

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

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione illustrativa

Regione Emilia-Romagna

Comune di Besenzone



Regione	Soggetto realizzatore	Data
REGIONE EMILIA-ROMAGNA	Dr.Geol. Gabriele Corbelli	Maggio 2018

1	PREMESSA	2
2	ELABORATI A CORREDO DELLO STUDIO.....	3
3	PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE.....	4
	3.1 - Inquadramento tettonico	4
	3.2 - Inquadramento sismotettonico	7
	3.3 - Zonazione sismogenetica	8
	3.4 - Sismicità storica	10
	3.5 - Classificazione sismica	16
	3.6 - Pericolosità sismica.....	17
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO	19
5	DATI GEOTECNICI E GEOFISICI	23
6	MODELLO DEL SOTTOSUOLO.....	25
7	INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE	29
8	METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI.....	30
9	ELABORATI CARTOGRAFICI.....	32
	9.1 - Carta delle indagini	32
	9.2 - Carta geologico-tecnica	32
	9.3 - Carte delle frequenze naturali dei terreni	33
	9.4 - Carte delle microzone omogenee in prospettiva sismica.....	35
	9.5 - Carta delle velocità delle onde di taglio S	37
	9.6 - Carta di Microzonazione Sismica – Livello 2.....	40
	9.6.1 Valutazione preliminare della suscettibilità alla liquefazione	41

1 PREMESSA

Il Comune di Besenzone ha provveduto ad aggiornare lo studio di microzonazione sismica già predisposto nella fase di redazione del PSC ai sensi della D.A.L. 112/2007, adeguandolo agli standard richiesti dai nuovi indirizzi regionali (DGR 2193/2015) ed agli standard nazionali di rappresentazione e archiviazione dei dati predisposti dalla Commissione Tecnica per il supporto e monitoraggio degli studi di microzonazione sismica

Lo studio è stato redatto sulla base delle indicazioni contenute nella Delibera 2193/2015 della Giunta della Regione dell'Emilia-Romagna : Approvazione aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico denominato "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica", di cui alla deliberazione dell'Assemblea Legislativa 2 maggio 2007, n.112.

L'analisi di microzonazione sismica, realizzata con il contributo di cui alla DGR 241/2017, è stata sviluppata in coordinamento con il Servizio Geologico, Sismico e dei suoli, Dr. Luca Martelli, della Regione Emilia Romagna.

Per quanto non specificato nella delibera citata, si è fatto riferimento ai seguenti documenti :

- "Microzonazione sismica - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica versione 4.0b", redatto dalla Commissione tecnica per la microzonazione sismica (Commissione tecnica per la microzonazione sismica, ottobre 2015);
- "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica", approvato dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome e successive modifiche e integrazioni (Gruppo di lavoro MS, 2008; AA.VV., 2011);
- LR 30/10/2008 n.19 "Norme per la riduzione del Rischio Sismico";
- DM del 17/01/2018 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni".

2 ELABORATI A CORREDO DELLO STUDIO

Gli elaborati dello studio di microzonazione sismica per il Comune di Besenzone sono i seguenti:

- Relazione Descrittiva in cui viene illustrato il contesto geologico, geomorfologico e sismotettonico regionale in cui si inseriscono le aree oggetto di indagine, descritte le metodologie seguite e illustrati i risultati dello studio di microzonazione rappresentati nelle diverse cartografie; in allegato alla relazione vengono presentate elaborazioni di verifiche alla liquefazione per valutarne l'esclusione.
- Elaborati cartografici costituiti da
 1. Carta delle Indagini 1:10.000 (Tav. 1)
 2. Carta delle Frequenze naturali dei Terreni 1:10.000 (Tav. 2)
 3. Carta delle MOPS 1:10.000 (Tav. 3)
 4. Carta delle Velocità delle Onde di Taglio – Vs 1:10.000 (Tav. 4)
 5. Carta dei Fattori di Amplificazione: PGA 1:10.000 (Tav. 5)
 6. Carta dei Fattori di Amplificazione: SI 0,1-0,5s 1:10.000 (Tav. 6)
 7. Carta dei Fattori di Amplificazione: SI 0,5-1,0s 1:10.000 (Tav. 7)
 8. Carta dei Fattori di Amplificazione: SI 0,5-1,5s 1:10.000 (Tav. 8)
- Indagini sismiche eseguite per studio MS

Gli elaborati cartografici sono stati realizzati secondo le specifiche indicate nella DGR 2193/2015 della Regione Emilia-Romagna, ed attenendosi agli standard di rappresentazione cartografica dettati dalle linee guida emanate dal Dipartimento della Protezione Civile con gli Standard MS (CTMS, 2015), per quanto riguarda i tematismi rappresentati, le legende, le denominazioni, i layout, i colori e font dei caratteri.

Le cartografie elaborate hanno utilizzato come base topografica di riferimento lo strato raster aggiornato al 2014 elaborato dalla Regione Emilia dalla Regione Emilia Romagna (DBT scala 1.5.000).

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

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

3 PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

La sismicità è strettamente connessa al contesto tettonico-strutturale del territorio, e quindi alla presenza di strutture geologicamente “attive”; per la stima della pericolosità sismica di un territorio è indispensabile la conoscenza della sua storia sismica e della geologia strutturale locale, che risultano ovviamente strettamente connessi tra loro.

