

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

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione illustrativa

Regione Emilia-Romagna Comune di Savignano sul Panaro



Regione	Soggetto realizzatore	Data
EMILIA-ROMAGNA	Dott. geol. Stefano Castagnetti 	OTTOBRE 2015

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	6
2.3	Storia sismica.....	8
2.4	Classificazione sismica comunale.....	14
3.	Dati geotecnici e geofisici.....	18
4.	Modello del sottosuolo.....	19
5.	Interpretazioni e incertezze	21
6.	Metodologie di elaborazione e risultati	23
7.	Elaborati cartografici.....	25
7.1	Carta delle indagini	25
7.2	Carta geologico-tecnica	26
7.3	Carta delle frequenze naturali dei terreni.....	31
7.4	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica	34
7.5	Carta delle velocità delle onde di taglio S	43
7.6	Carta di microzonazione sismica – Livello 2	44
7.7	Commenti finali e criticità	50
8.	Confronto della distribuzione dei danni degli eventi passati.....	52
9.	Elaborati	53

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 Savignano sul Panaro (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 Savignano sul Panaro 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 53

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° 23 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 53

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 381 Ha, corrispondente a circa il 15% 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).

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	3 di 53

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 53

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 53

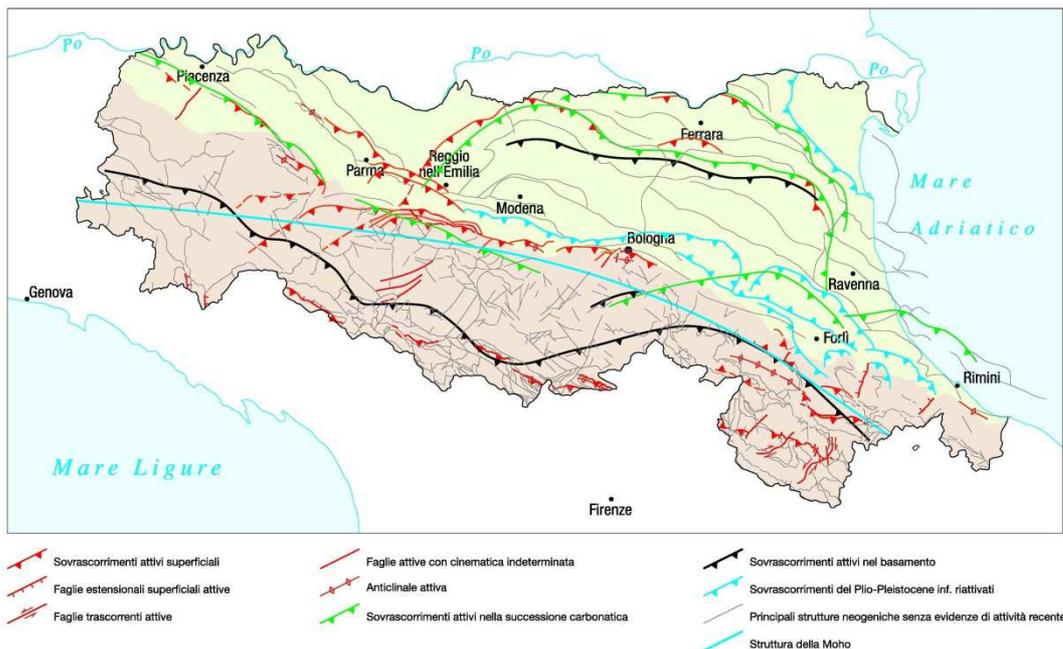


Fig. 1 - Attività neotettonica in Emilia-Romagna (da: “Note illustrative – Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna” - Servizio Geologico Sismico e dei Suoli - Regione Emilia-Romagna - 2004)

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.

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.

 <p>Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti</p>	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	6 di 53

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 Italiana¹.

Con riferimento all'immagine di Fig. 2, le sorgenti sismogenetiche più significative al contorno dell'area in studio sono:

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

¹ Basili R., G. Valensise, P. Vannoli, P. Burrato, U. Fracassi, S. Mariano, M.M. Tiberti, E. Boschi (2008), The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology, *Tectonophysics*.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	7 di 53

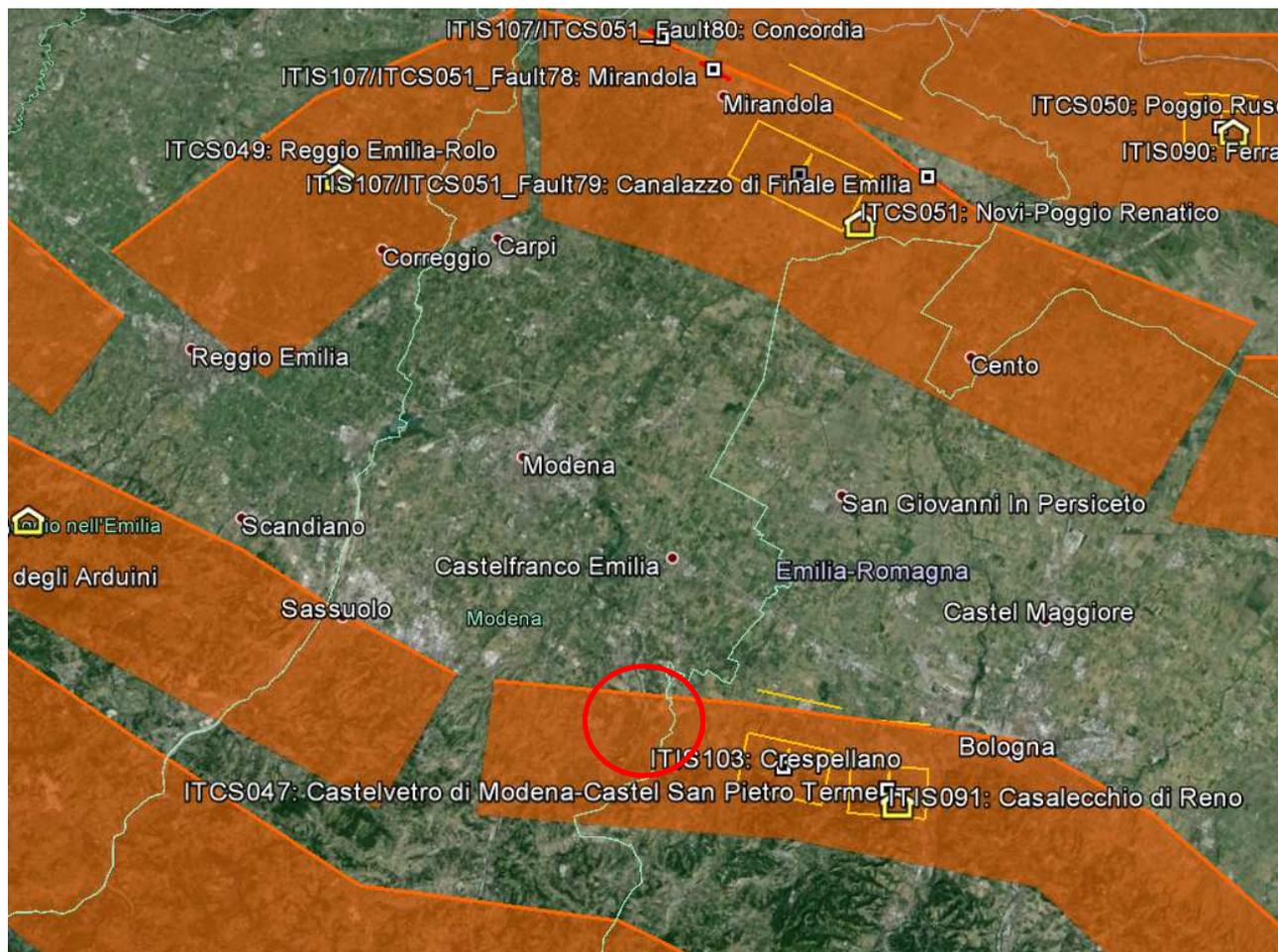


Fig. 2 – Ubicazione delle sorgenti sismogenetiche del DISS 3.1.1. Il Cerchio rosso individua approssimativamente il territorio del Comune di Savignano sul Panaro

2.3 Storia sismica

La storia sismica del Comune di Savignano sul Panaro è stata desunta dal Database Macrosismico Italiano, versione DBMI11², 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 Savignano sul Panaro è riassunta graficamente nel diagramma riportato in Fig. 3, mentre in Tab. 1 sono elencati gli eventi di maggiore intensità, indicando per ciascuno di esse, oltre agli effetti provocati al sito, espressi come I(MCS), la data e l'ora in cui si è verificato, il numero di località in cui è stato registrato l'evento (Np), l'intensità massima epicentrale in scala MCS (Io) e la magnitudo momento (Mw).

² 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	8 di 53

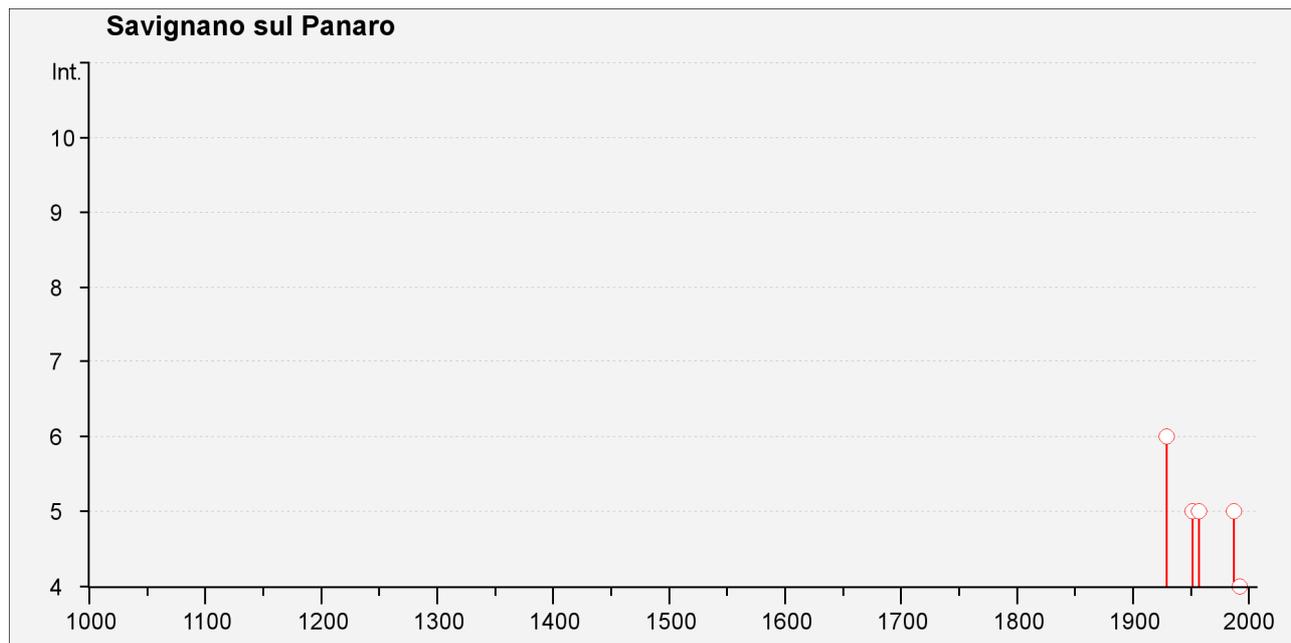


Fig. 3 – Eventi sismici di maggior interesse registrati nel Comune di Savignano sul Panaro

Effetti	In occasione del terremoto del:				
I[MCS]	Data	Ax	Np	Io	Mw
3-4	1887 02 23 05:21	Liguria occidentale	1516	6.97	± 0.15
6	1929 04 22 08:25	Bolognese	41		
6	1929 05 11 19:22	Bolognese	64		
5	1951 10 29 22:48	Valle del Panaro	3	4	4.25 ± 0.25
5	1957 08 27 11:54	ZOCCA	58	5	4.65 ± 0.21
3	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
5	1987 05 02 20:43	Reggiano	802	6	4.74 ± 0.09
4	1992 04 17 11:59	Montevoglio	56	4-5	4.32 ± 0.18
NF	1995 10 10 06:54	LUNIGIANA	341	7	4.85 ± 0.09
NF	2000 06 18 07:42	Parmense	300	5-6	4.43 ± 0.09

Tab. 1 - Massimi eventi sismici i cui effetti si sono risentiti a Savignano sul Panaro

Dall'esame di Fig. 3 e di Tab. 1 si deduce che, tra quelli censiti nel DBMI11, sono solamente 11 gli eventi sismici che hanno avuto un risentimento significativo a Savignano sul Panaro, di cui due con effetti pari al VI grado della scala MCS e due pari al V.

