentimenti assai più modesti e compresi tra il IV e V MCS.

Dal momento che il DBMI11 è aggiornato al 2006, non è riportato l'evento sismico del 20 maggio 2012, con epicentro nella Bassa modenese, in occasione del quale è stata registrata una magnitudo pari a 5.9 della scala Richter. Tale sisma è stato seguito da numerosissime altre scosse, di cui 6 di magnitudo superiore a 5. In Fig. 5 è riportata la distribuzione temporale delle scosse sismiche nel periodo compreso tra il 20 maggio ed il 4 giugno 2012 e la relativa intensità.

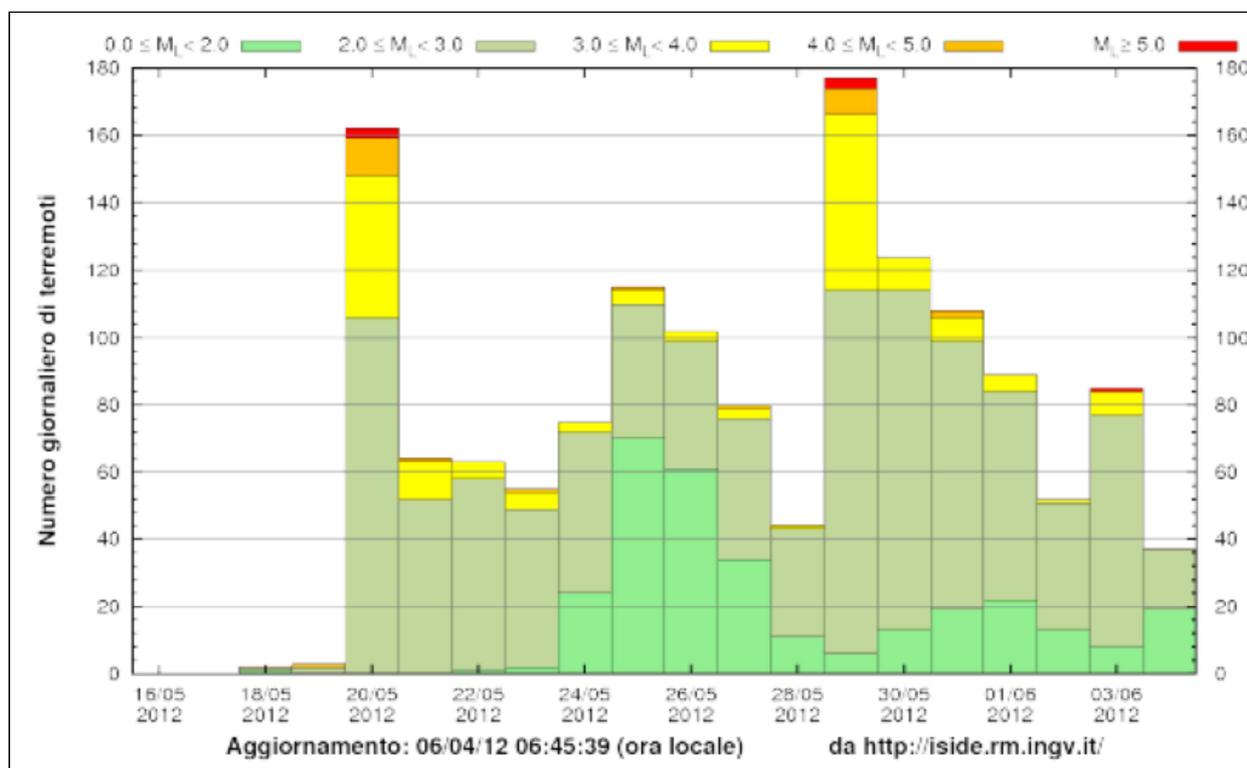


Fig. 5 – Sequenza sismica dal 20 maggio al 4 giugno 2012

In Fig. 6 è riportata la distribuzione spaziale dei sismi con magnitudo maggiore di 4. Come si può notare dalla figura la profondità degli ipocentri è quasi sempre superficiale (5-10 Km).

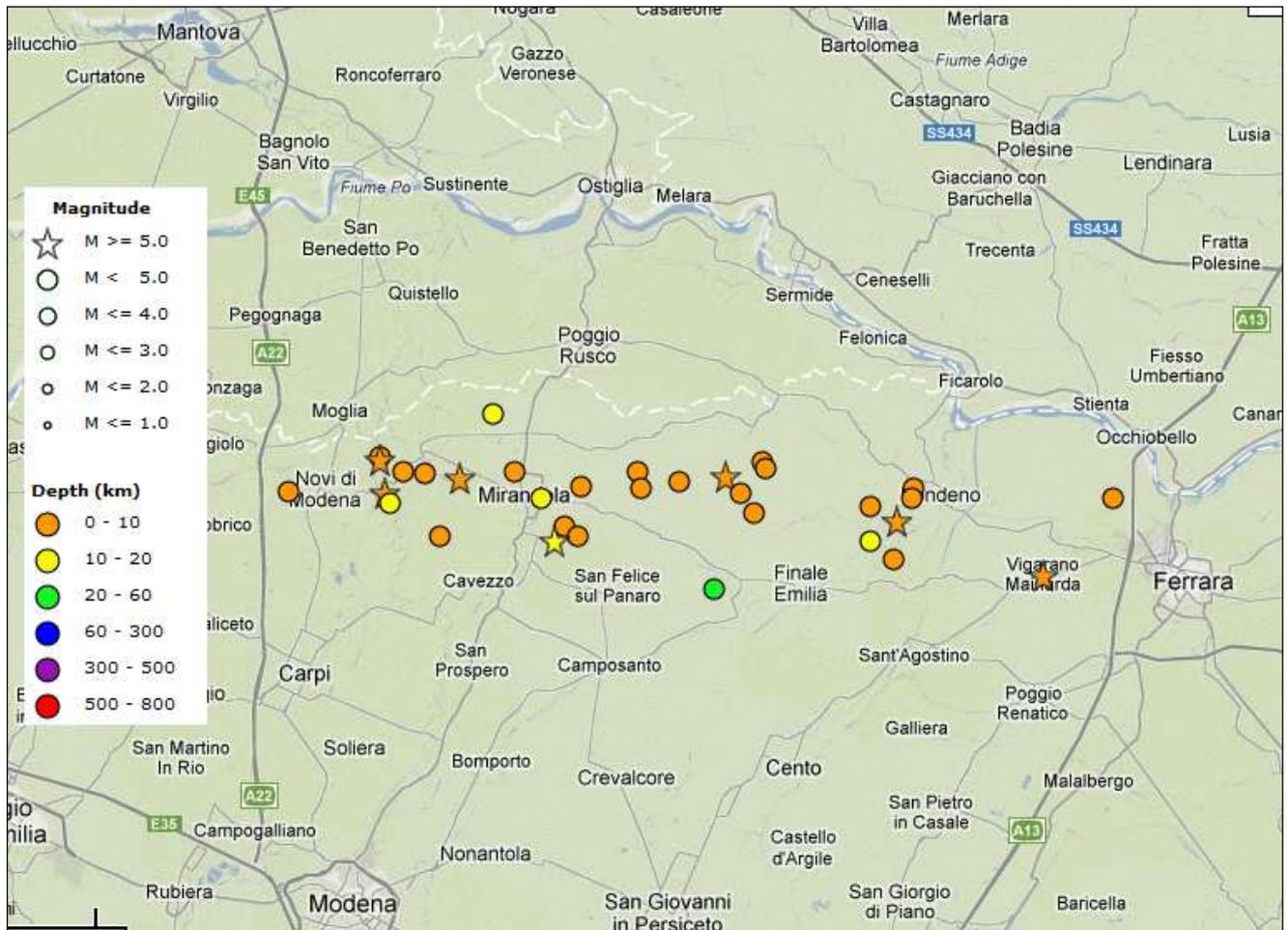


Fig. 6 – Distribuzione degli epicentri dei sismi con magnitudo>4 (da <http://iside.rm.ingv.it>)

L'elaborazione dei dati della rete sismica nazionale ha consentito ad INGV di verificare che il sisma è legato ad un meccanismo di tipo compressivo, con direzione di massima compressione nord-sud. Tale meccanismo è compatibile con la "struttura di Mirandola", faglia già valutata come potenziale sorgente sismogenetica, con magnitudo massima attesa pari a 5.9 della scala Richter.

In effetti il sisma, secondo le interpretazioni di INGV, è imputabile proprio al movimento della faglia di Mirandola, associata al sistema delle Pieghe Ferraresi, di cui si è già accennato nel paragrafo 2.1.

In Fig. 7 è rappresentata una sezione schematica delle strutture sismogenetiche che hanno generato il terremoto.

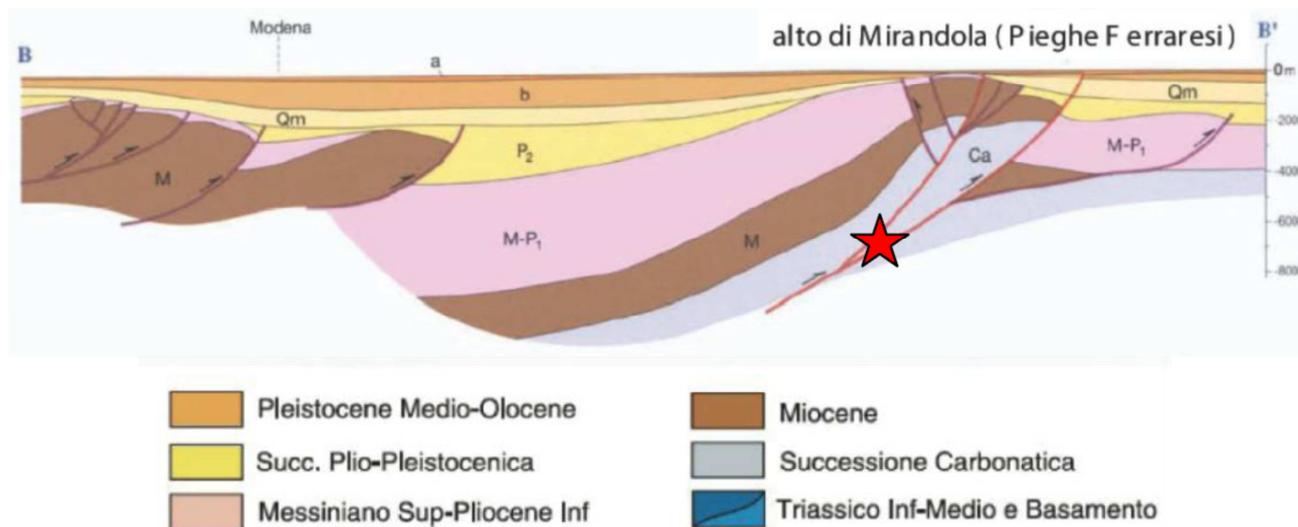


Fig. 7 - Schema delle strutture sismogenetiche (la stella indica la probabile ubicazione dell'ipocentro) da INGV: Relazione sul terremoto del 20 maggio 2012

L'evento di magnitudo  $M_w=5.9$  del 20/5/2012 è stato risentito in tutto il Nord Italia e le *shakemap* calcolate subito dopo l'evento confermano queste osservazioni. In particolare, nella zona epicentrale le accelerazioni massime (PGA) sono state stimate fino a 0.3g, ossia il 30% dell'accelerazione di gravità. Analoga accelerazione è stata calcolata per il sisma del 29/05/2012, che ha presentato una magnitudo pari a 5.8 della scala Richter.

La stazione di registrazione più vicina (appartenente alla Rete Accelerometrica Nazionale), ubicata a Mirandola (MRN), si trova ad una distanza di 13.3 km dall'epicentro dell'evento più significativo (20 maggio).

Il picco massimo d'accelerazione registrato, in occasione dell'evento più forte (IA) è di 0.309 g e corrisponde alla componente verticale (UP-DOWN). I picchi corrispondenti alle due componenti orizzontali (0.264 in direzione SUD-NORD e 0.261 in direzione OVEST-EST) risultano inferiori.

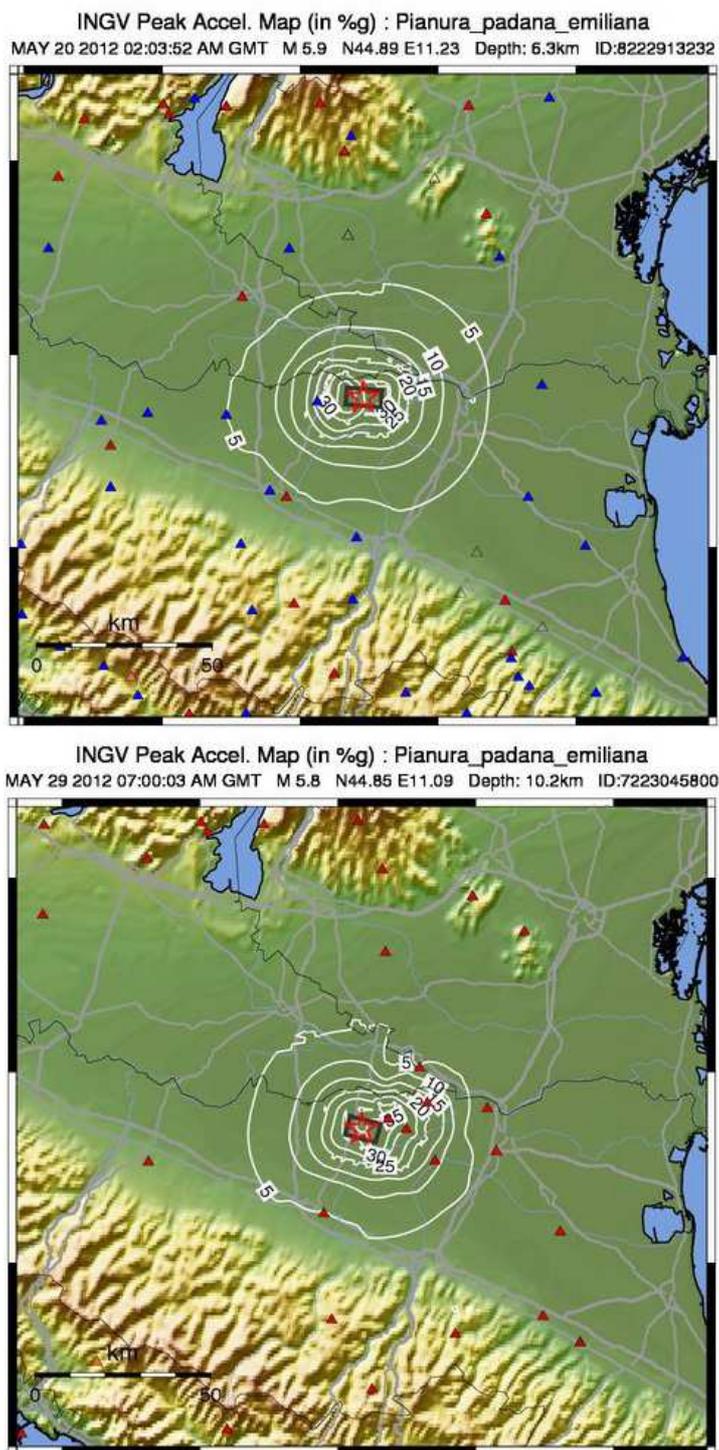


Fig. 8 – Mappe di accelerazione massima stimata al suolo (in % g) per i sismi del 20 e 29 maggio 2012

 <p>Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti</p>	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	14 di 56

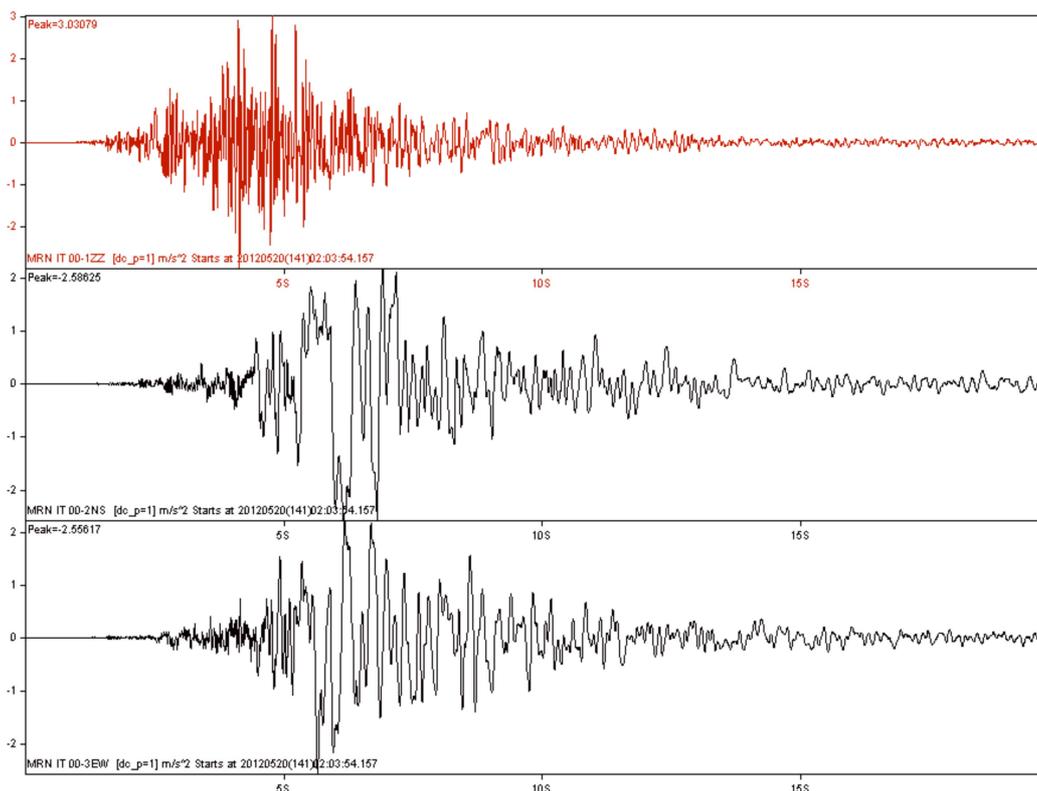


Fig. 9 - Sisma del 20/5/2012. Accelerogramma delle componenti (dall'alto in basso) Verticale, Nord-Sud ed Est-Ovest (acc. m/s<sup>2</sup>, tempo s) registrate dalla stazione di Mirandola della Rete Accelerometrica Nazionale ([www.protezionecivile.gov.it](http://www.protezionecivile.gov.it))

La sequenza sismica ha prodotto gravi danni in una vasta area delle province di Modena, Ferrara, Mantova e Bologna. In particolare appaiono gravemente danneggiate, in prossimità delle aree epicentrali, le strutture storiche in laterizio pieno ed i capannoni industriali prefabbricati in c.a.

## 2.4 Classificazione sismica comunale

La classificazione sismica dei comuni su tutto il territorio nazionale è stata stabilita dall'Allegato 1, punto 3 dell'Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 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 viene attribuito un differente livello di pericolosità sismica.

 <p>Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti</p>	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	15 di 56

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

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

La classificazione vigente, identifica il Comune di Castelvetro di Modena in zona 2 (Fig. 10), cui corrispondono valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo ( $a_g$ ), con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, compresi tra  $0,15 \cdot g$  e  $0,25 \cdot g$  (dove  $g$  è l'accelerazione di gravità).

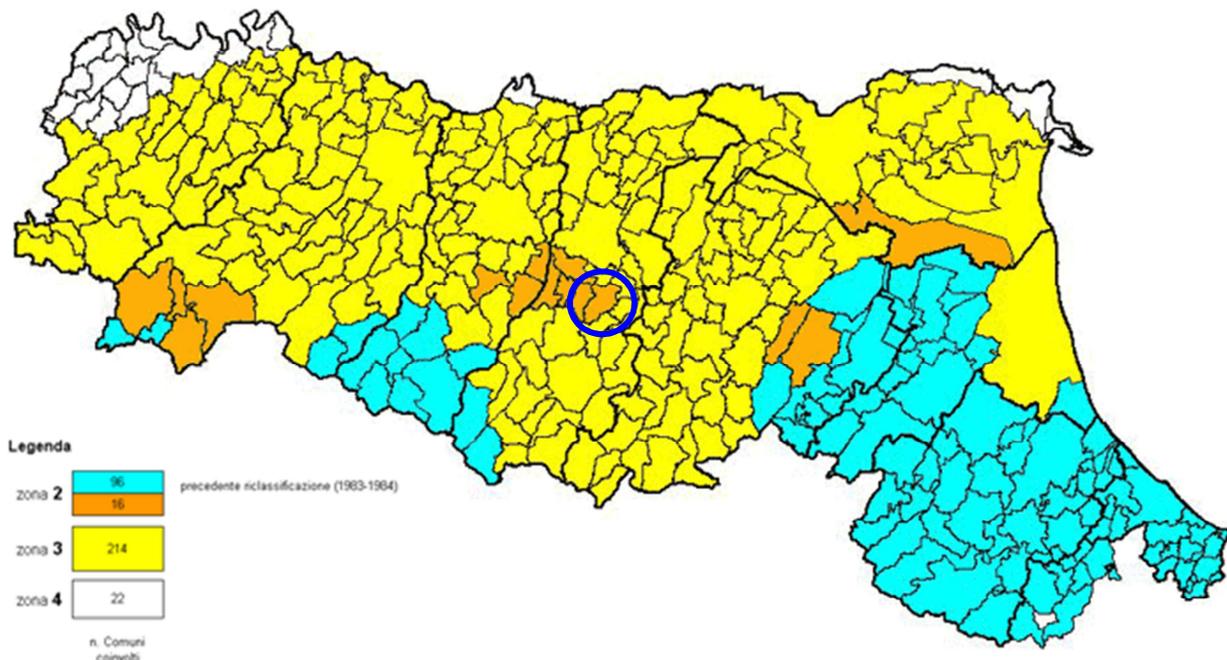


Fig. 10 – Nuova classificazione sismica regionale dei Comuni dell'Emilia Romagna. Il cerchio blu individua il territorio del Comune di Castelvetro di Modena.

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

Alle NTC 2008 è allegato un documento sulla pericolosità sismica (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 sopraccitato Allegato A, l'accelerazione sismica massima del terreno ( $a_g$ ) è definita in corrispondenza dei punti di un reticolo, i cui nodi non distano fra loro più di 10 km, per diverse probabilità di superamento in 50 anni e per diversi periodi di ritorno (variabili tra 30 e 2475 anni).

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

Con l'obiettivo di ridurre il rischio sismico in adempimento agli obblighi della normativa nazionale, la Regione Emilia-Romagna, con Deliberazione dell'Assemblea legislativa n. 112 del 2 maggio 2007, ha approvato l'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della L.R. 20/2000 "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio", in merito a "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica".

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

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

Conseguentemente gli studi della pericolosità sismica hanno come obiettivo:

- l'individuazione delle aree dove in occasione dei terremoti attesi possono verificarsi effetti locali;
- la stima quantitativa della risposta sismica locale dei depositi e delle morfologie presenti nell'area di indagine o "Analisi della Risposta Sismica Locale" (RSL);

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	17 di 56

- 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.

 <b>Studio di geologia</b> <i>dott. Stefano Castagnetti</i>	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	18 di 56

### 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 progetti edilizi 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 consentirne l'elaborazione in ambiente GIS. A tal proposito sia i dati di base, che i dati elaborati sono stati organizzati in formato vettoriale (*shapefile*).

Nel presente lavoro sono state inserite le indagini eseguite a supporto dello studio effettuato nel 2009 e consistenti in prospezioni sismiche e misure di ascolto dei microtremori naturali, queste ultime eseguite da personale del CNR di Milano.

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° 25 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).

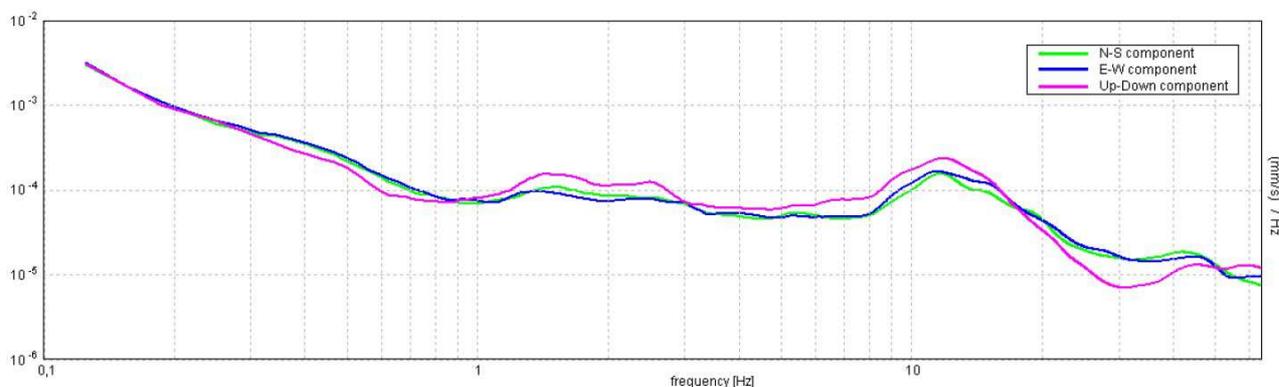


Fig. 11 – Esempio di spettro delle singole componenti

 <p>Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti</p>	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	19 di 56

## 4. Modello del sottosuolo

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

A tale scopo, per il Comune di Castelvetro di Modena, 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.