Tuttavia si evidenzia che mancano informazioni relative a questa località nel periodo antecedente al 1887. In particolare non vi sono notizie riguardanti il forte terremoto del 5.6.1501

con epicentro nel vicino Comune di Castelvetro di Modena, a cui viene attribuito un'intensità epicentrale pari a 5.98 Mw (9 MCS) ed effetti a Modena pari a 7-8 MCS.

Inoltre, dal momento che il DBM11 è aggiornato al 2011, 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. 4 è riportata la distribuzione temporale delle scosse sismiche nel periodo compreso tra il 20 maggio ed il 4 giugno 2012 e la relativa intensità.

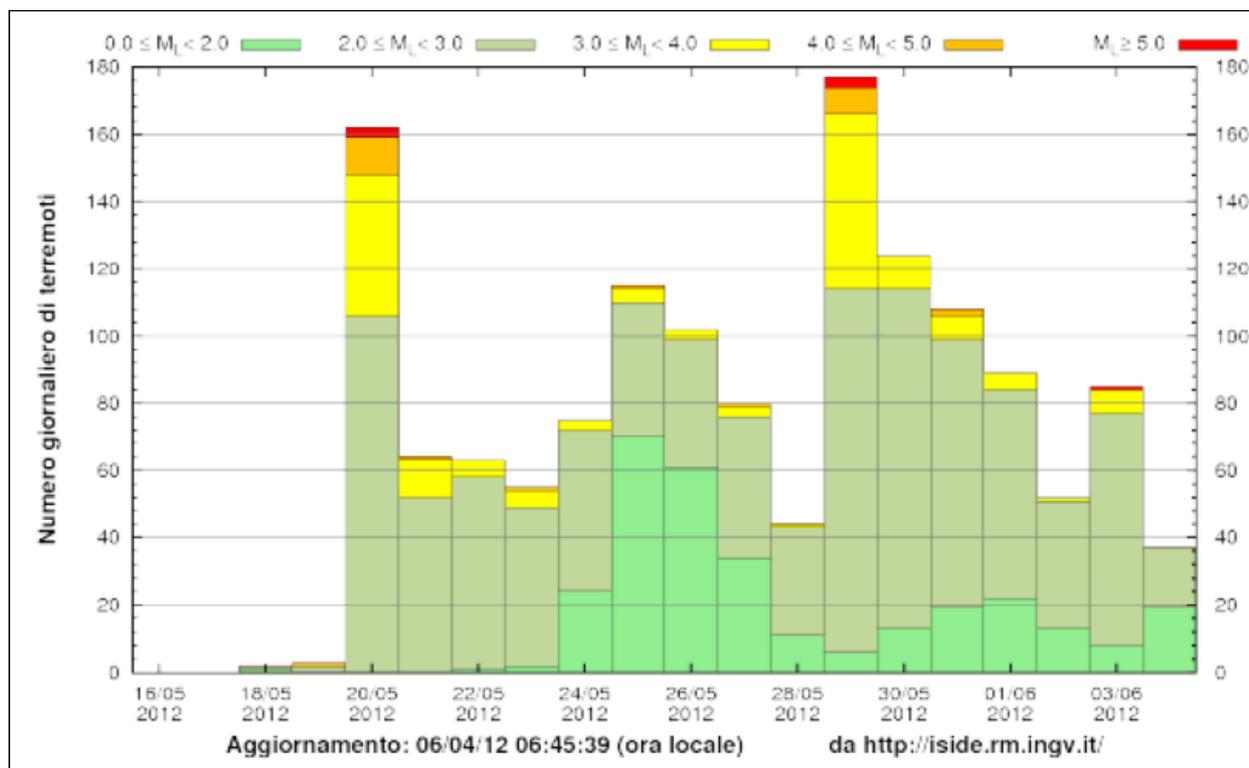


Fig. 4 – Sequenza sismica dal 20 maggio al 4 giugno 2012

In Fig. 5 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).

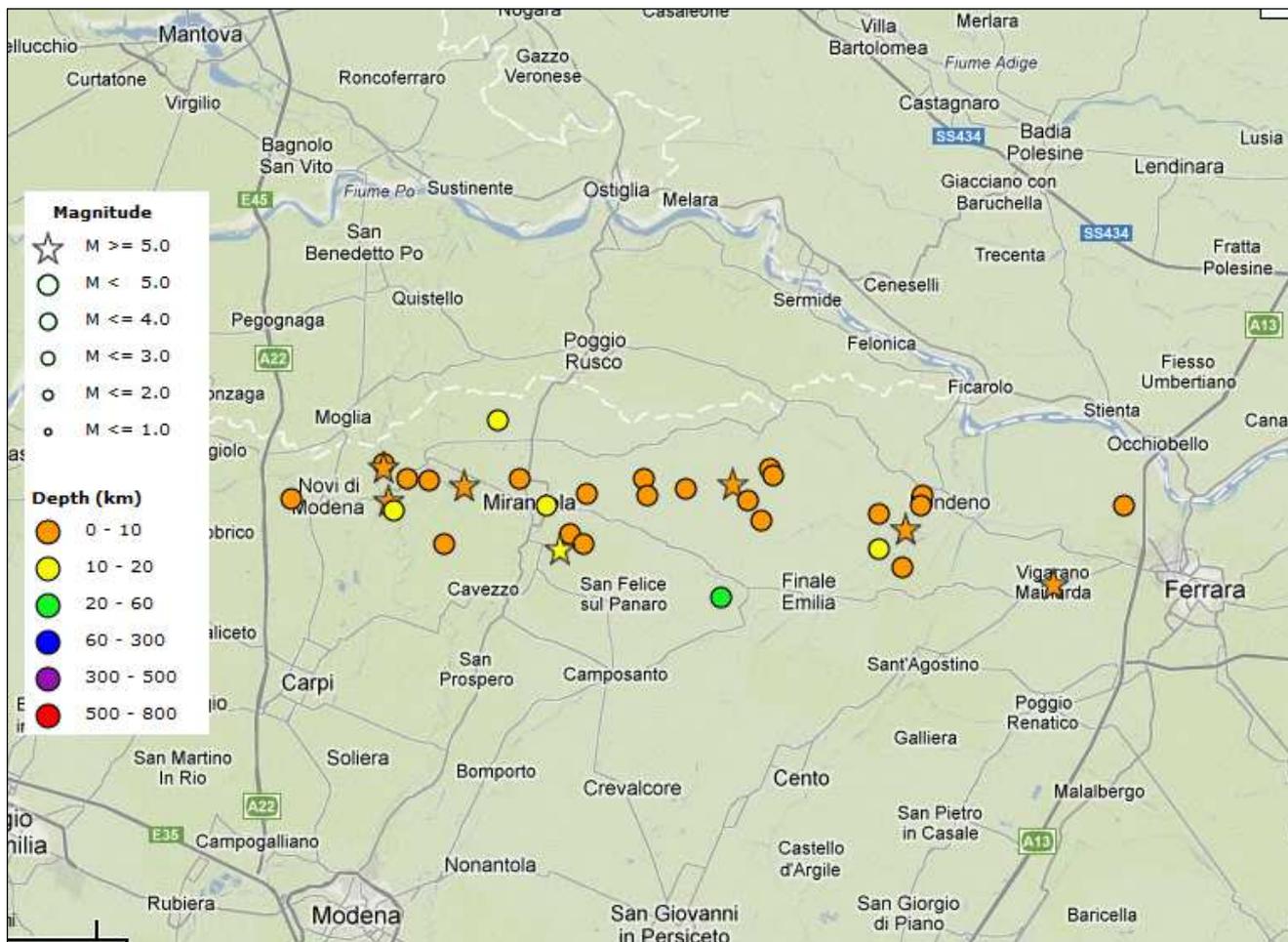


Fig. 5 – Distribuzione degli epicentri dei sismi con magnitudo>4 (da <http://iside.rm.ingv.it>)

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. 6 è rappresentata una sezione schematica delle strutture sismogenetiche che hanno generato il terremoto.

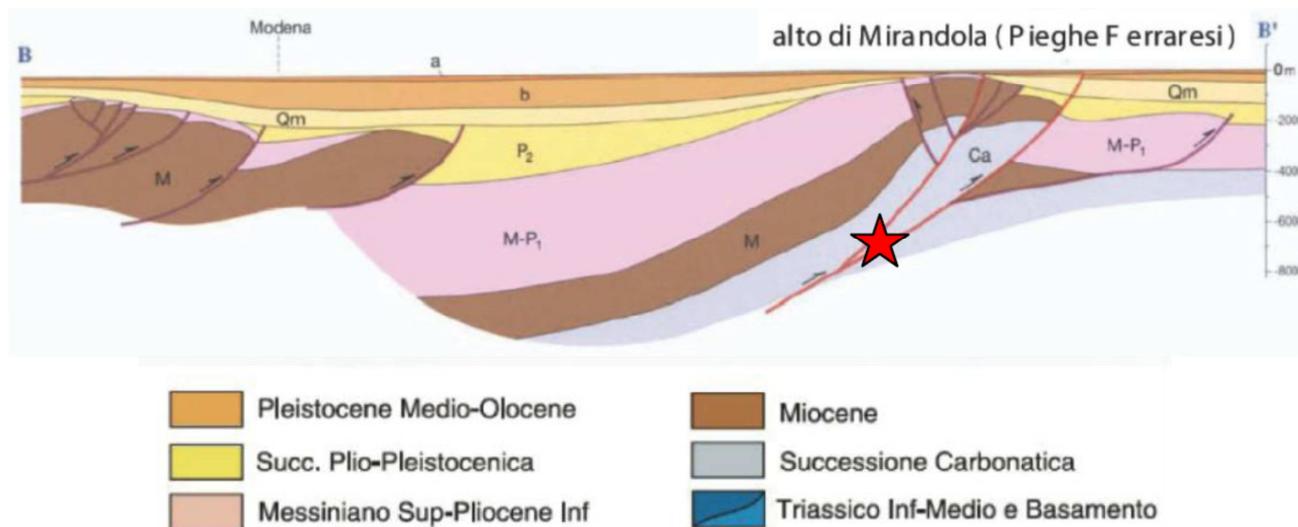


Fig. 6 - Schema delle strutture sismogenetiche (la stella indica la probabile ubicazione dell'ipocentro) da INGV: Relazione sul terremoto del 20 maggio 2012

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.