Escludendo dall'analisi l'estremità meridionale del territorio comunale, ove non sono presenti aree oggetto di microzonazione, la zona mediana del territorio ricade nella fascia propriamente detta di margine appenninico-padano, in cui affiorano per lo più terreni appartenenti alla formazione delle Argille Azzurre.

Si tratta di argille, argille marnose, marne argillose e siltose grigie e grigio-azzurre, talora grigio plumbeo, in strati medi e subordinatamente sottili, a giunti poco o non visibili per bioturbazione, con subordinati strati arenacei sottili risedimentati.

Ad esse si sovrappongono lembi di terrazzi alluvionali pleistocenici più o meno estesi, riconducibili al Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore e Superiore, e sedimenti alluvionali di epoca più recente nelle aree di fondovalle.

Nella porzione settentrionale del territorio, il substrato delle marino delle Argille Azzurre si approfondisce al di sotto dei depositi alluvionali dell'alta pianura, riconducibili alle conoidi dei corsi d'acqua minori (T. Tiepido, T. Guerro e altri torrenti più piccoli).

Si tratta di apparati che si congiungono tra loro formando conoidi composite, in cui la litologia è prevalentemente fine, sabbioso-limosa con piccoli corpi ghiaiosi che, sottoforma di strette fasce potenti qualche metro, si dipartono dalle zone apicali dei singoli apparati. Le aree apicali di queste conoidi minori sono limitate a una zona ampia meno di un chilometro dallo sbocco dei torrenti in pianura.

 <b>Studio di geologia</b> <i>dott. Stefano Castagnetti</i>	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	20 di 56

A riguardo, va considerato che i depositi presenti nel sottosuolo del settore settentrionale del territorio comunale di Castelvetro, appartenenti al Supersistema Emiliano-Romagnolo, presentano una significativa variabilità sia di tessitura, che dello stato di addensamento.

Ne consegue che significative variazioni possono manifestarsi anche nei profili delle Vs che, di norma, risultano maggiori all'aumentare della densità e della dimensione dei granuli, mentre ad una diminuzione di tessitura consegue un'inversione di velocità.

 <b>Studio di geologia</b> <b>dott. Stefano Castagnetti</b>	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	21 di 56

## 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. 12).

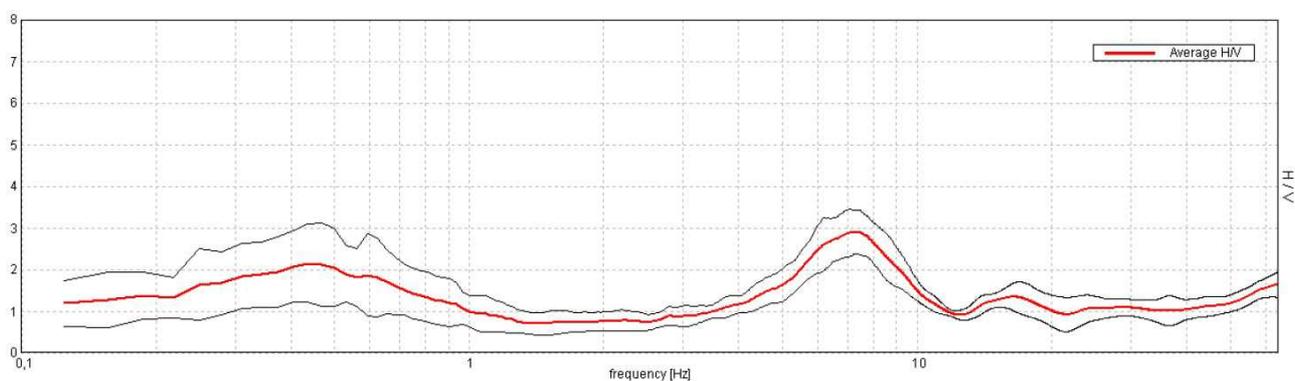


Fig. 12 – Esempio di curva H/V naturale della prova 036008P150HVSR179 eseguita nel settore est dell'abitato di Solignano Nuovo

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	Ottobre 2015	22 di 56

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 azimuthali di ampiezza, nel rispetto della condizione di isotropia del segnale

Quanto ai criteri delle linee guida SESAME 2005 relativi alla “chiarezza” del picco di possibile risonanza, in alcuni casi non risultano soddisfatti per i motivi già anticipati nel capitolo 4 (le caratteristiche geologiche del territorio esaminato fanno sì che spesso, 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	Ottobre 2015	23 di 56

## 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 ed il corridoio infrastrutturale della strada Pedemontana, 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÷20Hz;
- **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 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.

In questa fase sono stati prodotti i seguenti elaborati:

 <b>Studio di geologia</b> <b>dott. Stefano Castagnetti</b>	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	24 di 56

- **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 – Livello 2:** 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). Per la definizione dell'amplificazione sono state utilizzate e tabelle e le formule indicate nell'All. 2 degli Indirizzi regionali.

L'estensione e la forma del territorio comunale ha reso possibile la restituzione dei tematismi in un'unica rappresentazione cartografica alla scala 1:10.000.

 <b>Studio di geologia</b> <i>dott. Stefano Castagnetti</i>	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	25 di 56

## 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 (come raffigurato nella legenda riportata in Fig. 13) in base alla tipologia.

	Sondaggio a carotaggio continuo
	Prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)
	Prova penetrometrica statica con punta elettrica (CPT-E)
	Prova penetrometrica dinamica super pesante (DS)
	Prova penetrometrica dinamica pesante (DP)
	Prova penetrometrica dinamica media (DM)
	Prova penetrometrica dinamica leggera (DL)
	Pozzo per acqua
	Pozzo per idrocarburi
	Stazione microtremore a stazione singola (HVS-R)
	MASW
	Prova REfraction Microtremors
	Profilo sismico a rifrazione

Fig. 13 – Legenda della Carta delle indagini

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

La ricerca effettuata presso l'archivio dell'Ufficio Tecnico Comunale ha consentito di acquisire le seguenti indagini:

 <p>Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti</p>	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	26 di 56

- n° 4 sondaggi a carotaggio continuo
- n° 42 prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT)
- n° 50 prove penetrometriche dinamiche pesanti e superpesanti (DP - DPSH)
- n° 27 prove penetrometriche dinamiche leggere e medio-pesanti (DL - DM)
- n° 9 MASW
- n° 6 prove REfraction Microtremors
- n° 17 Stazioni microtremore a stazione singola (HVSR)
- n° 3 profili sismici a rifrazione

Come ricordato in precedenza, ad integrazione di tali dati, è stata progettata ed eseguita una specifica campagna di indagine costituita da n° 25 misure di ascolto di microtremori a stazione singola (HVSR), eseguite internamente o al contorno del perimetro del territorio urbanizzato e urbanizzabile.

## 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 redigendo Piano Strutturale Intercomunale dell'Unione Terre di Castelli;
- "Carta Geologica d'Italia" alla scala 1: 50.000, Fogli 219 "Sassuolo" realizzato secondo le normative del Progetto CARG;

 <b>Studio di geologia</b> <i>dott. Stefano Castagnetti</i>	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	27 di 56

- Carta Geologica di Pianura dell'Emilia-Romagna, alla scala 1:250.000, realizzata dalla Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli Regione della Emilia-Romagna;
- indagini puntuali, per la descrizione delle quali si rimanda al precedente paragrafo (7.1).

Allo scopo di migliorare la comprensione del modello geologico locale nelle Figg. 15 e 16, sono proposte delle sezioni geologiche orientate sia trasversalmente che longitudinalmente ai principali elementi strutturali (cfr. rappresentazione planimetrica delle tracce riportata in Fig. 14).

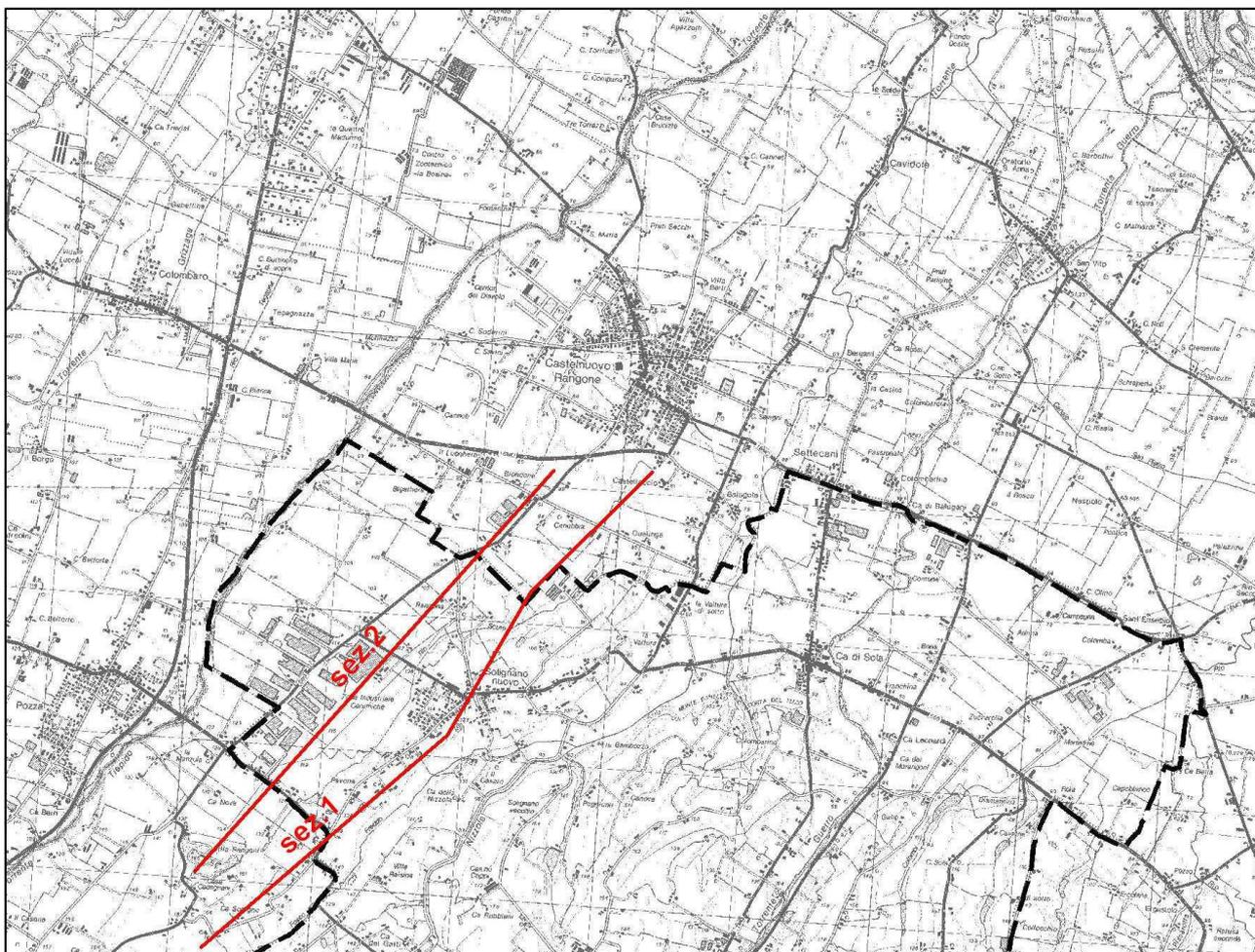


Fig. 14 – Rappresentazione planimetrica delle tracce delle sezioni delle Sezioni geologiche pubblicate sul sito del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna.