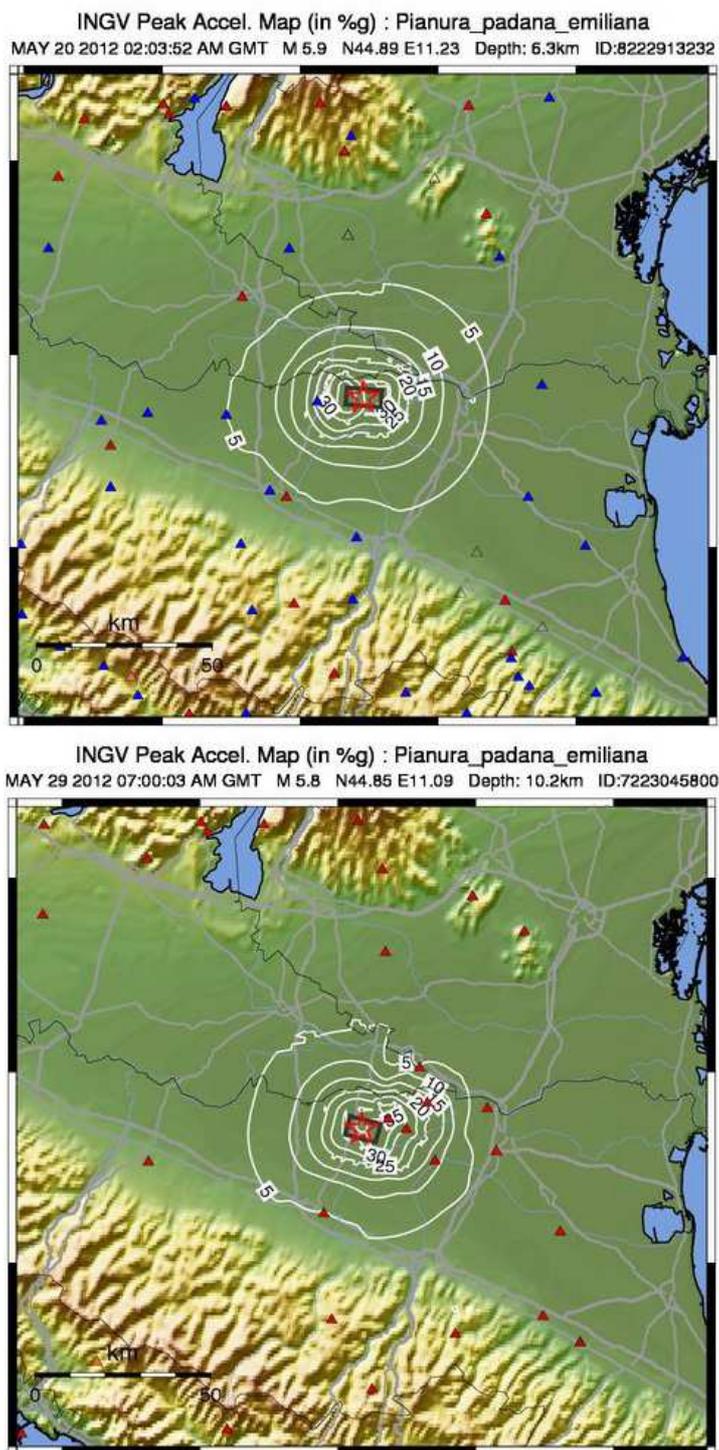


Fig. 7 – Mappe di accelerazione massima stimata al suolo (in % g) per i sismi del 20 e 29 maggio 2012

 <p>Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti</p>	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	13 di 53

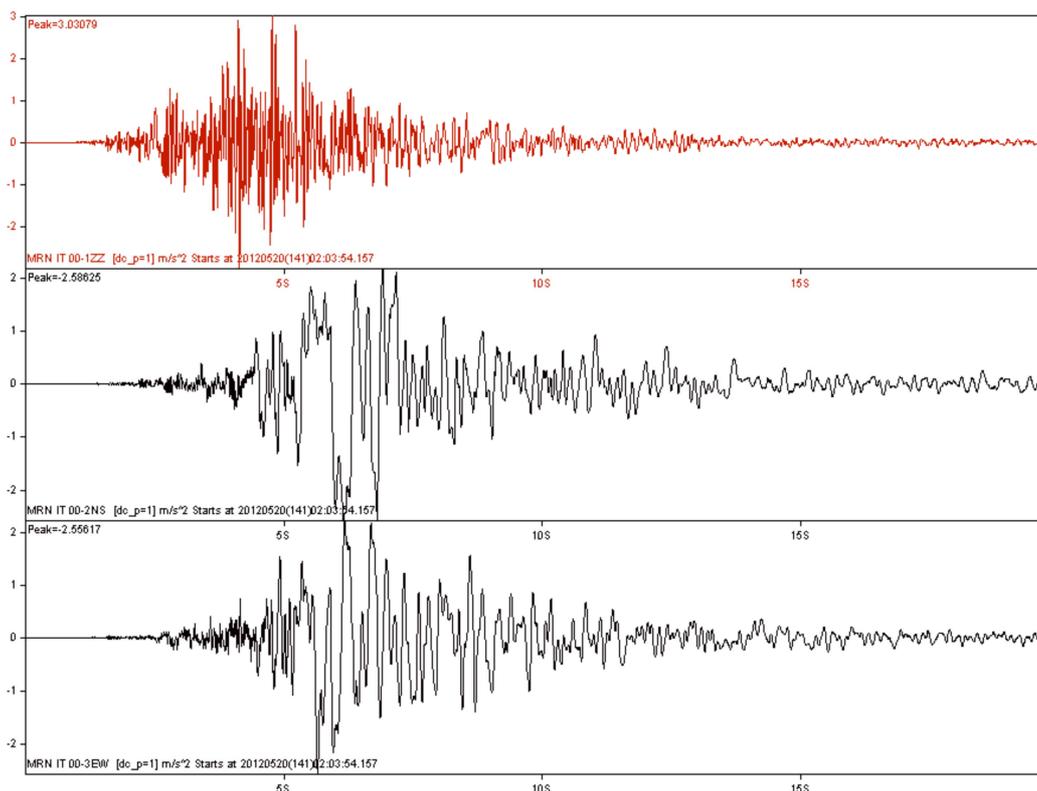


Fig. 8 - Sisma del 20/5/2012. Accelerogramma delle componenti (dall'alto in basso) Verticale, Nord-Sud ed Est-Ovest (acc. m/s², tempo s) registrate dalla stazione di Mirandola della Rete Accelerometrica Nazionale (www.protezionecivile.gov.it)

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 (a_g) 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	14 di 53

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

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

La classificazione vigente, identifica il Comune di Savignano sul Panaro in zona 3 (Fig. 9), cui corrispondono valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g), con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, compresi tra $0,05 \cdot g$ e $0,15 \cdot g$ (dove g è l'accelerazione di gravità).

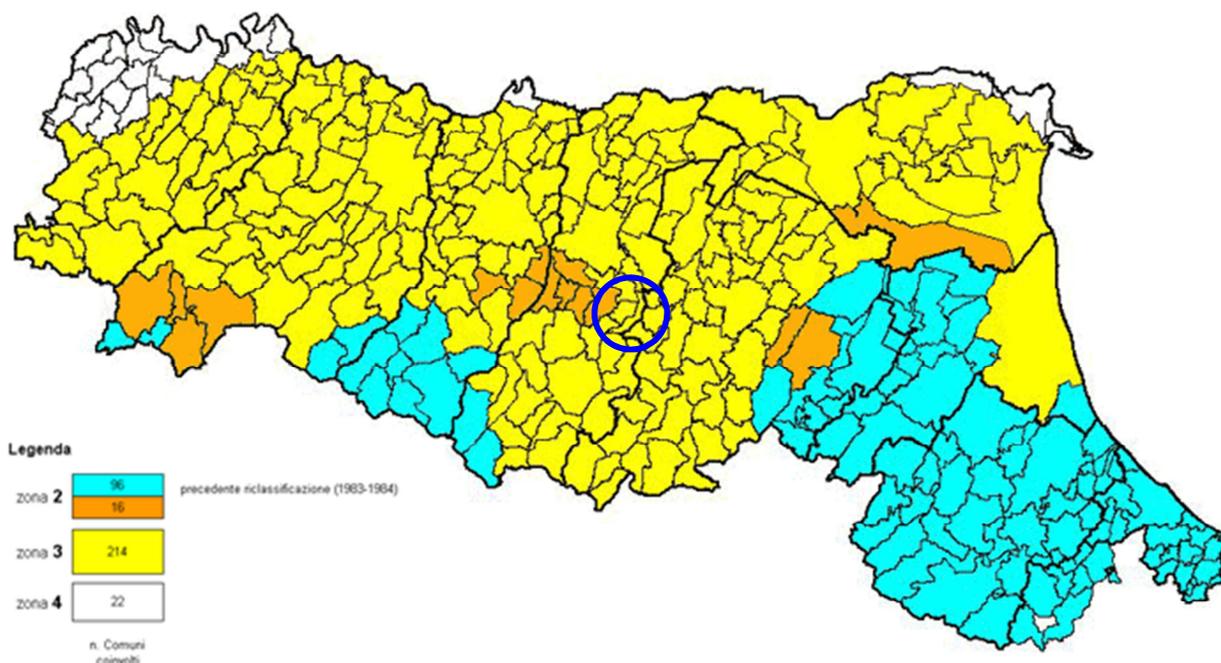


Fig. 9 – Nuova classificazione sismica regionale dei Comuni dell'Emilia Romagna. Il cerchio blu individua il territorio del Comune di Savignano sul Panaro.

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

 <p>Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti</p>	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	15 di 53

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	16 di 53

- 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.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	17 di 53

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° 23 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).

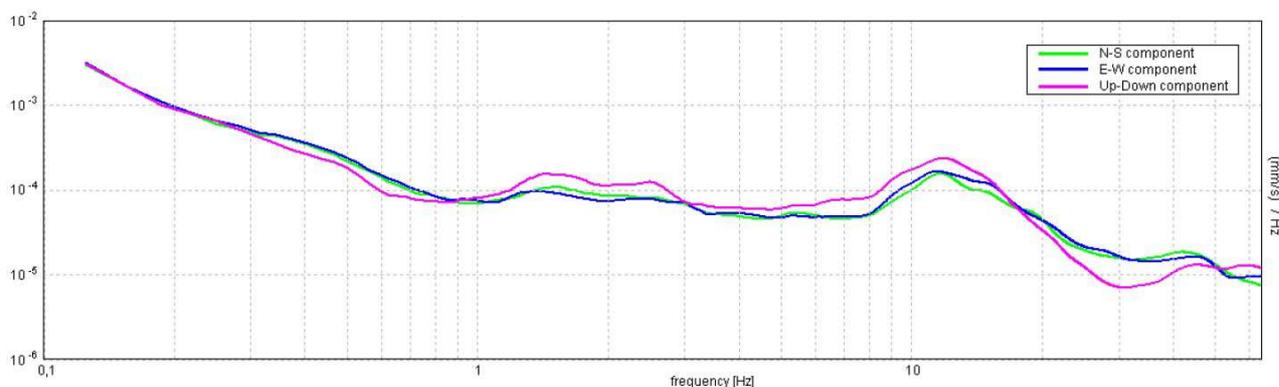


Fig. 10 – Esempio di spettro delle singole componenti

 <p>Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti</p>	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	18 di 53

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 Savignano sul Panaro, 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.

Il settore settentrionale del territorio comunale ricade nella fascia di alta pianura, caratterizzata dai depositi alluvionali della conoide maggiore del F. Panaro, che si protende verso nord sino circa all'altezza della Via Emilia. La porzioni più recente di questa conoide, quella tra il Neolitico e il XX Secolo, si presenta asimmetrica rispetto all'attuale corso, occupando una posizione spostata verso occidente, indicante una costante migrazione da est verso ovest.

Dal punto di vista litologico le conoidi maggiori hanno composizione prevalentemente ghiaiosa nelle aree apicali e di corpi ghiaiosi alternati a peliti via via più potenti e frequenti allontanandosi dall'apice; la transizione ai sedimenti fini dell'antistante piana alluvionale, avviene quindi in modo graduale.

Il settore meridionale del territorio ricade invece nella zona di margine appenninico, caratterizzata dall'affioramento delle argille plio-pleistoceniche (Argille Azzurre) nelle zone collinari, mentre nelle aree di fondovalle sono ricoperte dai depositi alluvionali del F. Panaro. Il succedersi di fenomeni erosivi e deposizionali avvenuti durante le ultime fasi del sollevamento della catena appenninica, è ben documentato dalla presenza di numerosi ordini di terrazzi fluviali. I depositi alluvionali terrazzati sono spesso interessati da coltri eluvio-colluviali di versante ed incisi da solchi di ruscellamento concentrato, appartenenti al reticolo idrografico minore, che hanno generato piccole conoidi laterali.

Nel settore meridionale del territorio comunale affiorano i terreni più antichi, interpretati come appartenenti alla successione sedimentaria che ricopriva il basamento ofiolitico del paleo-oceano Ligure e risalgono al Cretaceo inferiore e superiore ("Argille a palombini", "Argille varicolori", "Arenarie di Scabiazza").

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	19 di 53

Attualmente si presentano come argilliti grigio piombo e varicolorate intensamente tettonizzate, con blocchi e lembi anche cartografabili di torbiditi arenaceo-pelitiche e calcareo-marnose e brecce argillose. La tettonica polifasica ha distrutto l'originario ordine stratigrafico e ha conferito a questi depositi un aspetto caotico.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	20 di 53

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 rapporto spettrale H/V naturale, in cui si possono osservare gli eventuali picchi caratteristici, in corrispondenza di determinate frequenze (Fig. 11).