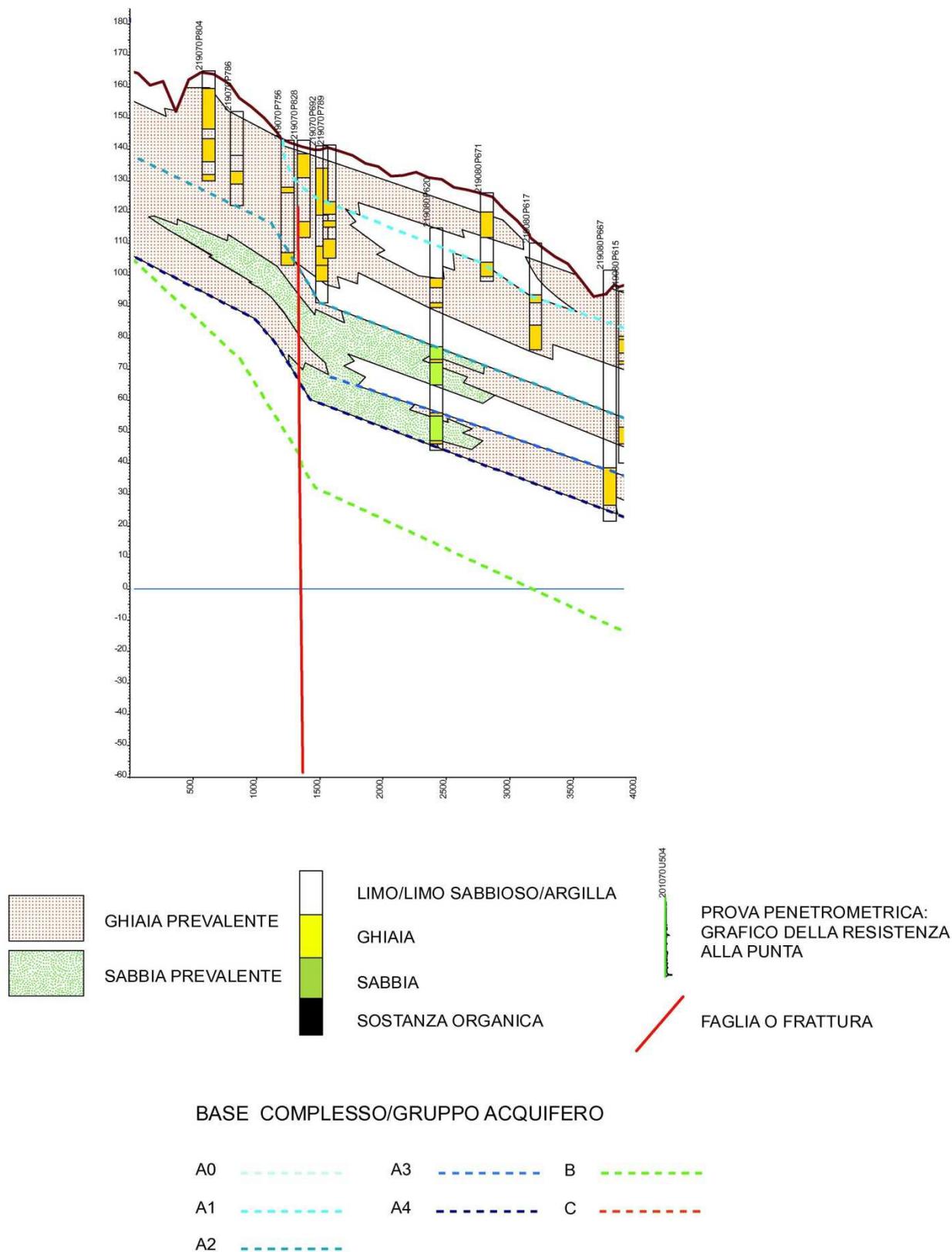


Fig. 15 – Sezione n° 1 (Fonte: Sezione Geologica n° 110 “Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna”)

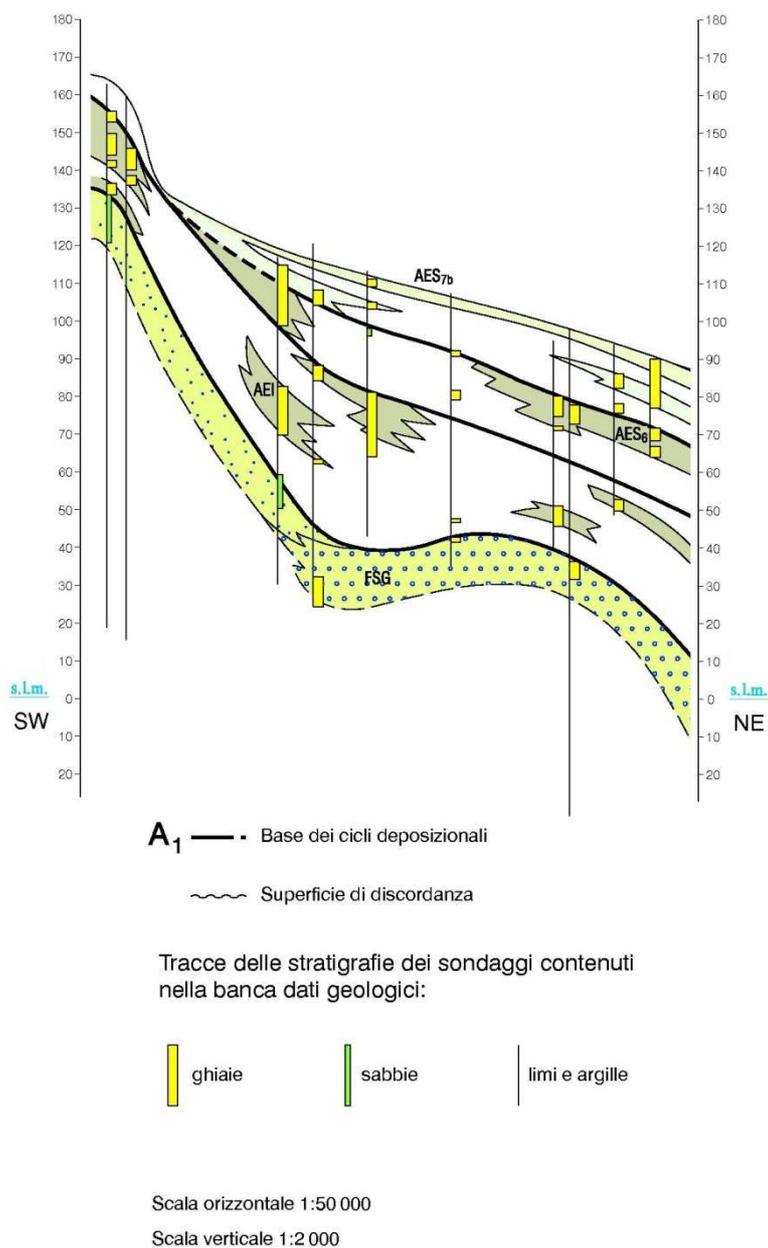


Fig. 16 – Sezione n° 2 (Fonte: Sezione Geologica n° 9 “Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna”)

Il sottosuolo del territorio comunale, in estrema sintesi, presenta le seguenti caratteristiche:

- Nell'areale di Levizzano Rangone i depositi alluvionali, appartenenti al Subsistema di Villa Verucchio – Unità Niviano, presentano uno spessore di circa 10÷15 metri e sono costituiti da un orizzonte superficiale prevalentemente limo-argilloso della potenza di circa 7÷8 metri in ricoprimento di un livello a ghiaie addensate. Tali depositi alluvionali poggiano direttamente sul substrato pliocenico delle Argille Azzurre.
- L'areale di Castelvetro di Modena è caratterizzato da depositi alluvionali olocenici (Subsistema di Ravenna) nella zona di fondovalle del T. Guerro, con spessori di circa 5÷6 m, poggianti direttamente sul substrato pliocenico delle Argille Azzurre. Tale substrato affiora lungo i versanti in destra e sinistra idrografica e nelle zone di crinale ed è ricoperto da lembi di terrazzi alluvionali pleistocenici riferibili al Sistema Emiliano-Romagnolo Sup. – Subsistema di Bazzano e al Sistema Emiliano-Romagnolo Inf..
- L'areale di Solignano Nuovo è caratterizzato da un approfondimento del substrato marino e conseguentemente da un maggior spessore dei depositi alluvionali del Sistema Emiliano-Romagnolo Sup. e del Sistema Emiliano-Romagnolo Inf., in particolare in corrispondenza dell'area industriale (Fig. 15 e 16). Spostandosi verso oriente il substrato marino tende ad un rapido innalzamento per effetto della culminazione assiale di una anticlinale, sino ad affiorare a SE dell'abitato. I depositi alluvionali, appartengono alla conoide minore del T. Tiepido e sono costituiti da alternanze di livelli ghiaiosi con spessore generalmente inferiore a 10 metri e livelli limo-argillosi.
- Il settore NE del territorio comunale è caratterizzato dalle ultime frange dei terrazzi alluvionali pleistocenici (zona di Ca' di Sola), che verso nord si immergono al di sotto dei depositi alluvionali dell'alta pianura (Subsistema di Ravenna) appartenenti alla conoide minore del T. Guerro (zona di Settecani e S. Eusebio).

Considerato quanto sopradescritto, per le aree in ambito collinare si è ipotizzato che il bedrock, di tipo lento ( $V_s < 800$  m/s), possa coincidere con le formazioni marine plio-pleistoceniche (Argille Azzurre o Sabbie Gialle), che rappresentano il substrato delle coltri alluvionali di ridotto spessore.

Viceversa nel settore settentrionale del territorio comunale non risulta facile ipotizzare quale orizzonte possa rappresentare un bedrock sismico. Infatti in questa zona le indagini geognostiche, di norma consentono di individuare la prima superficie di discontinuità, dove la copertura prevalentemente limoso-argillosa poggia sul livello granulare più superficiale; quanto alle

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	31 di 56

discontinuità più profonde, si hanno informazioni molto meno attendibili, talvolta dovute alla scarsità di dati litostratigrafici disponibili.

Certamente più si va in profondità più si rinvengono depositi addensati con relativo aumento delle Vs; tuttavia è evidente che i profili di Vs, in ciascuna verticale, risentono fortemente anche del tipo di litologie attraversate, con significativi incrementi al passaggio tra un orizzonte fine ad uno prevalentemente ghiaioso, mentre ad una diminuzione di tessitura consegue un'inversione di velocità.

In un tale contesto il *bedrock* può coincidere con il substrato marino pleistocenico (Formazione delle Sabbie Gialle) o con uno dei livelli ghiaiosi del Supersistema Emiliano-Romagnolo.

Alla luce di queste valutazioni, nel presente studio la profondità del substrato sismico è sempre stata assunta prudenzialmente inferiore a 100 m, limite fissato nell'Allegato 2 degli indirizzi regionali, per distinguere tra un profilo stratigrafico tipo PIANURA 1 e un profilo stratigrafico tipo PIANURA 2.

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 nell'alveo del T. Guerro in corrispondenza del Capoluogo, dell'abitato di Ca' di Sola e a valle dello stesso e in un tratto del T. Tiepido ad ovest del polo produttivo di Solignano Nuovo.
- **GM** – *Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo*: cartografate nel Capoluogo e in corrispondenza del Polo delle Carni" nell'estremo settore nord-est del territorio comunale.
- **ML** – *Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità*: unità nella quale sono state inserite tutte le aree di intercanale dove, il primo sottosuolo, è costituito da depositi prevalentemente fini sino a profondità di 4÷5 metri. Sono state cartografate in corrispondenza dell'abitato di Levizzano Rangone, nella periferia occidentale del Capoluogo, a Solignano Nuovo, a Ca' di Sola e nel settore nord-orientale del territorio comunale, lungo la nuova strada Pedemontana.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	32 di 56

- **CL** - Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre: sono cartografate nel settore settentrionale del territorio comunale tra Ca' di Sola e Settecani e in corrispondenza dell'area produttiva sita in località Rangone.

Inoltre in corrispondenza del Capoluogo e di Levizzano Rangone sono state cartografate le zone in cui affiora il substrato coesivo sovraconsolidato, costituito da argille, argille marnose, marne argillose e siltose grigie e grigio-azzurre, talora grigio plumbeo, in strati medi e subordinatamente sottili.

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

- **es** – argini, barre, canali;
- **tf** – terrazzo fluviale;
- **ec** – eluvi/colluvi.

Infine nella Carta geologico tecnica sono stati indicati i pozzi e i sondaggi profondi, distinguendoli a seconda che abbiano raggiunto o meno il substrato geologico, corrispondente alle Sabbie Gialle o 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. 17).

Le misure sono state suddivise in classi sulla base delle frequenze ( $F_0 \leq 1$  Hz;  $1 < F_0 \leq 2$  Hz;  $2 < F_0 \leq 8$  Hz;  $F_0 > 8$  Hz) e dell'ampiezza del picco che individua contrasti di impedenza alti (picco HVSr  $> 3$ ) o bassi (picco HVSr  $< 3$ ).