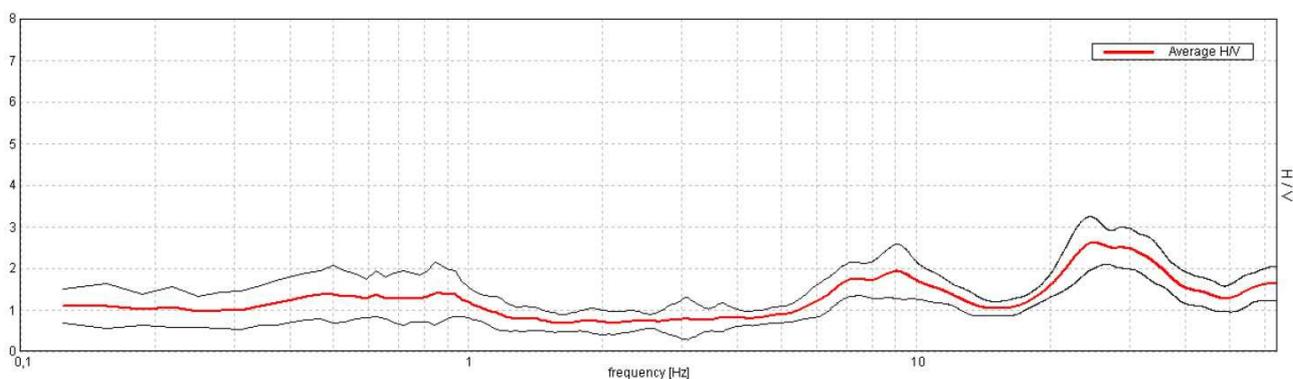


Fig. 1 – Esempio di curva H/V naturale della prova 036041P118HVSR121 eseguita nel settore a nord dell'abitato di Mulino

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	21 di 53

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, spesso non hanno trovato un riscontro nelle curva H/V delle misure di microtremore a stazione singola effettuate appositamente per lo studio di microzonazione.

 Studio di geologia <i>dott. Stefano Castagnetti</i>	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	22 di 53

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:

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	23 di 53

- **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} .
- **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.

 Studio di geologia <i>dott. Stefano Castagnetti</i>	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	24 di 53

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. 12) in base alla tipologia.

	Sondaggio a carotaggio continuo
	Prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)
	Prova penetrometrica dinamica super pesante (DS)
	Prova penetrometrica dinamica pesante (DP)
	Prova penetrometrica dinamica media (DM)
	Prova penetrometrica dinamica leggera (DL)
	Pozzo per acqua
	Prova di carico con piastra
	Stazione microtremore a stazione singola (HVSr)
	MASW
	Prova REfraction Microtremors
	Profilo sismico a rifrazione

Fig. 12 – 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	25 di 53

- n° 4 sondaggi a carotaggio continuo
- n° 12 prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT)
- n° 35 prove penetrometriche dinamiche pesanti e superpesanti (DP - DPSH)
- n° 45 prove penetrometriche dinamiche leggere e medio-pesanti (DL - DM)
- n° 9 MASW
- n° 2 prove REfraction Microtremors
- n° 9 Stazioni microtremore a stazione singola (HVSr)
- n° 2 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° 23 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 Carte 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 220 "Casalecchio di Reno" realizzato secondo le normative del Progetto CARG;

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	26 di 53

- 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 nella Fig. 14 è proposta una sezione geologica (cfr. rappresentazione planimetrica delle tracce riportata in Fig. 13).

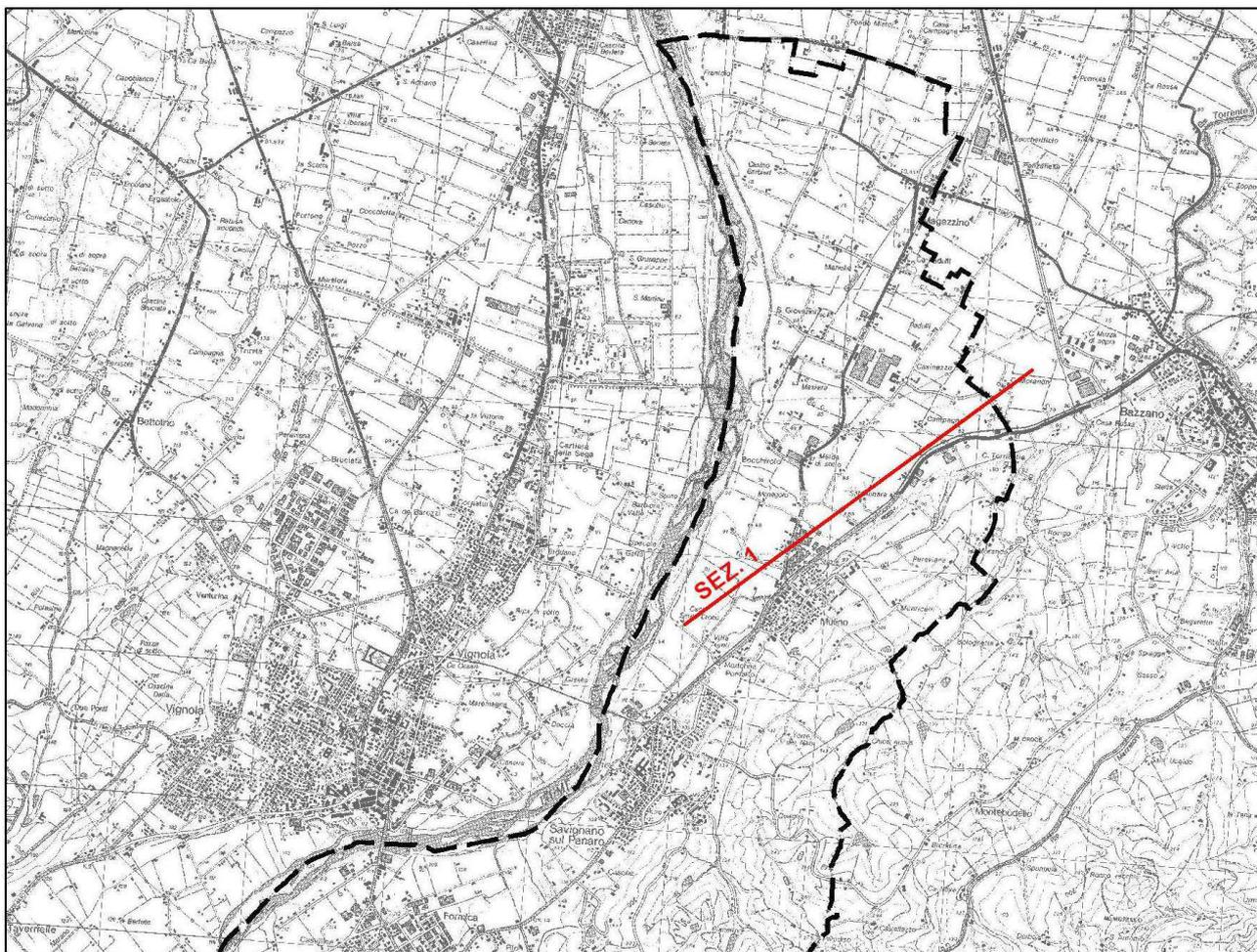


Fig. 13 – Rappresentazione planimetrica della traccia della Sezione geologica pubblicatae sul sito del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna.

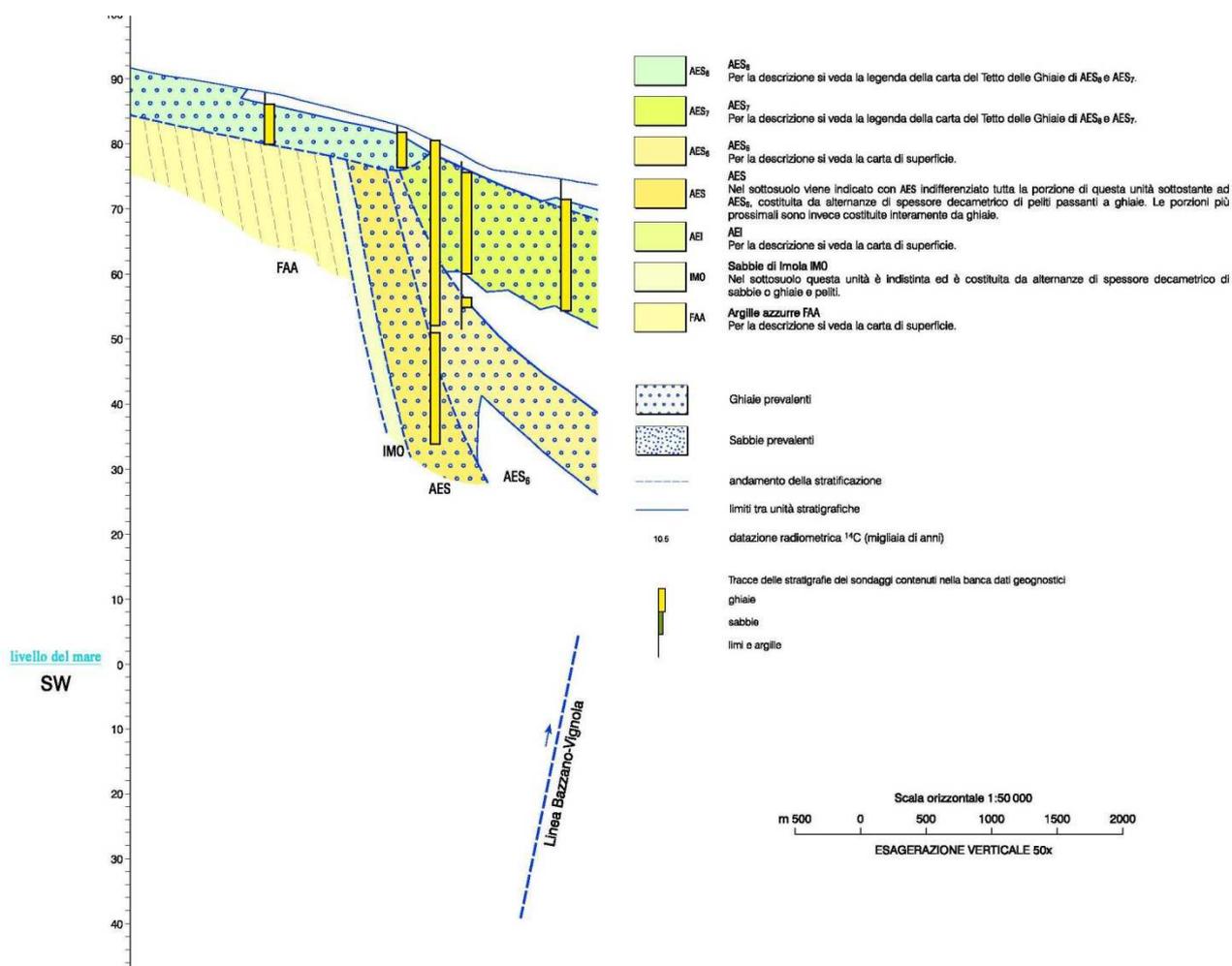


Fig. 14 – Sezione n° 1 (Fonte: Sezione Geologica n° 13 “Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna”)

Il sottosuolo delle porzioni di territorio oggetto di microzonazione sismica, in estrema sintesi, presenta le seguenti caratteristiche:

- gli abitati di Garofalo, Formica, Savignano sul Panaro e Mulino sono caratterizzati da depositi alluvionali del F. Panaro di ridotto spessore, di età olocenica in prossimità del corso d'acqua e pleistocenica a ridosso dei versanti, poggianti sul substrato quasi sempre costituito dalla formazione plio-pleistocenica delle Argille Azzurre;
- il substrato plio-pleistocenico affiora sul versante orientale del fondovalle e lungo il corso del F. Panaro a causa della marcata tendenza all'erosione di fondo, che ha determinato significativi abbassamenti della quota d'alveo;
- nel settore settentrionale del territorio comunale si registra un rapido approfondimento del substrato marino connesso alle strutture tettoniche sepolte del PTF, con spessori rilevanti dei depositi continentali (Fig. 14);
- Nel settore settentrionale, al di sotto del pacco di depositi alluvionali, il substrato marino pleistocenico è rappresentato dalla formazione delle Sabbie di Imola, costituite da depositi sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi di ambiente costiero, che ricopre a sua volta la formazione delle Argille Azzurre.

Considerato quanto sopra descritto, è ipotizzabile che nel settore intravallivo le Argille Azzurre rappresentino un bedrock sismico di tipo non rigido ($V_s < 800$ m/s), mentre spostandosi verso settentrione il ruolo di bedrock potrebbe essere assunto dalla Formazione delle Sabbie Gialle.