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	33 di 56

frequenza picco significativo (Hz)	ampiezza picco	
	$\leq 3$	$> 3$
$F_0 \leq 1$		
$1 < F_0 \leq 2$		
$2 < F_0 \leq 8$		
$F_0 > 8$		
Assenza di picchi significativi		

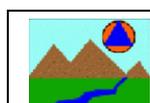
A lato del simbolo sono riportate la frequenze relative al primo picco significativo (in rosso) e al secondo picco (in blu) se presente

Fig. 17 – Legenda della carta delle frequenze naturali dei terreni

Di seguito, viene proposta una tabella riepilogativa dei risultati delle prove tromografiche, 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:

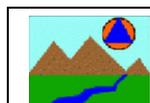
PROVA	MOPS (cod.)	Picco principale F0		Picco secondario F1	
		Frequenza (Hz)	Ampiezza H/V	Frequenza (Hz)	Ampiezza H/V
036008P144	2002	-	-	-	-
036008P145	2004	15,9	2	-	-
036008P146	2004	8,41	1,9	-	-
036008P147	2004	-	-	-	-
036008P148	2001	17,1	2,1	-	-
036008P149	2001	3,9	1,55	-	-
036008P150	2004	7,34	2,9	0,45	2,1
036008P151	2004	9,7	1,8	0,44	1,8
036008P152	2004	12,3	3,1	-	-
036008P153	2005	0,7	1,6	-	-
036008P154	2005	0,5	1,7	-	-
036008P155	2005	8,8	1,7	13	1,7
036008P156	2008	15,3	2,5	-	-
036008P157	2006	1,55	1,5	-	-
036008P158	2008	-	-	-	-
036008P159	2006	2,2	1,8	-	-
036008P160	2007	10	2,6	-	-
036008P161	2006	2,4	1,7	18,3	1,5
036008P162	2006	17,8	2,1	1,45	1,7
036008P163	2007	17,4	2,1	-	-
036008P164	2007	6,38	2,5	8,1	2,4
036008P165	2007	20	2	2,2	1,9
036008P166	2001	3	1,5	18,4	1,8
036008P167	2006	18	1,7	-	-
036008P168	2006	4,6	1,7	-	-
036008P38	2002	3,2	3	10	2,2
036008P131	2006	2,3	3,6	-	-

Tab. 3 – Riepilogo dei risultati delle prove tromografiche a Castelvetro di Modena



Sulla base dell'esame di Tab. 3, si possono formulare le seguenti osservazioni:

- dalle prove realizzate all'interno della Zona 2001 è possibile osservare picchi H/V in alta frequenza (17÷18 Hz), indotti dal contrasto di impedenza tra terreni di copertura e tetto dell'orizzonte ghiaioso situato a qualche metro di profondità dal piano campagna. È inoltre presente un ulteriore picco a frequenze di 3÷4 Hz riconducibile ad un contrasto di impedenza più profondo (25÷30 m);
- all'interno della Zona 2002 sono stati riscontrati picchi di frequenza a circa 10 e 3 Hz, correlabili con superfici di discontinuità rispettivamente a 6÷7 m e 20÷22 m da p.c., dovuti anch'essi alla presenza di orizzonti ghiaiosi intercalati entro depositi fini;
- nella Zona 2004 i picchi sono generalmente riscontrabili a frequenze di 7÷10 Hz, indotti da contrasti di impedenza situati indicativamente a profondità di 6÷9 m da p.c., coincidenti con il tetto del primo orizzonte a granulometria grossolana;
- la Zona 2005 è quasi sempre caratterizzata da modesti picchi a 0,5÷0,7 Hz, associabili a contrasti di impedenza situati a profondità maggiori di 100 m. Tuttavia si riscontrano occasionalmente picchi a frequenza superiori a 20 Hz, dovuti probabilmente a sporadici orizzonti grossolani molto superficiali;
- nella Zona 2006, che ricomprende l'area di fondovalle dell'abitato di Castelvetro, i picchi di maggior ampiezza si riscontrano a frequenza superiori a 20 Hz, dovuti alla presenza delle alluvioni ghiaiose del T. Guerro a modesta profondità dal piano campagna. Ulteriori picchi sono presenti a frequenze di 2÷4 Hz, associabili a contrasti di impedenza più profondi interni al substrato geologico;
- nella Zona 2007, che ricomprende le aree in cui il substrato coesivo sovraconsolidato è ricoperto da alluvioni pleistoceniche, si riscontrano picchi in alta frequenza, dovuti a contrasti di impedenza a modesta profondità (qualche metro), e picchi a 8÷10 Hz correlabili ad un orizzonte ghiaioso addensato a profondità di 7÷9 m da p.c.;
- la Zona 2008 ricomprende le aree con substrato geologico subaffiorante e generalmente non evidenzia picchi H/V significativi. Solamente dove l'alterazione superficiale è più spinta, possono essere presenti picchi in alta frequenza.



## 7.4 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica

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

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

- 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 Castelvetro di Modena.
- 2. zone stabili suscettibili di amplificazioni locali.** Si tratta di aree in cui sono attese amplificazioni del moto sismico, causate dall'assetto litostratigrafico e/o morfologico locale. All'interno di queste aree si è operata una ulteriore distinzione sulla base delle caratteristiche litostratigrafiche, identificando profili stratigrafici tipo ai quali possono essere ricondotti gli areali esaminati. In queste zone sono richiesti approfondimenti di secondo livello.
- 3. zone suscettibili di 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), 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 litostratigrafiche, sono state identificate 8 microzone omogenee (Fig. 18), ciascuna con un proprio profilo stratigrafico tipo riferito ai primi 50 m di sottosuolo.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	37 di 56

<b>2001</b>	ZONA 1: successione stratigrafica costituita da prevalenti depositi ghiaiosi sino alla profondità di circa - 35 m da p.c., con locali intercalazioni di livelli limo-argillosi
<b>2002</b>	ZONA 2: successione stratigrafica che nei primi 30 metri di profondità è rappresentata da prevalenti depositi fini costituiti da miscele di limi e argille, con rare intercalazioni di livelli ghiaioso-sabbiosi
<b>2003</b>	ZONA 3: successione stratigrafica costituita da alternanze di ghiaie, limi-sabbiosi e limi argillosi
<b>2004</b>	ZONA 4: successione stratigrafica costituita da un livello superficiale limo-argilloso dello spessore di circa 7 m che ricopre depositi ghiaiosi e limo-sabbiosi poggianti su un substrato coesivo sovraconsolidato non stratificato, il cui tetto è situato alla profondità di circa -25 m dal p.c..
<b>2005</b>	ZONA 5: Successione stratigrafica costituita da alternanze di ghaie sabbiose, ghiaie argillose e limi argillosi
<b>2006</b>	ZONA 6: Successione stratigrafica costituita da un orizzonte superficiale limo-argilloso dello spessore di 2-4 metri, che ricopre depositi ghiaiosi di modesto spessore, poggianti su un substrato coesivo sovraconsolidato
<b>2007</b>	ZONA 7: Successione stratigrafica costituita da un orizzonte superficiale limo-argilloso dello spessore di circa 8-10 metri, che ricopre depositi ghiaiosi di modesto spessore, poggianti su un substrato coesivo sovraconsolidato
<b>2008</b>	ZONA 8: Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido non stratificato ricoperto da una coltre di depositi eluviali di spessore medio inferiore a 3,00 m

Fig. 18 – Legenda della carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)

 <p><b>Studio di geologia</b> <b>dott. Stefano Castagnetti</b></p>	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	38 di 56

Zona 1 (cod. 2001)

Questa zona si estende dal “Polo delle Carni” in località S. Eusebio sino al T. Guerro e ricomprende la porzione di territorio compresa tra Ca’ di Sola a sud e Settecani a nord. Il sottosuolo risulta infatti caratterizzato da prevalenti depositi ghiaiosi sino alla profondità di -35 m dal p.c., con locali intercalazioni di livelli limoso-argillosi (Fig. 19).

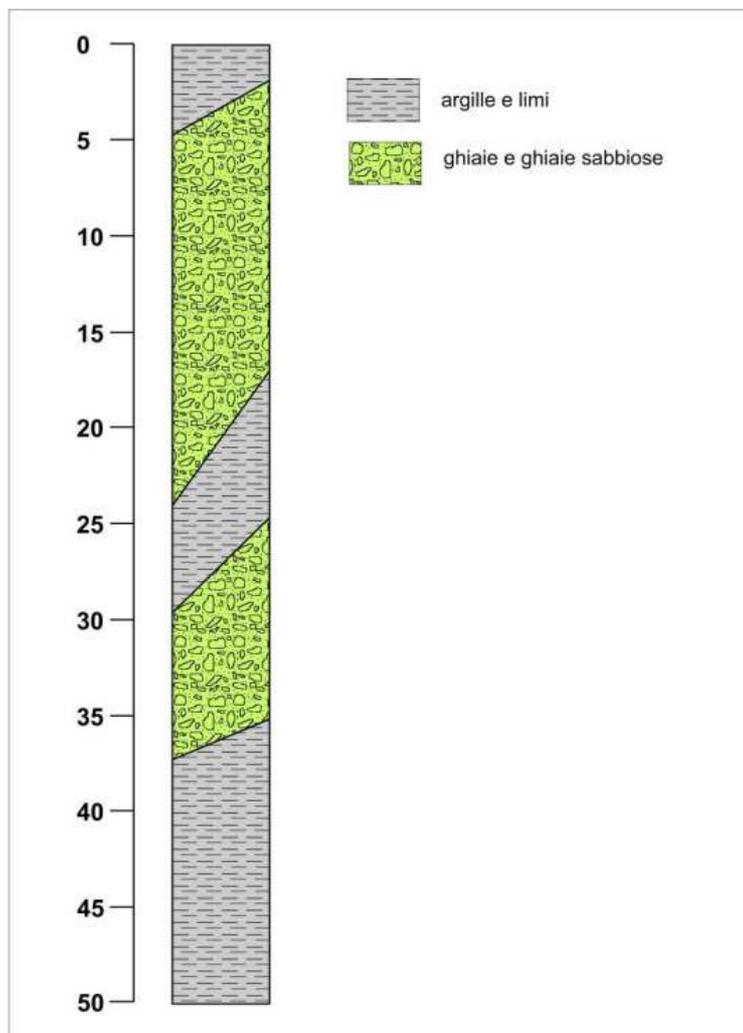


Fig. 19 – Successione stratigrafica cod. 2001

Zona 2 (cod. 2002)

Si tratta di una zona di limitata estensione individuata in corrispondenza della località Settecani. Il sottosuolo è caratterizzato da prevalenti depositi fini costituito da miscele di limi e argille, con rare intercalazioni di livelli ghiaiosi-sabbiosi (Fig. 20).

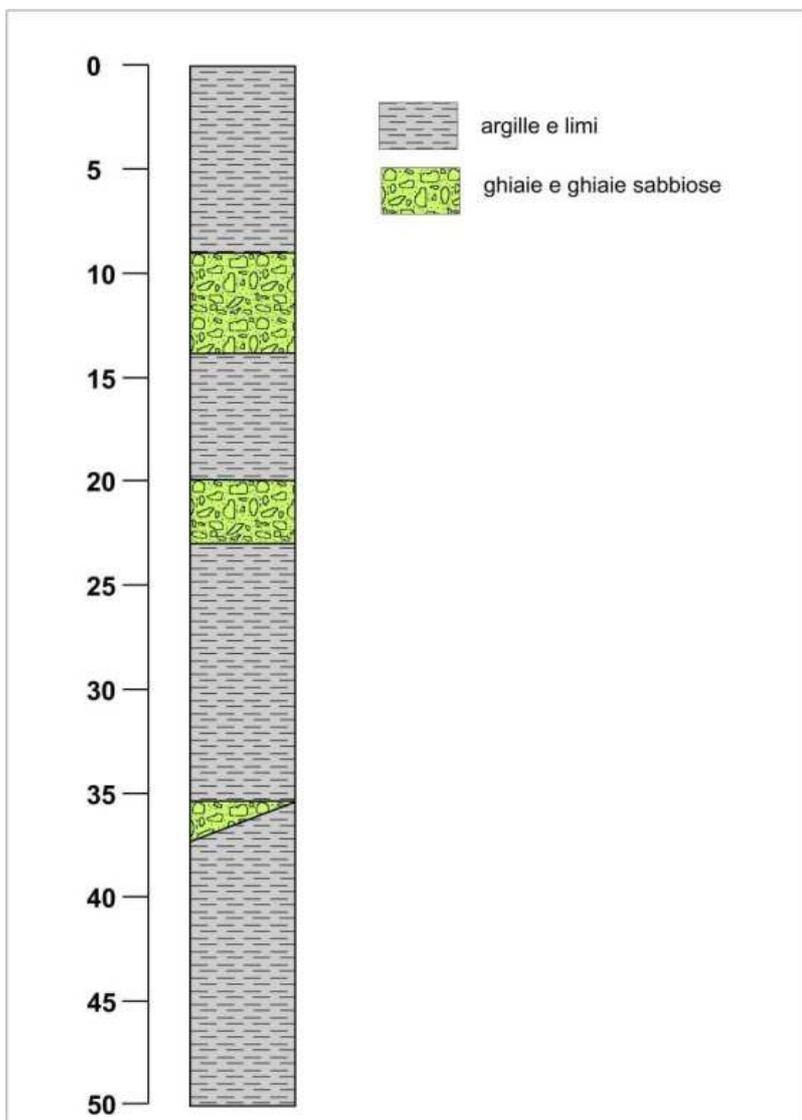


Fig. 20 – Successione stratigrafica cod. 2002

Zona 3 (cod. 2002)

Questa zona è stata individuata lungo il tracciato della nuova strada Pedemontana nel tratto in corrispondenza della località Ergastolo. Il sottosuolo è caratterizzato da alternanze di ghiaie, limi-sabbiosi e limi argillosi (Fig. 21).

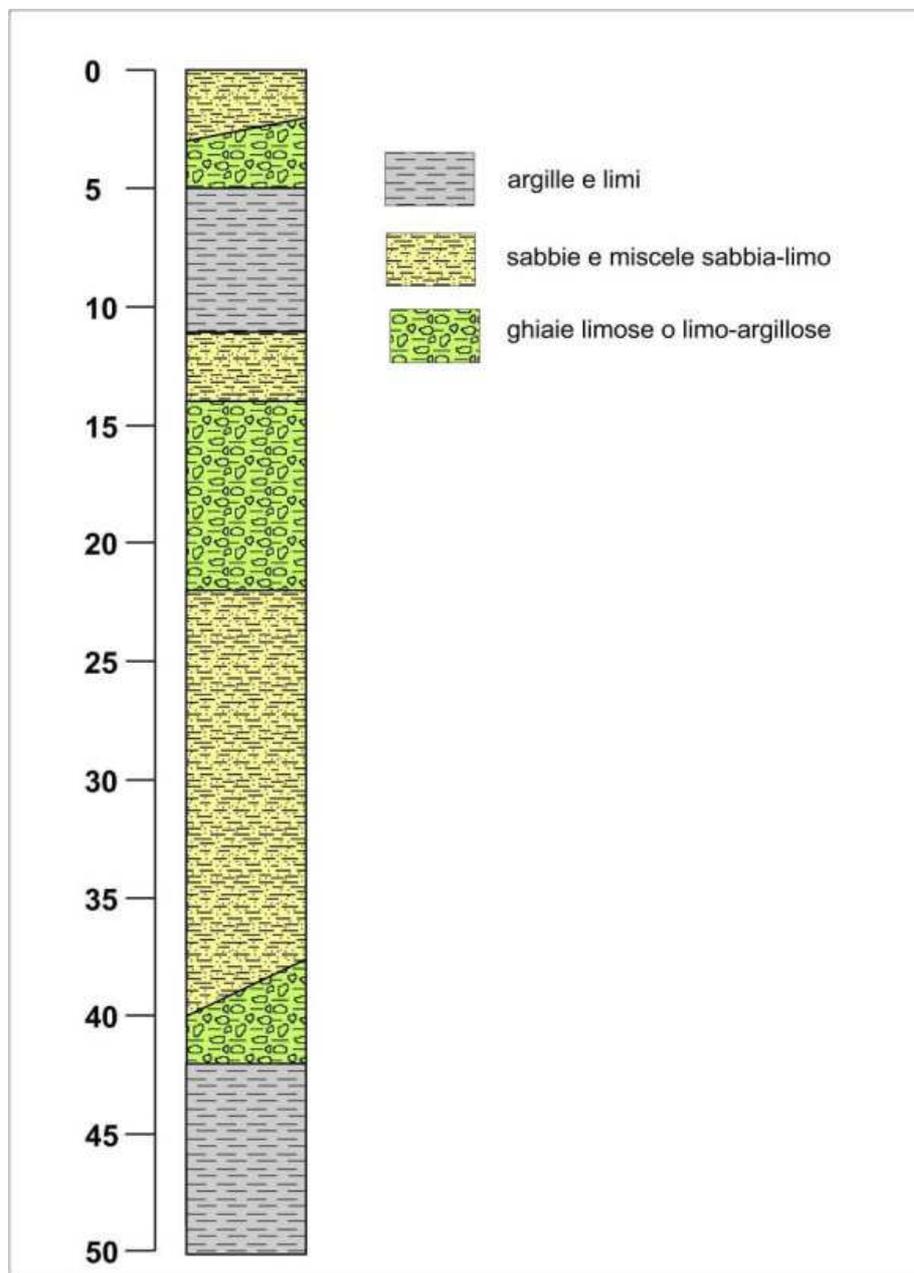


Fig. 21 – Successione stratigrafica cod. 2003

Zona 4 (cod. 2004)

Questa zona ricomprende l'abitato di Ca' di Sola ed il settore orientale di Solignano Nuovo. Il sottosuolo è caratterizzato da un livello superficiale limo-argilloso dello spessore di circa 7 metri, che ricopre depositi ghiaiosi e limo-sabbiosi, poggianti su un substrato coesivo sovraconsolidato non stratificato (formazione delle Argille Azzurre), il cui tetto è situato alla profondità di -25 m dal p.c. (Fig. 22).

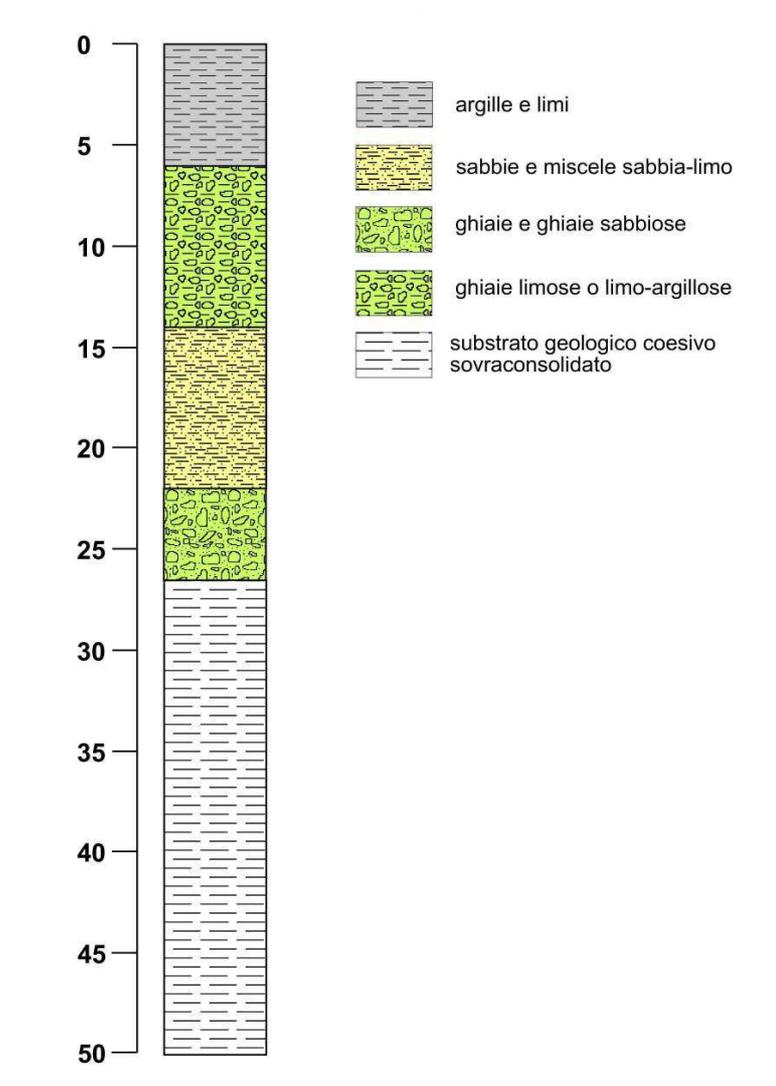


Fig. 22 – Successione stratigrafica cod. 2004

Zona 5 (cod. 2005)

Questa zona è stata individuata nell'estremo settore nord-occidentale del territorio comunale, compreso tra gli alvei del T. Tiepido ad est e del T. Nizzola ad ovest. Il sottosuolo è caratterizzato da alternanze di ghiaie sabbiose, ghiaie argillose e limi argillosi (Fig. 23).

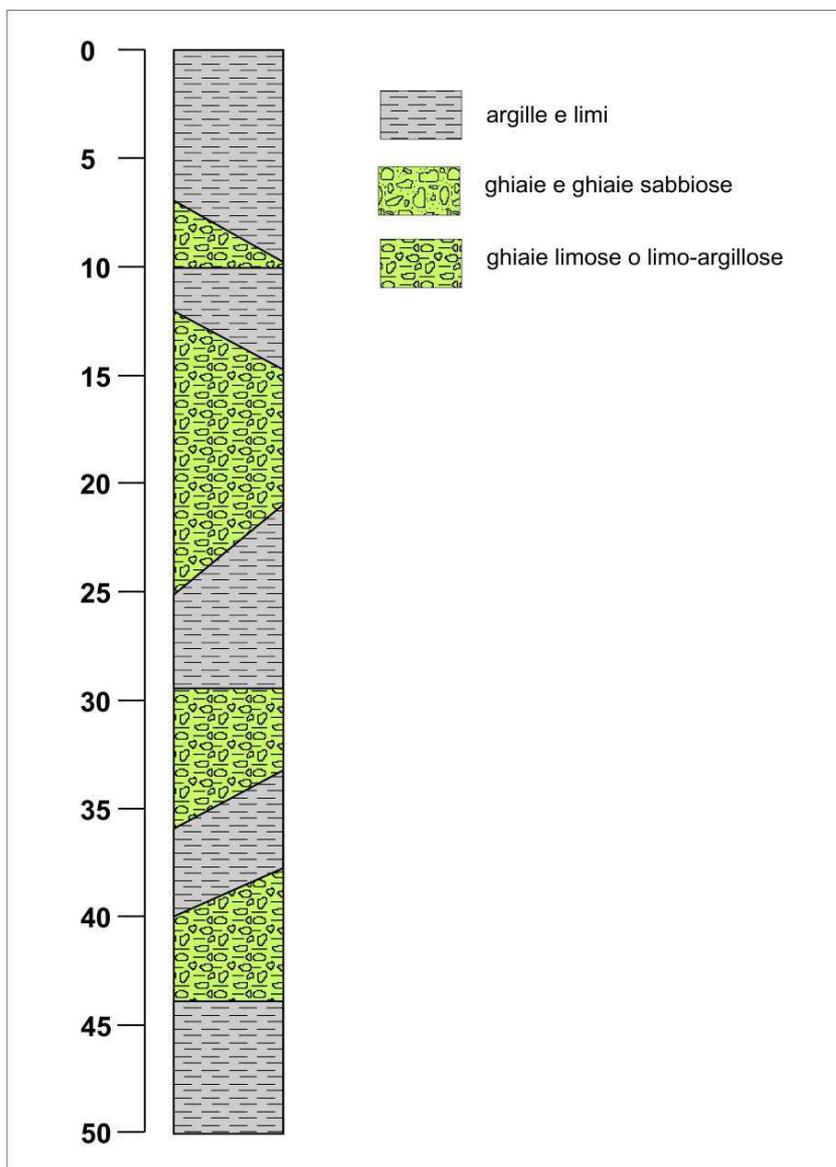


Fig. 23 – Successione stratigrafica cod. 2005

Zona 6 (cod. 2006)

Questa zona è stata individuata nella zona di fondovalle del Capoluogo. Il sottosuolo è caratterizzato da un orizzonte superficiale limo-argilloso dello spessore di 2÷4 m, che ricopre depositi ghiaiosi di modesto spessore, poggianti sul substrato coesivo sovraconsolidato costituito dalla Argille Azzurre (Fig. 24).