Certamente più si va in profondità, più si rinvengono depositi addensati con relativo aumento delle V_s ; tuttavia è evidente che i profili di V_s , 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.

Le indagini, normalmente, consentono di individuare la prima superficie di discontinuità, dove la copertura prevalentemente limoso-argillosa poggia sul livello granulare più superficiale; quanto alle discontinuità più profonde, si hanno informazioni molto meno attendibili.

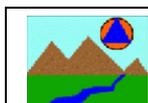
Nelle Carte geologico tecniche, dovendo attenersi agli standard di rappresentazione dettati dagli SRAI, sono state distinte, sulla base delle caratteristiche tessiturali, le seguenti unità di terreni di copertura:

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	29 di 53

- **GP** – *Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia*: sono cartografate in aree prossime all'alveo attuale del F. Panaro nel settore occidentale di Garofano, nel settore settentrionale di Formica, in corrispondenza di Rio d'Orzo tra Formica e Doccia (Capoluogo), a valle del Canal Torbido nel tratto in cui costeggia il Capoluogo e lungo il tratto della nuova Pedemontana che porta al confine con i Comuni di Vignola e Spilamberto.
- **GM** – *Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo*: cartografate in corrispondenza di ampi settori di Formica, Garofano, Doccia, Magazzeno e della relativa area produttiva
- **GC** – *Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla*: cartografate nel settore occidentale di Formica e in due fasce lateralmente al Rio d'Orzo
- **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 un settore morfologicamente rilevato del Capoluogo e in corrispondenza dell'abitato di Mulino.
- **CL** – *Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre*: cartografate in un settore nella periferia meridionale di Mulino, in due aree di limitata estensione nel Capoluogo e a monte del sito produttivo "ex Italcementi" di Formica.

Inoltre, laddove affiora il substrato geologico, è stata operata la distinzione tra:

- **Substrato coesivo sovraconsolidato**: costituito dalla formazione delle Argille Azzurre e cartografato a Doccia lungo la base del versante, in due fasce ristrette e allungate nell'abitato di Mulino e a monte del sito produttivo "ex Italcementi" di Formica. Si tratta di argille, argille marnose, marne argillose e siltose grigie e grigio-azzurre, talora grigio plumbeo, in strati medi e subordinatamente sottili.
- **Alternanza di litotipi stratificato**: rappresentati dalla Formazione di Adone e cartografati in corrispondenza del castello del Capoluogo. È costituita da prevalenti arenarie, generalmente poco cementate, con abbondante matrice siltoso-argillosa e subordinati conglomerati, in strati da medi a banchi, alternate a peliti sabbiose con stratificazione da sottile a spessa, a geometria talora tabulare, talora lenticolare. Verso l'alto aumenta la frequenza delle peliti. Stratificazione non sempre ben evidente a causa della bioturbazione. Il colore delle sabbie è grigio e grigio-azzurro,



beige se alterate, mentre quello delle peliti è grigio scuro. Presenti corpi grossolani con geometria sia tabulare che lenticolare, con stratificazione incrociata concava, superfici e docce erosive, intervalli tipo panchine fossilifere e ciottoli prevalentemente costituiti da calcilutiti.

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

- **es** – argini, barre, canali;
- **ca** – conoide alluvionale;
- **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 rigido 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. 15).

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	31 di 53

frequenza picco significativo (Hz)	ampiezza picco	
	≤ 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 frequenza relative al primo picco significativo (in rosso) e al secondo picco (in blu) se presente

Fig. 15 – 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 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
036045P114	2001	16,78	2,7	8,3	1,75
036045P115	2001	-	-	-	-
036045P116	2001	-	-	-	-
036045P117	2001	18,84	1,49	-	-
036045P118	2001	9,01	1,93	-	-
036045P119	2002	-	-	-	-
036045P120	2002	13,44	3,42	-	-
036045P121	2002	17,44	2,75	-	-
036045P122	2005	-	-	-	-
036045P123	2004	1,43	1,76	-	-
036045P124	2002	-	-	-	-
036045P125	2003	-	-	-	-
036045P126	2002	14,97	2,45	1,94	1,76
036045P127	2003	-	-	-	-
036045P128	2002	1,97	2,69	3,5	2,4
036045P129	2002	2,48	1,92	17,9	2
036045P130	2006	1,94	2,6	5,83	2,55
036045P131	2002	2,06	2	7,85	1,67
036045P132	2002	2,4	1,87	-	-
036045P133	2002	17,38	4,6	-	-
036045P134	2002	1,38	1,93	-	-
036045P135	2002	2,74	1,92	-	-
036045P136	2002	2,09	2,33	-	-
036045P47	2001	16	5,8	-	-

Tab. 3 – Riepilogo dei risultati delle prove tromografiche a Savignano sul Panaro

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

- dalle prove realizzate all'interno della MOPS 2001 è possibile osservare picchi H/V in alta frequenza (>10 Hz), indotti da una ridotta coltre di materiali fini sovrastante depositi ghiaiosi addensati. Viceversa risultano quasi sempre assenti picchi secondari significativi a più bassa frequenza, data la prevalenza dei depositi grossolani sino all'interfaccia con il sottostante substrato marino, che non sembra generare un netto contrasto di impedenza;
- le prove realizzate all'interno della MOPS 2002 sono anch'esse generalmente caratterizzate da picchi in alta frequenza, ma si osserva un lieve incremento di H/V a partire da frequenze inferiori a 3 Hz, correlabili con superfici di discontinuità a profondità di circa 40÷60 m da p.c.;
- la MOPS 2003 e 2005 non evidenziano picchi H/V significativi nell'intervallo di frequenza 0,1÷20 Hz. Sono talvolta presenti picchi a frequenze superiori a 20 Hz, correlabili a contrasti di impedenza a ridotta profondità (orizzonti di alterazione superficiali);
- nella MOPS 2006, eseguita su substrato costituito dalla Formazione di M. Adone, sono presenti più picchi H/V probabilmente indotti dall'alternanza dei litotipi che compongono la formazione.

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 Savignano sul Panaro.
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

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	34 di 53

locale. All'interno di queste aree si è operata una ulteriore distinzione sulla base delle caratteristiche litostratimetriche, 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.

La maggior parte delle aree urbanizzate e urbanizzabili 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 6 microzone omogenee (Fig. 15), ognuna con un proprio profilo stratigrafico tipo riferito ai primi 50 m di sottosuolo.

Inoltre in un settore di limitata estensione a monte del sito produttivo “*ex Italcementi*” di Formica sono presenti alcune *zone suscettibili di instabilità* che sono state classificate quali zone di attenzione per instabilità di versante attiva o quiescente (Fig. 16).

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	35 di 53

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

- 2001** ZONA 1: successione stratigrafica costituita da prevalenti depositi ghiaiosi con locali intercalazioni di livelli limo-sabbiosi
- 2002** ZONA 2: successione stratigrafica costituita da un livello superficiale limo-argilloso dello spessore di 2-4 m che ricopre depositi ghiaiosi poggianti su un substrato coesivo sovraconsolidato non stratificato, situato alla profondità di circa 5-8 m dal p.c..
- 2003** ZONA 3: successione stratigrafica costituita da un livello superficiale limo-argilloso dello spessore di 4 m che ricopre depositi ghiaiosi poggianti su un substrato coesivo sovraconsolidato non stratificato, il cui tetto è situato alla profondità di -5 m dal p.c..
- 2004** ZONA 4: Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido non stratificato ricoperto da una coltre di depositi eluvio-colluviali di spessore 5,00-8,00 m
- 2005** ZONA 5: Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido non stratificato ricoperto da una coltre di depositi eluvio-colluviali di spessore medio inferiore a 3,00 m
- 2006** ZONA 6: Successione stratigrafica costituita da substrato non rigido stratificato ricoperto da una coltre di depositi eluvio-colluviali di spessore medio inferiore a 3,00 m

Zone di attenzione per instabilità

- 3013** ZAFR_A – Zona di attenzione per instabilità di versante attiva
- 3023** ZAFR_Q – Zona di attenzione per instabilità di versante quiescente

Fig. 16 – Legenda della carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)

Zona 1 (cod. 2001)

Questa zona ricomprende il settore di territorio a nord dell'abitato di Mulino, con il tracciato della strada Pedemontana e l'abitato di Magazzino. Il sottosuolo risulta infatti caratterizzato da prevalenti depositi ghiaiosi, con locali intercalazioni di livelli limo-sabbiosi (Fig. 17).

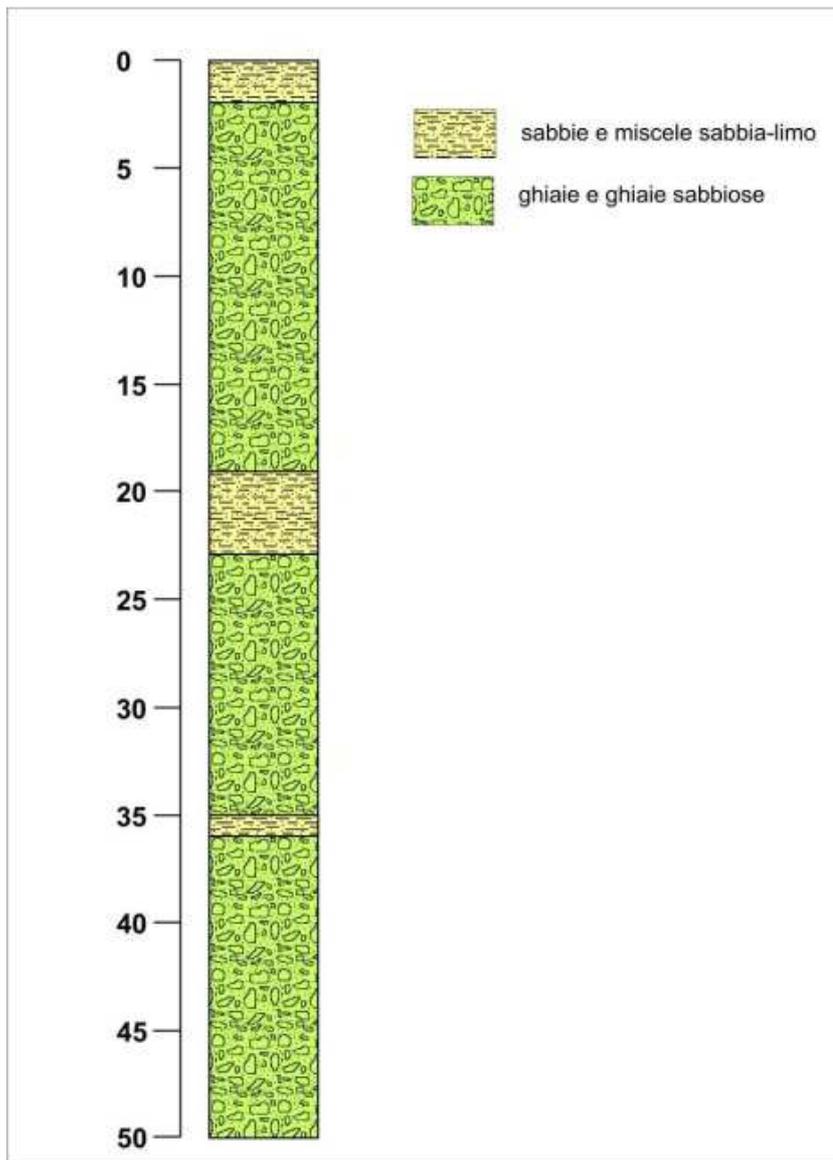


Fig. 17 – Successione stratigrafica cod. 2001

Zona 2 (cod. 2002)

Si tratta della zona di maggiore estensione e ricomprende per intero gli abitati di Garofano e Formica, buona parte del Capoluogo e la fascia morfologicamente ribassata di Mulino. E' costituita dai depositi alluvionali intravallivi del F. Panaro, caratterizzati da un orizzonte superficiale limo-argilloso dello spessore di 2÷4 m, che ricopre sedimenti ghiaiosi di modesto spessore, poggianti su un substrato coesivo sovraconsolidato non stratificato (Argille Azzurre), situato alla profondità di circa 5÷8 m dal p.c. (Fig. 18).

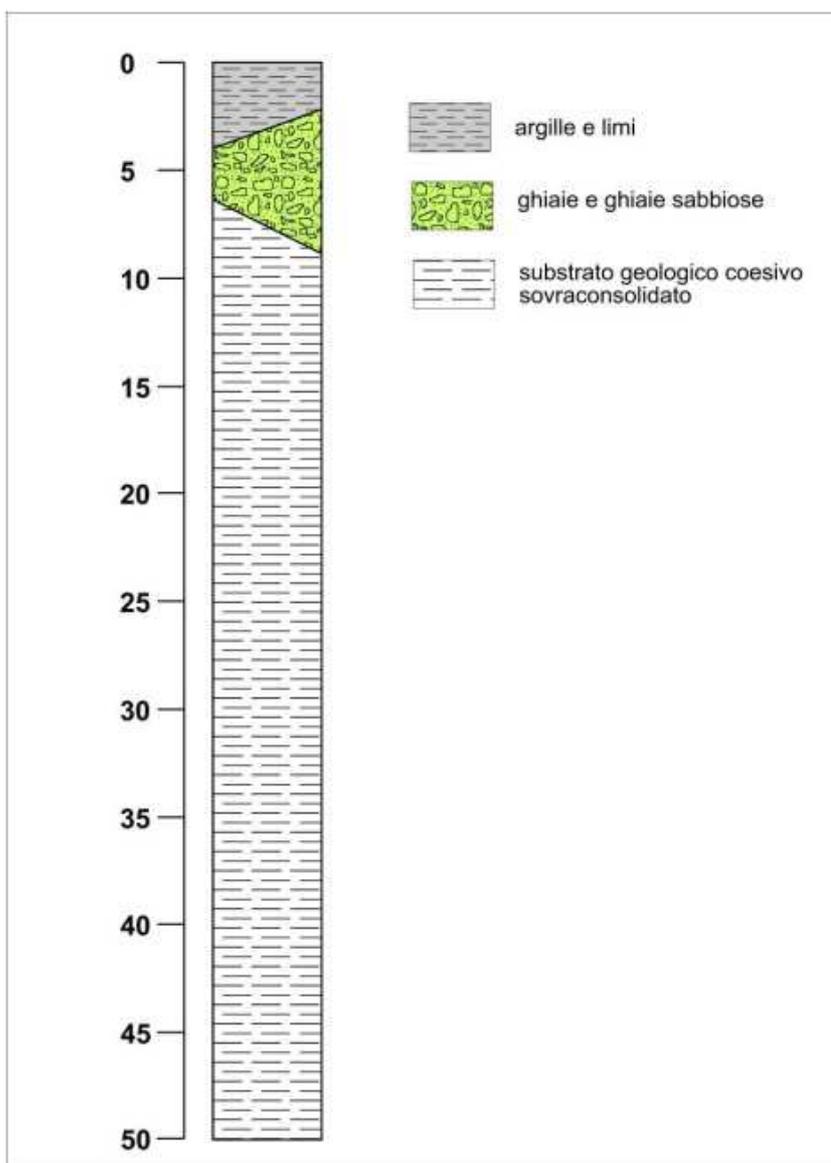


Fig. 18 – Successione stratigrafica cod. 2002

Zona 3 (cod. 2003)

Questa zona è stata individuata in settore morfologicamente rilevati del Capoluogo e dell'abitato di Mulino, in cui sono presenti terrazzi alluvionali sospesi. Il sottosuolo è caratterizzato da un orizzonte superficiale limo-argilloso dello spessore di 3÷4 m, che ricopre depositi ghiaiosi di modesto spessore, poggianti su un substrato coesivo sovraconsolidato non stratificato (Argille Azzurre), il cui tetto è situato alla profondità di circa 5 m dal p.c. (Fig. 19).

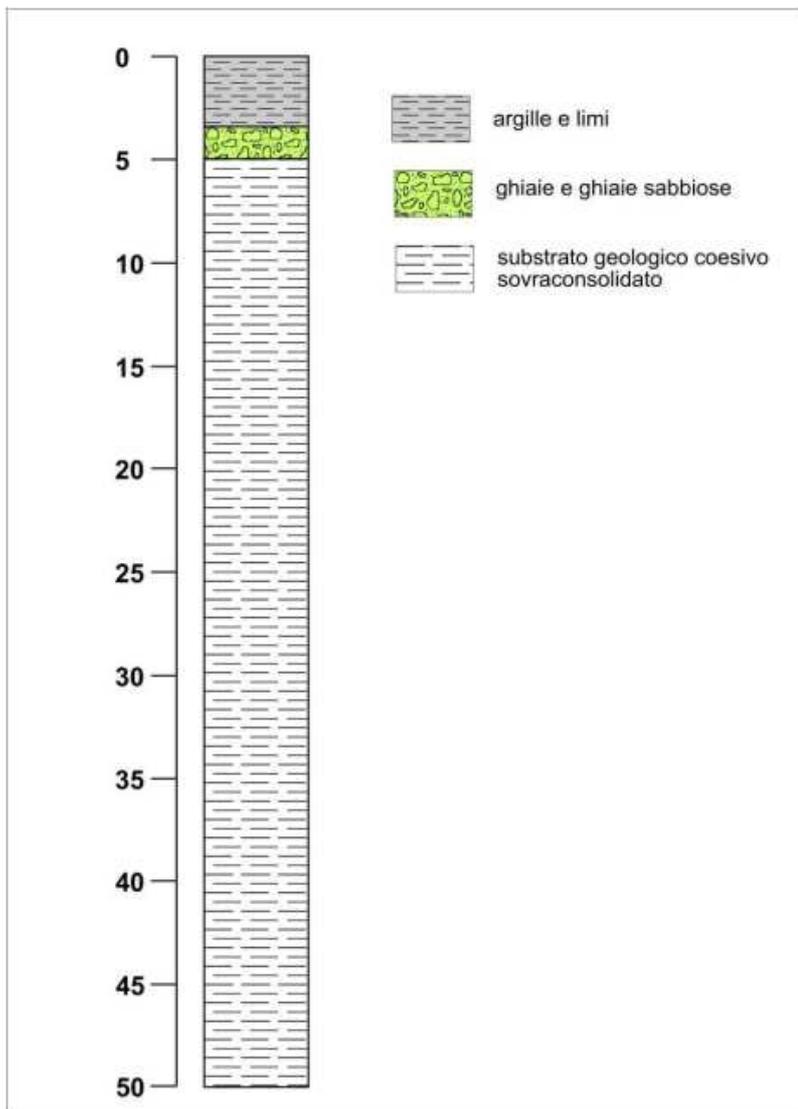


Fig. 19 – Successione stratigrafica cod. 2003

Zona 4 (cod. 2004)

Questa zona ricomprende un settore nella periferia meridionale di Mulino, due aree di limitata estensione nel Capoluogo e a monte del sito produttivo “ex Italcementi” di Formica. Il sottosuolo è costituito da substrato non rigido e non stratificato (Argille Azzurre), ricoperto da una coltre di depositi eluvio-colluviali dello spessore di 5÷8 m (Fig. 20).

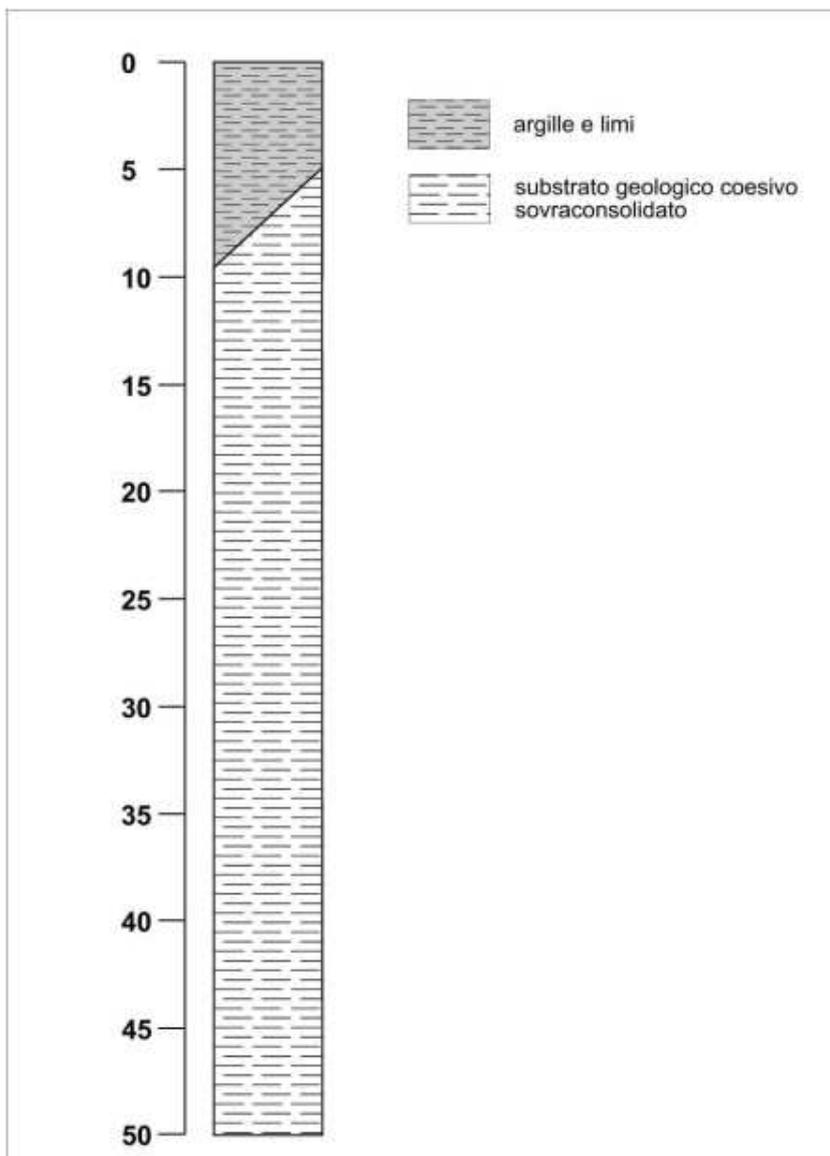
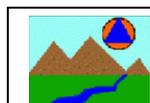


Fig. 20 – Successione stratigrafica cod. 2004



Zona 5 (cod. 2005)

Questa zona è stata individuata nel Capoluogo lungo la base del versante, in due fasce ristrette e allungate nell'abitato di Mulino e in un piccolo ambito tra Doccia e Formica. Il sottosuolo è costituito da substrato non rigido e non stratificato (Argille Azzurre), ricoperto da una coltre di depositi eluvio-colluviali di spessore medio inferiore a 3 m (Fig. 21).

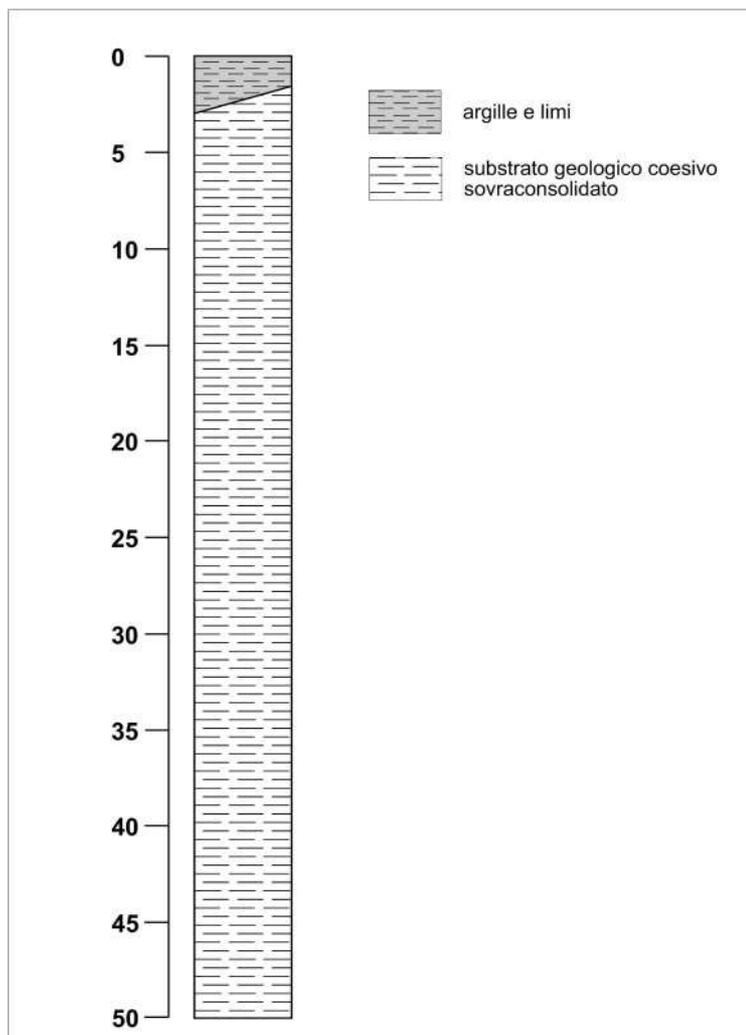


Fig. 21 – Successione stratigrafica cod. 2005

Zona 6 (cod. 2006)

Questa zona è stata individuata in corrispondenza del castello del Capoluogo. Il sottosuolo è costituito da substrato non rigido e stratificato (Formazione di M. Adone), ricoperto da una coltre di depositi eluvio-colluviali di spessore medio inferiore a 3 m (Fig. 22).