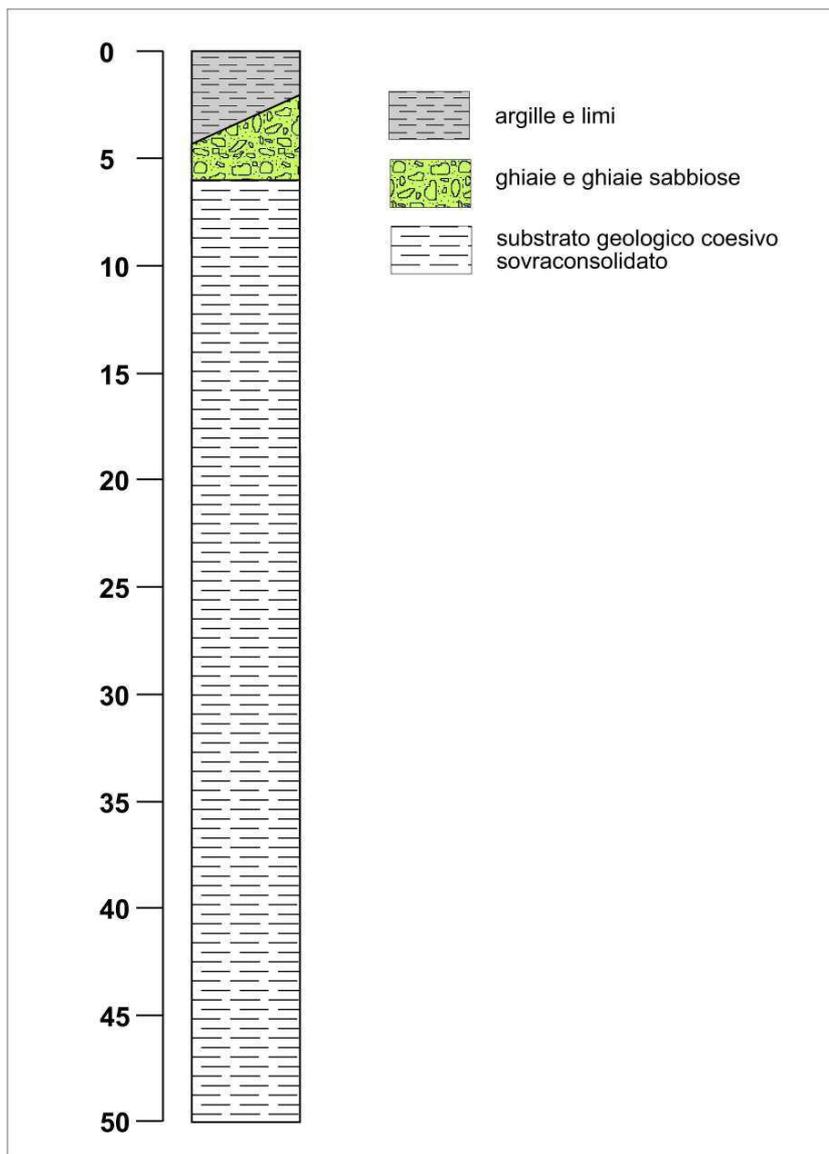


Fig. 24 – Successione stratigrafica cod. 2006

Zona 7 (cod. 2007)

Questa zona è stata individuata in corrispondenza dell'abitato di Levizzano Rangone e di due settori del Capoluogo morfologicamente rilevati. Il sottosuolo è caratterizzato da un orizzonte superficiale limo-argilloso dello spessore di 8÷10 m, che ricopre depositi ghiaiosi di modesto spessore, poggianti su un substrato coesivo sovraconsolidato (Fig. 25).

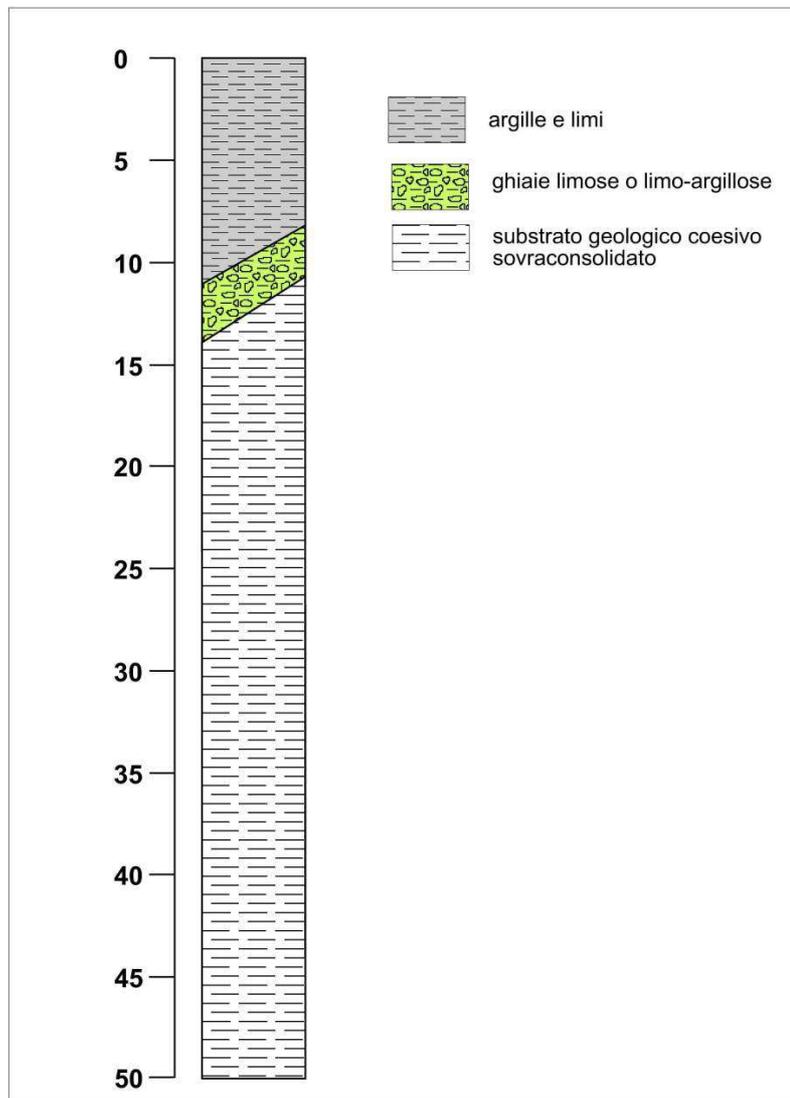


Fig. 25 – Successione stratigrafica cod. 2006

Zona 8 (cod. 2008)

Questa zona è stata individuata in alcuni settori del Capoluogo e in alcune porzioni di modesta estensione alle periferie di Levizzano Rangone. Il sottosuolo è caratterizzato da substrato non rigido e non stratificato, ricoperto da una coltre di depositi eluviali di spessore medio inferiore a 3 m (Fig. 26).

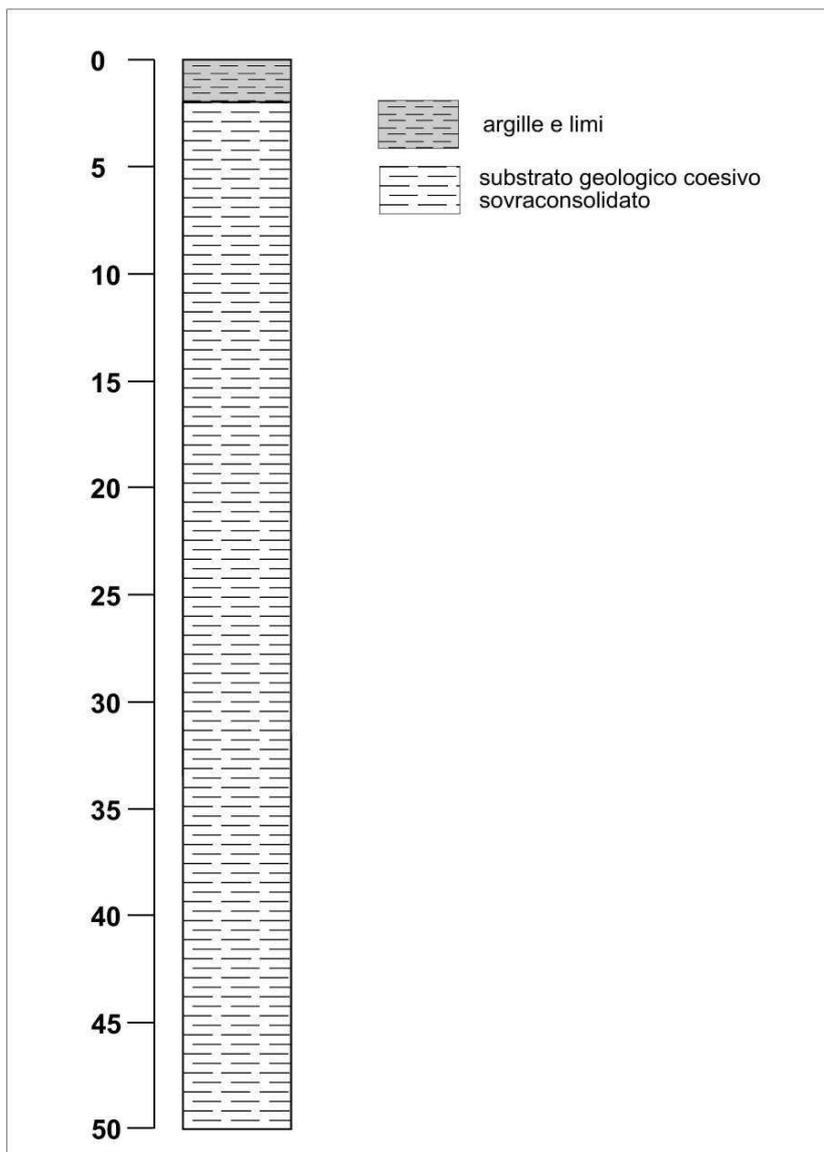


Fig. 26 – Successione stratigrafica cod. 2006

## 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  $V_{s30}$ , laddove il bedrock sismico è risultato superiore ai 40 m e di  $V_{sH}$  laddove il substrato presenta una profondità minore.

Sono state altresì distinte le misure di  $V_s$  sulla base della tecnica impiegata: MASW, Re.Mi, ecc. (Fig. 27).

	MASW con indicato il valore di $V_{s30}$ o $V_{sh}$ in m/s
	RE.MI con indicato il valore di $V_{s30}$ o $V_{sh}$ in m/s
	Interpretazione misura microtermori a stazione singola con indicato il valore di $V_{s30}$ o $V_{sh}$ in m/s

Fig. 27 – Legenda della carta delle velocità delle onde di taglio S

Per la stesura di questa carta sono stati utilizzati esclusivamente i profili di  $V_s$  riferiti ad indagini reperite nell'archivio comunale, allegate a pratiche edilizie, e alle indagini geofisiche eseguite a supporto dello studio di microzonazione sismica effettuato nel 2009.

L'areale NE del territorio comunale (Zona 1), in cui sottosuolo è costituito dalla presenza di depositi ghiaiosi con intercalazioni di sedimenti fini, è caratterizzato da valori di  $V_{s30}$  per lo più compresi tra 380 e 390 m/s.

L'areale ricomprensente parte della frazione di Settecani (Zona 2), in cui i livelli ghiaiosi nei primi 30 metri di sottosuolo risultano sporadici, ed è caratterizzato da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 255 e 277 m/s.

Circa la Zona 3, per la quale non erano disponibili profili di  $V_s$ , si è fatto riferimento allo studio di microzonazione sismica del Comune di Spilamberto, adottando i valori della omologa zona caratterizzata da  $V_{s30}$  pari a 300 m/s.

Nella Zona 4 si è riscontrata una certa variabilità del parametro  $V_{sH}$ , con valori variabili da  $V_{s18}$  di 230÷238 m/s a  $V_{s8}$  di 376 m/s.

La Zona 5, in cui sono presenti alternanze alluvionali di ghiaie e argille per uno spessore superiore a 40 metri, è caratterizzata da un valore di  $V_{s30}$  pari a circa 350 m/s.

 <b>Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti</b>	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	47 di 56

Nella Zona 6, in cui il bedrock di tipo lento è stato ipotizzato alla profondità di circa 15 metri, sono stati determinati valori di  $V_{s15}$  variabili da 218 a 261 m/s.

La Zona 7, caratterizzata da una coltre alluvionale pleistocenica sovrastante un bedrock di tipo lento, ha evidenziato valori di  $V_{s15}$  pari a 255 m/s e  $V_{s17}$  pari a 233 m/s.

Alla Zona 8, corrispondente all'affioramento delle Argille Azzurre, è stata attribuita una  $V_s$  pari a 450 m/s.

## 7.6 Carta di Microzonazione Sismica – Livello 2

Gli ultimi 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 di  $0.5s < T_0 < 1.0s$ ), 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 (Delibera dell'Assemblea Legislativa Regione Emilia-Romagna n° 112 del 2 maggio 2007).

Più in particolare per le Zone 1, 2, 3 e 5 (Fig. 28) è stata impiegata la tabella degli indirizzi regionali denominata "Pianura 1", in quanto le aree oggetto di studio ricadono in un ambito di pianura caratterizzato dalla presenza di un substrato poco profondo (<100 m da p.c.).