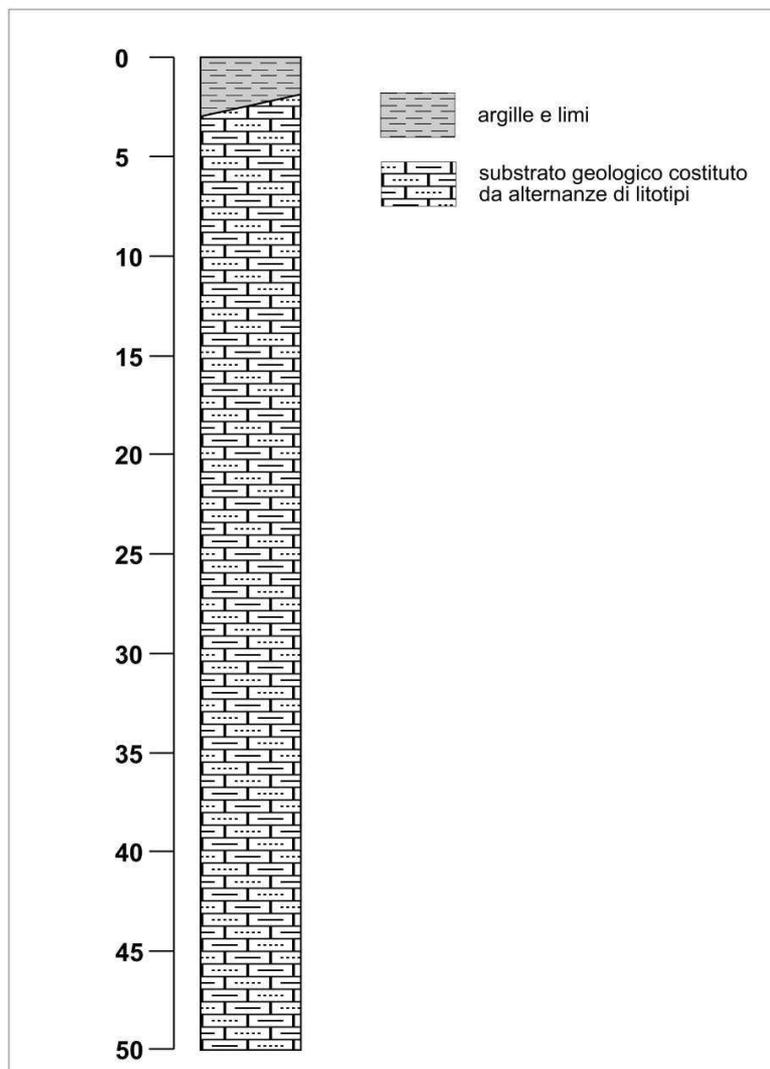


Fig. 22 – Successione stratigrafica cod. 2006

Inoltre in questa zona sono state raffigurate anche alcune tracce di sezioni topografiche in corrispondenza del versante ad est del castello, meritevole di attenzione per l'amplificazione topografica (Fig. 23).

Infatti dall'esame della cartografia, è emerso che tale versante presenta una pendenza media di circa 33°.

Pertanto in tale area si è provveduto ad individuare i settori più critici, dove sono stati tracciati n° 3 profili di studio lungo la linea di massima pendenza, al fine di determinare l'entità dell'amplificazione topografica (cfr. paragrafo 7.6).

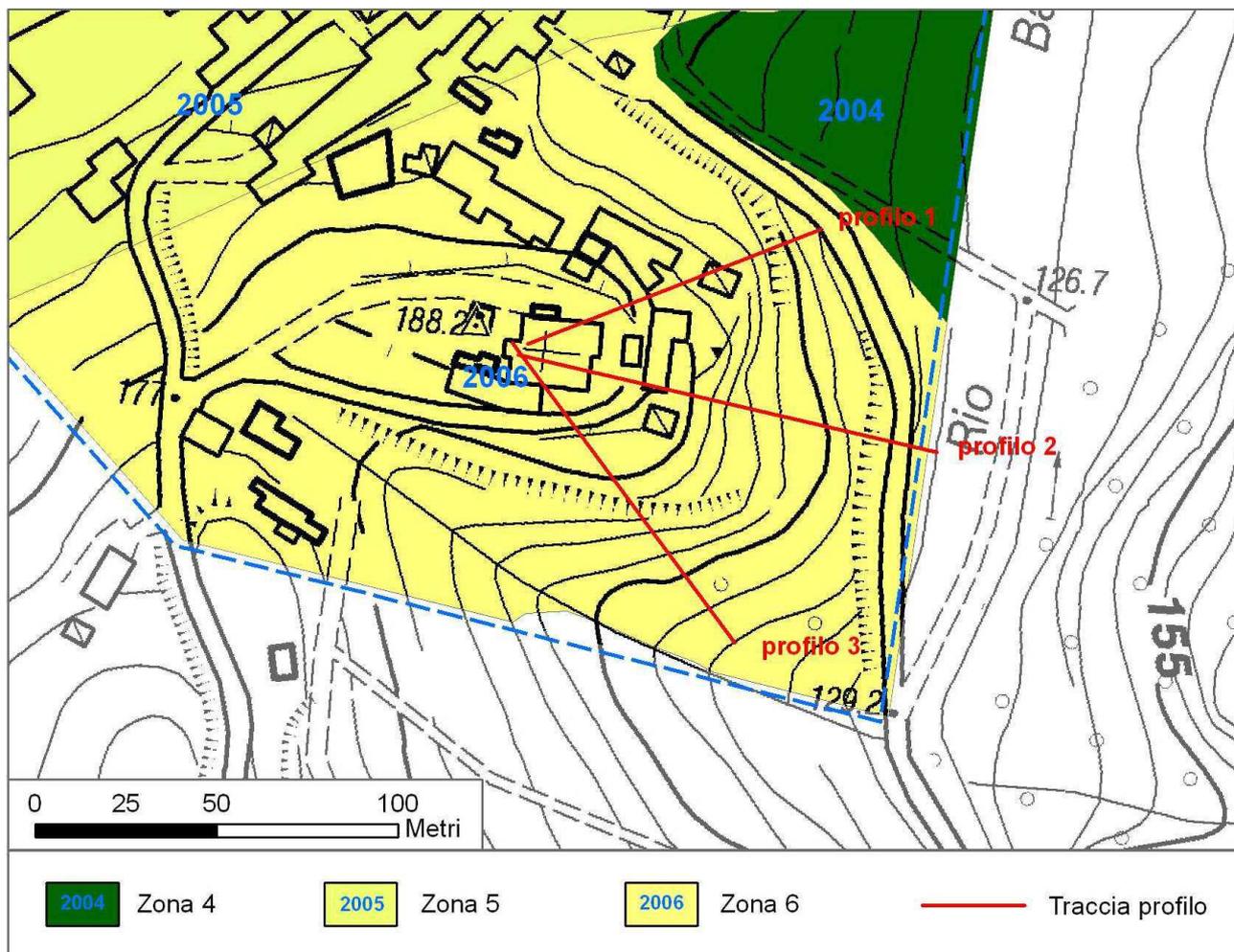


Fig. 23 – Ubicazione tracce sezioni topografiche

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. 24).

 <p>Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti</p>	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	43 di 53

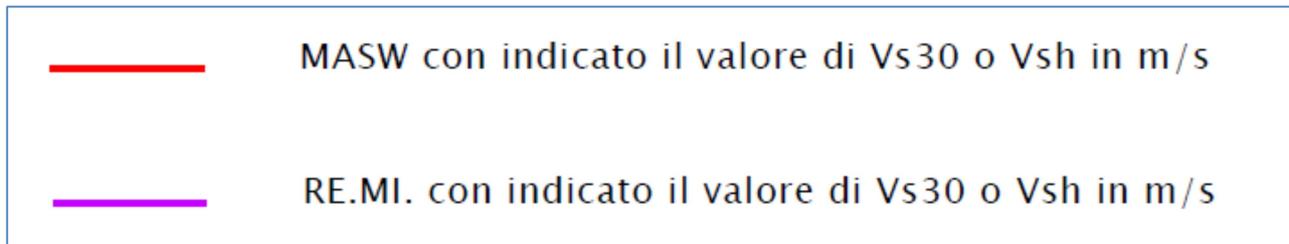


Fig. 24 – Legenda della carta delle velocità delle onde di taglio S

Per la stesura di questa carta sono stati utilizzati esclusivamente i profili di Vs 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.

La Zona 1, il cui sottosuolo è costituito dalla prevalenza di depositi ghiaiosi con subordinate intercalazioni di materiali fini, è caratterizzata da valori di V_{s30} di circa 500 m/s.

La Zona 2, in cui è presente un substrato marino a ridotta profondità, è caratterizzata da valori di V_{SH} variabili e generalmente compresi tra 280 e 325 m/s con H pari a 10÷14 metri.

Nella Zona 3 è presente una ridotta coltre di materiali fini a bassa velocità, mentre le sottostanti ghiaie e il substrato marino sono caratterizzati da Vs dello stesso ordine di grandezza (400÷450 m/s).

Nella Zona 2004, in cui sono presenti depositi eluvio-colluviali, si è registrata una V_{SH} di 268 m/s con H pari a 9.

Alle Zone 2005 e 2006, corrispondenti agli areali con substrato marino subaffiorante, sono stati attribuiti valori di Vs rispettivamente pari a 450 e 500 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.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	44 di 53

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).

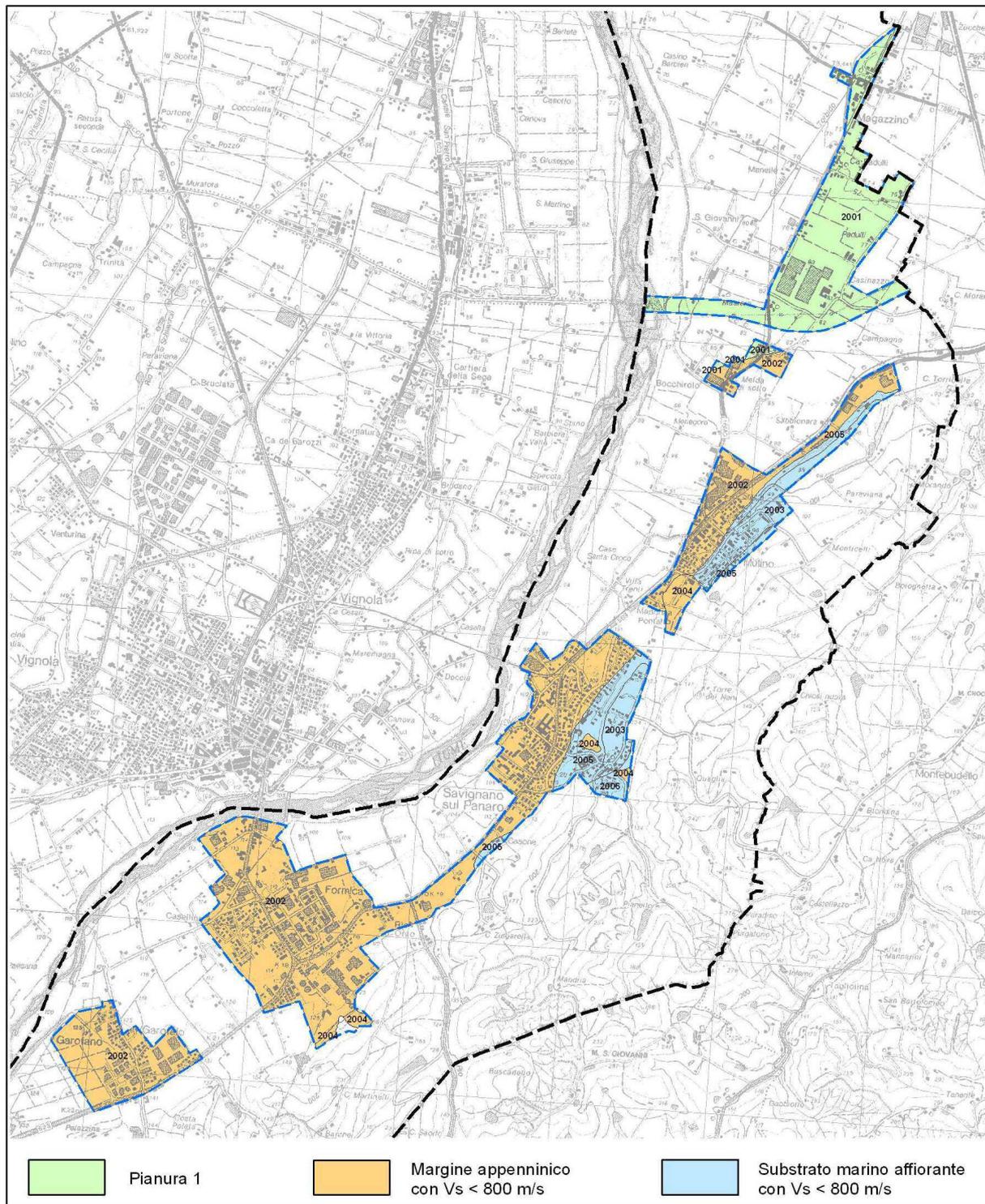


Fig. 25 – Rappresentazione delle Zone sulla base delle Tabelle utilizzate per l'attribuzione dei fattori di amplificazione

Più in particolare per la Zona 1 (Fig. 25) 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.).

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

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/PGA₀) e Intensità di Housner (SI/SI₀), nel caso di profilo stratigrafico tipo PIANURA 1 (da Allegato 2 degli indirizzi regionali)

Per quanto riguarda le Zone 2 e 4 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 ambiti caratterizzati dalla presenza di un bedrock sismico “lento” ad una profondità di circa 10 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/PGA₀) e Intensità di Housner (SI/SI₀), nel caso di profilo stratigrafico tipo MARGINE APPENNINICO–PADANO con V_s < 800 m/s (da Allegato 2 degli indirizzi regionali)

Infine per le Zone 3, 5 e 6 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/PGA₀) e Intensità di Housner (SI/SI₀), nel caso di substrato marino affiorante con $V_s < 800$ m/s (da Allegato 2 degli indirizzi regionali)

Per la Zona 1 individuata 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, nonché dalle interpretazioni delle misure di microtremore a stazione singola (v. Carta delle velocità delle onde S).

Viceversa per le Zone 2 e 4 sono stati calcolati i valori di V_{sH} utilizzando uno spessore $H = 10$ m.

Per la Zona 3, caratterizzata da una coltre a bassa velocità inferiore a 3 metri e priva di contrasti di impedenza significativi a profondità maggiori, si è fatto riferimento alla V_s del substrato marino.

Infine per le Zone 5 e 6, caratterizzate da substrati marini “lenti” affioranti, sono stati impiegati valori di V_s rispettivamente pari a 450 e 500 m/s.

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

- Zona 2001 → $V_{s30} = 500$ m/s
- Zona 2002 → $V_{s10} = 300$ m/s
- Zona 2003 → $V_s = 450$ m/s
- Zona 2004 → $V_{s10} = 250$ m/s
- Zona 2005 → $V_s = 450$ m/s
- Zona 2006 → $V_s = 500$ m/s

Utilizzando la tabella “Pianura 1” (per la Zona 1), la tabella “Margine Appenninico-Padano con $V_s < 800$ m/s” (per le Zone 2 – 3 – 4) e la tabella “substrato < 800 m/s (per le Zona 5 – 6) 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
F.A. P.G.A.	1.4	1.8	1.4	2.0	1.4	1.3
F.A. I_s ($0.1s < T_0 < 0.5s$)	1.5	1.7	1.5	1.9	1.5	1.4
F.A. I_s ($0.5s < T_0 < 1.0s$)	1.6	1.4	1.4	1.5	1.4	1.4

Tab. 7 - valori dei Fattori di Amplificazione sismica

Come anticipato nel paragrafo 7.4, in corrispondenza del versante est del castello di Savignano (Zona 6), è stata valutata anche l’amplificazione dell’impulso sismico generata dalle condizioni topografiche.

Per il calcolo del Fattore di Amplificazione topografica S_T dettagliatamente descritto nella Fig. 6, sono state seguite le disposizioni e i suggerimenti contenuti nell’Allegato 2 degli indirizzi regionali della DAL 112/2007.

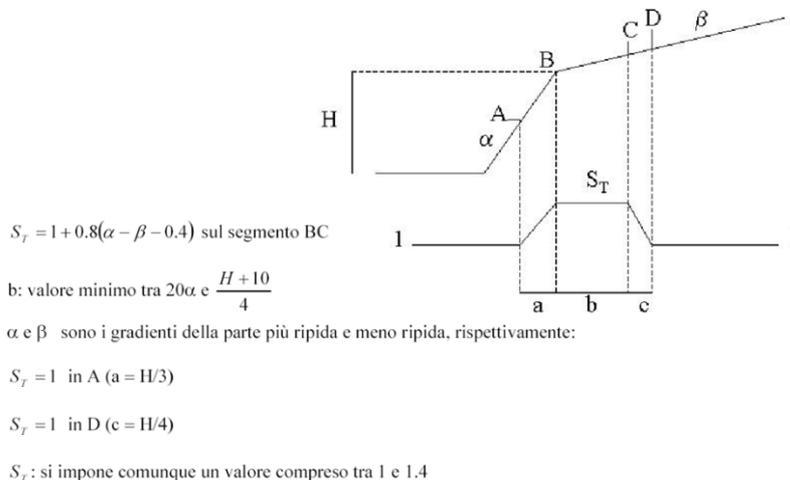


Fig. 26 – Calcolo del fattore di amplificazione topografica secondo gli indirizzi regionali (DAL 11282007)

Nella **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**7 sono raffigurate le sezioni topografiche con indicazione delle dimensioni dei differenti tratti a, b, c (cfr. Fig. 26) e dei relativi Fattori di Amplificazione topografica S_T , che determinano ulteriori amplificazioni del moto sismico variabili da 1,2 a 1,3.

Ne consegue che l'amplificazione sismica complessiva, limitatamente a ristrette fasce alla sommità del pendio della Zona 6, è determinata dal prodotto tra il fattore di amplificazione stratigrafica, relativo a P.G.A. o I.S., per i vari fattori di amplificazione topografica S_T calcolati.

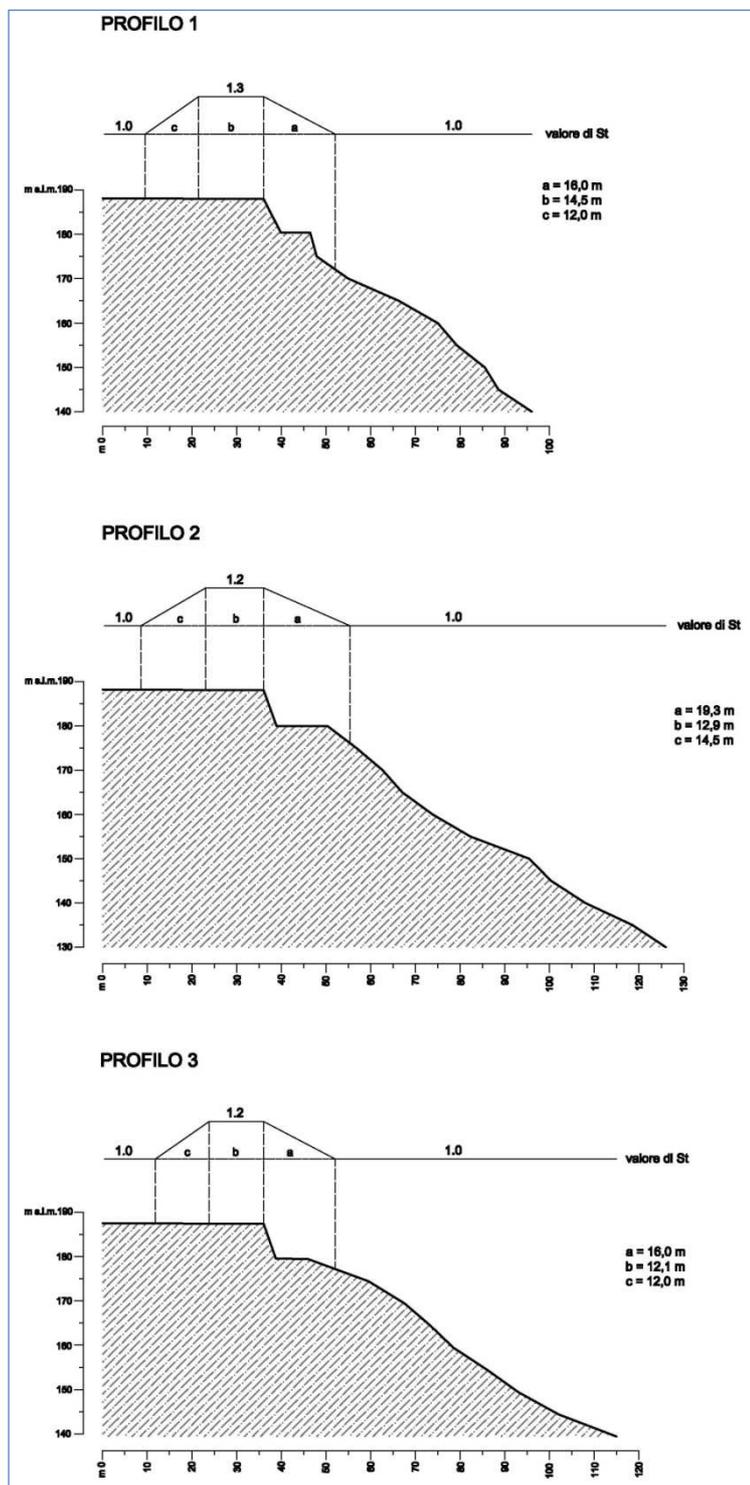


Fig. 27 – Sezioni topografiche con indicati i valori del fattore di amplificazione topografico S_T

 <p>Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti</p>	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	50 di 53

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 talvolta non sono presenti picchi di ampiezza significativa, non sempre consentono di avere informazioni certe circa la profondità del bedrock.

Inoltre per talune zone i dati sismici disponibili (profili velocità onde di taglio) sono risultati scarsi e talvolta non sempre confrontabili.

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 nel settore settentrionale del territorio, dove prevalgono depositi ghiaiosi con spessore decametrico, che costituiscono l'apparato di conoide del F. Panaro. Nelle aree pianeggianti di fondovalle si registra un incremento dell'amplificazione della PGA in seguito alla riduzione della coltre di depositi alluvionali (<10 metri), conseguente al sollevamento del substrato geologico per effetto dei sovrascorrimenti del Fronte Pedepenninico. Un ulteriore aumento dell'amplificazione sembra manifestarsi dove sono presenti depositi eluvio-colluviali, caratterizzati da una maggior percentuale di frazione fine.

L'amplificazione in termini di Intensità di Housner per periodi di 0,1÷0,5 secondi, rispecchia una distribuzione simile a quella della PGA, mentre per periodi 0,5÷1,0 secondi si registra una amplificazione leggermente maggiore nel settore settentrionale rispetto a quella delle aree di fondovalle.

 Studio di geologia dott. Stefano Castagnetti	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	51 di 53

8. Confronto della distribuzione dei danni degli eventi passati

È stato richiesto all'Ufficio Tecnico del Comune di Savignano sul Panaro 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.

 Studio di geologia <i>dott. Stefano Castagnetti</i>	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	52 di 53

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.

 Studio di geologia <i>dott. Stefano Castagnetti</i>	Elaborato	Data	Pag.
	Relazione illustrativa	Ottobre 2015	53 di 53