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	48 di 56

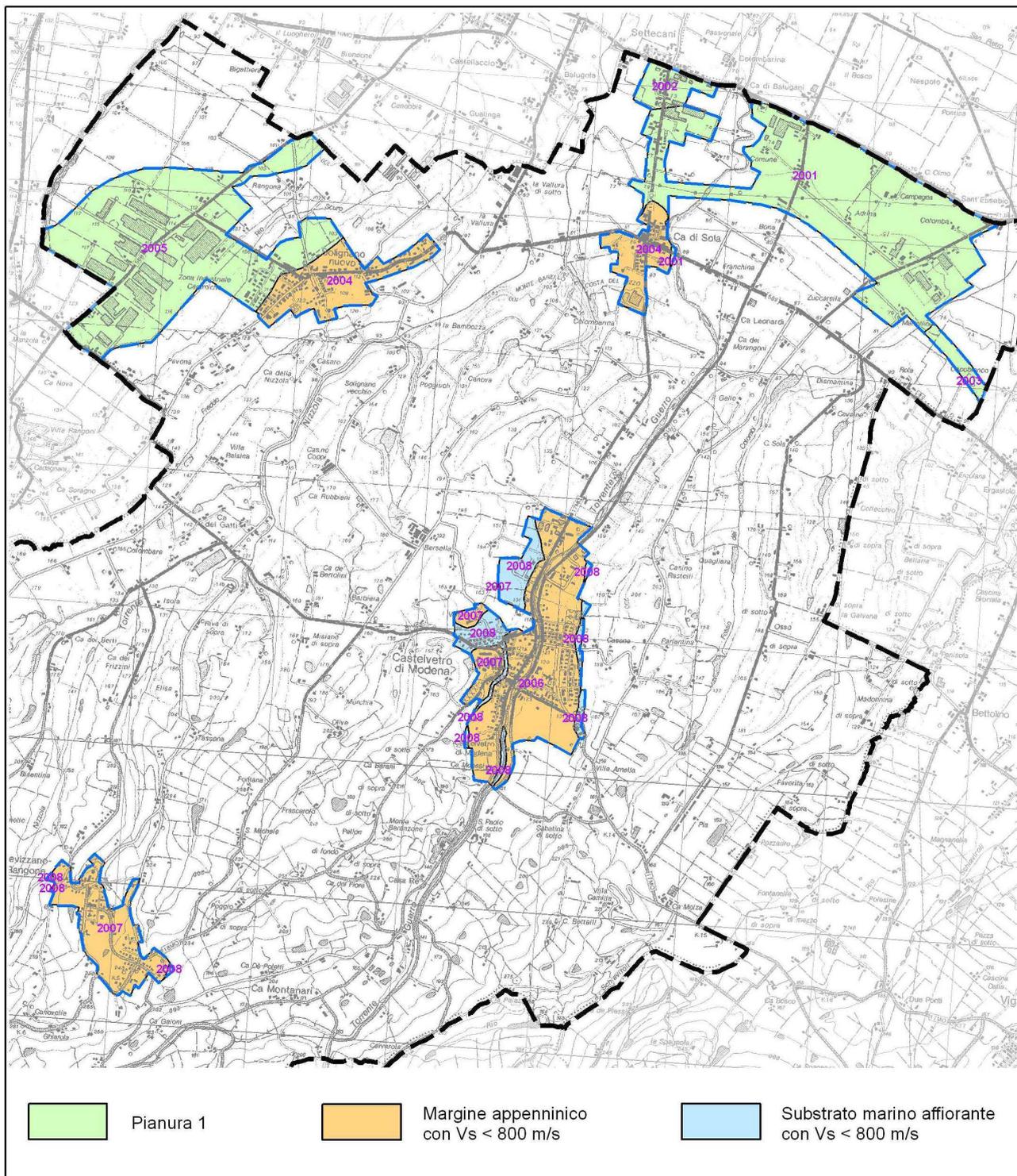


Fig. 28 – Rappresentazione delle Zone sulla base delle Tabelle utilizzate per l'attribuzione dei fattori di amplificazione

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

 <p><b>Studio di geologia</b> dott. Stefano Castagnetti</p>	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	49 di 56

F.A. P.G.A.										
$V_{s30}$	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.5	1.4	1.2	1.0	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE - $0.1s < T_0 < 0.5s$										
$V_{s30}$	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1.9	1.9	1.8	1.8	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE - $0.5s < T_0 < 1.0s$										
$V_{s30}$	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	2.6	2.5	2.4	2.1	1.9	1.7	1.6	1.4	1.1	1.0

Tab. 5 – Tabella 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 profilo stratigrafico tipo PIANURA 1 (da Allegato 2 degli indirizzi regionali)

Per quanto riguarda le Zone 4, 6 e 7 è stata impiegata la tabella degli indirizzi regionali denominata “*Margine Appenninico Vs <800 m/s*” (Tab. 6), in quanto le aree oggetto di studio ricadono in un ambito caratterizzato dalla presenza di un bedrock sismico “lento” a profondità inferiori a 40 m da p.c..

F.A. P.G.A.										
$V_{sH}$ H	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
5	2.0	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	1.2	1.2	1.1	1.0
10	2.3	2.0	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0
15	2.5	2.2	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0
20	2.3	2.2	2.1	1.9	1.7	1.6	1.4	1.3	1.1	1.0
25	2.1	2.1	2.1	1.9	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0
30	1.9	2.0	2.0	1.9	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0
35	1.8	1.9	2.0	1.9	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0
40	1.7	1.9	2.0	1.8	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE - $0.1s < T_0 < 0.5s$										
$V_{sH}$ H	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
5	1.7	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.0
10	2.2	1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0
15	2.6	2.2	1.9	1.7	1.6	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0
20	2.6	2.5	2.2	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2	1.1	1.0
25	2.4	2.6	2.3	2.0	1.8	1.6	1.5	1.3	1.1	1.0
30	2.2	2.4	2.3	2.1	1.9	1.7	1.6	1.3	1.1	1.0
35	2.0	2.2	2.3	2.2	1.9	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0
40	1.8	2.0	2.3	2.3	2.1	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE - $0.5s < T_0 < 1.0s$										
$V_{sH}$ H	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.1	1.0
10	1.6	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.1	1.0
15	1.9	1.7	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.2	1.0
20	2.1	1.9	1.7	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.2	1.0
25	2.4	2.4	1.9	1.7	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.0
30	2.8	2.8	2.4	1.9	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.0
35	3.0	2.9	2.7	2.1	1.7	1.6	1.5	1.3	1.3	1.0
40	3.1	3.0	2.8	2.3	1.9	1.7	1.5	1.4	1.4	1.0

Tab. 6 – Tabella 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 profilo stratigrafico tipo MARGINE APPENNINICO–PADANO con  $V_s < 800$  m/s (da Allegato 2 degli indirizzi regionali)

Infine per la Zona 8 è stata impiegata la tabella degli indirizzi regionali da utilizzare in caso di substrato marino affiorante, caratterizzato da  $V_s < 800$  m/s” (Tab. 7).

F.A. P.G.A.					
$V_{S30}$	450	500	600	700	800
F.A.	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0
F.A. INTENSITA' SPETTRALE - $0.1s < T_0 < 0.5s$					
$V_{S30}$	450	500	600	700	800
F.A.	1.5	1.4	1.3	1.1	1.0
F.A. INTENSITA' SPETTRALE - $0.5s < T_0 < 1.0s$					
$V_{S30}$	450	500	600	700	800
F.A.	1.4	1.4	1.3	1.3	1.0

Tab. 7 – Tabella 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 affiorante con  $V_s < 800$  m/s (da Allegato 2 degli indirizzi regionali)

Dal momento che il Capoluogo e l'abitato di Levizzano Rangone ricadono in un contesto di collinare, sono state eseguite le verifiche ai fini dell'applicazione dei fattori di amplificazione per motivi topografici, ma tutte risultanze hanno dato esito negativo.

Per le Zone 1, 2, 3 e 5 individuate nella Carta di Livello 1 sono state definite le velocità medie delle onde di taglio nei primi 30 m ( $V_{s30}$ ), analizzando i valori derivanti dalle indagini MASW e RE.MI disponibili (v. Carta delle velocità delle onde S).

Viceversa per le Zone 4, 6 e 7 sono stati calcolati i valori di  $V_{sH}$  utilizzando i seguenti spessori: Zona 4 → H = 20, Zona 6 → H = 15 e Zona 7 → H = 15.

Infine per la Zona 8 è stato impiegato un valore di  $V_s$  pari a 450 m/s.

Per le cinque zone i valori di riferimento delle  $V_{s30}$  e  $V_{sH}$  determinati sulla base dei classi di velocità contenuti nelle tabelle dell' Allegato A2 degli indirizzi regionali, sono i seguenti:

- Zona 1 →  $V_{s30} = 400$  m/s
- Zona 2 →  $V_{s30} = 300$  m/s
- Zona 3 →  $V_{s30} = 300$  m/s
- Zona 4 →  $V_{sH} = 250$  m/s (H = 20)
- Zona 5 →  $V_{s30} = 350$  m/s
- Zona 6 →  $V_{sH} = 250$  m/s (H = 15)
- Zona 7 →  $V_{sH} = 250$  m/s (H = 15)
- Zona 8 →  $V_s = 450$  m/s

Utilizzando la tabella “Pianura 1” (per le Zone 1 – 2 – 5), la tabella “Margine Appenninico-Padano con  $V_s < 800$  m/s” (per le Zone 3 – 4 – 6 – 7) e la tabella “substrato  $< 800$  m/s (per la Zona 8) dell’Allegato 2 degli indirizzi regionali, i fattori di amplificazione (F.A.) per gli areali oggetto di microzonazione sono riportati nella tabella seguente:

	ZONE							
	1	2	3	4	5	6	7	8
<b>F.A. P.G.A.</b>	<b>1.6</b>	<b>1.6</b>	<b>1.6</b>	<b>2.2</b>	<b>1.6</b>	<b>2.2</b>	<b>2.2</b>	<b>1.4</b>
<b>F.A. Is (0.1s &lt; T<sub>0</sub> &lt; 0.5s)</b>	<b>1.7</b>	<b>1.8</b>	<b>1.8</b>	<b>2.5</b>	<b>1.8</b>	<b>2.2</b>	<b>2.2</b>	<b>1.5</b>
<b>F.A. Is (0.5s &lt; T<sub>0</sub> &lt; 1.0s)</b>	<b>1.9</b>	<b>2.4</b>	<b>2.4</b>	<b>1.9</b>	<b>2.1</b>	<b>1.7</b>	<b>1.7</b>	<b>1.4</b>

Tab. 8 - valori dei Fattori di Amplificazione sismica

## 7.7 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).

In particolare l'interpretazione delle indagini tomografiche effettuate - che restituiscono curve H/V in cui generalmente non sono presenti picchi di ampiezza significativa, non sempre consentono di avere informazioni certe circa la profondità del bedrock.

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

Sostanzialmente dallo studio effettuato è emersa una minor amplificazione della PGA nelle zone dove è sub-affiorante il substrato geologico e nella fascia di pianura che occupa il settore settentrionale del territorio, dove sono presenti depositi alluvionali che costituiscono gli apparati di conoide dei torrenti minori. Nelle aree caratterizzate da terrazzi alluvionali pleistocenici e nelle aree pianeggianti di fondovalle, si registra un incremento dell'amplificazione della PGA in seguito alla riduzione della coltre di depositi alluvionali (<10 metri), poggiati direttamente sul substrato geologico coesivo sovraconsolidato.

L'amplificazione in termini di Intensità di Housner per periodi di 0,1÷0,5 secondi, rispecchia per gran parte una distribuzione simile a quella della PGA, con la differenza che la maggior amplificazione sembra manifestarsi in corrispondenza dei terrazzi alluvionali della fascia pedecollinare.

Totalmente differente è invece la distribuzione dell'amplificazione relativa a I.S. per periodi 0,5÷1,0 secondi, in cui la maggior amplificazione interessa la fascia di pianura che occupa il settore settentrionale del territorio.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	54 di 56

## 8. Confronto della distribuzione dei danni degli eventi passati

È stato richiesto all'Ufficio Tecnico del Comune di Castelvetro di Modena se era disponibile documentazione di archivio, relativa a danni sul territorio comunale provocati da eventi sismici avvenuti in passato, ma la risposta è stata negativa, in quanto non risultano agli atti documenti specifici.

I recenti eventi sismici del maggio 2012 non hanno provocato danni significativi a fabbricati pubblici e/o privati.

 <b>Studio di geologia</b> <i>dott. Stefano Castagnetti</i>	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	55 di 56

## 9. Elaborati

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

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

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	Ottobre 2015	56 di 56