A supporto della redazione del presente capitolo, sono stati utilizzate le banche dati pubbliche sviluppate da diversi enti e gruppi di ricerca:

- il CPTI15 - Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani versione 2015 (Rovida et al., 2016; <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15>), che raccoglie i parametri dei terremoti avvenuti in Italia con intensità massima ≥ 5 o magnitudo ≥ 4.0 d'interesse nella finestra temporale 1000-2014
- il DBMI15 - Database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPTI15 e provenienti da diverse fonti. È relativo ai terremoti con intensità massima ≥ 5 e d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2014 (Locati et al., 2016 <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/>) e la sua precedente versione DBMI04 (Stucchi et al., 2007);
- la Mappa di Pericolosità Sismica Nazionale (INGV, 2004; <http://esse1.mi.ingv.it/>) che definisce una “pericolosità di base” su un reticolo di punti di riferimento. Ad essi sono attribuiti, per nove differenti periodi di ritorno del sisma atteso, i valori di accelerazione orizzontale massima del suolo (a_g) e dei principali “parametri spettrali”, da utilizzare per il calcolo dell'azione sismica;
- la Zonazione Sismogenetica ZS9 (Meletti e Valensise, 2004 (<http://zonesismiche.mi.ingv.it/documenti/App2.pdf>), che individua sul territorio italiano 42 macrozone-sorgente e ha rappresentato il riferimento per i calcoli di pericolosità sismica nel territorio nazionale di cui al punto precedente;
- • il Database delle Sorgenti Sismogenetiche Italiane DISS versione 3.2.1 (DISS Working Group, 2015 e Basili et al., 2008; <http://diss.rm.ingv.it>), che contiene sorgenti individuali e composite di terremoti, intese come una rappresentazione georeferenziata semplificata e in 3D di faglie (sorgenti individuali) o regioni contenenti faglie (sorgenti composite) in grado di generare terremoti di M 5.5 o superiore;
- il Catalogo della Sismicità Italiana (Castello et al., 2006; <http://csi.rm.ingv.it/>) che contiene tutti gli eventi registrati dalle stazioni della Rete Sismica Nazionale dal 1981 al 2002;
- il Database ISIDe (ISIDe Working Group 2010; <http://iside.rm.ingv.it>), che contiene tutti gli eventi registrati dalle stazioni della Rete Sismica Nazionale dal 2003 ad oggi.

3.1 - Inquadramento tettonico

Nel complesso il territorio comunale di Besenzone ricade nella fascia di bassa pianura padana, formata da depositi di natura alluvionale, costituiti da sedimenti quaternari del settore distale della fascia dei conoidi pedemontani appenninici.

La fascia di pianura si estende dal margine meridionale del pedeappennino fino all'asse del Fiume Po e comprende le unità sedimentate dal Miocene superiore (6-7 milioni di anni fa) fino ai giorni nostri; nonostante questa non presenti in superficie nessun elemento per definire l'assetto strutturale delle unità, il sottosuolo è caratterizzato da una serie di superfici di distacco che lo dividono in diversi corpi cuneiformi secondo un modello di embrici est vergenti.

Sotto l'aspetto strutturale, infatti, la pianura emiliana è compresa nell'arco delle pieghe emiliane, caratterizzate da due distinti fasci di thrust a vergenza appenninica: il primo, più meridionale, detto fronte di accavallamento appenninico (P.T.F.), definisce il limite della catena appenninica affiorante; il secondo, detto fronte di accavallamento esterno (E.T.F.), definisce il limite dell'Appennino sepolto. Pertanto il vero fronte appenninico, circa all'altezza del Fiume Po sovrascorre verso nord sulla piattaforma padano-veneta come si evidenzia nello schema strutturale di Figura 1.

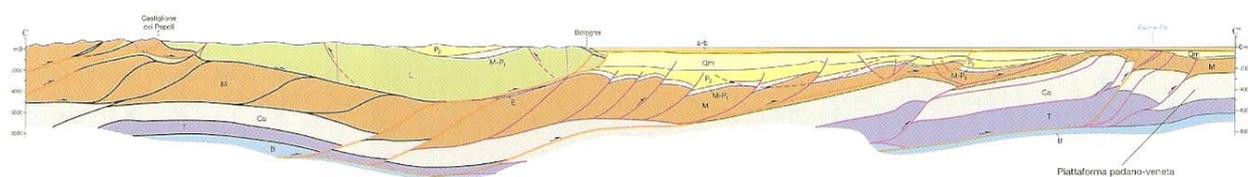


Figura 1 - Sezione dello schema tettonico dei thrust appenninici.

L'area oggetto di studio è posizionata in corrispondenza dell'Arco emiliano, formato da anticlinali e faglie inverse cieche appartenenti al sistema a sovrascorrimenti (thrust faults) NE-vergenti dell'Appennino settentrionale.

L'Arco Emiliano è il più occidentale degli archi frontali appenninici sepolti nei depositi Pilo-Quaternari dell'avanfossa padana e localmente è costituito da tre strutture principali orientate NW-SE. Procedendo da SW a NE, sono costituite da :

- un sovrascorrimento con corrispondente anticlinale, situati in posizione interna ai piedi delle colline pedeappenniniche, sepolti ad una profondità di circa 1000 m.
- la struttura di Cortemaggiore, che rappresenta l'anticlinale sepolta con maggior contrasto morfologico, sepolta ad una profondità di quasi 2000 m., che verso Est diventa l'anticlinale più esterna dell'Arco Emiliano.
- la struttura localmente più esterna che si trova in chiusura periclinale, sepolta a quasi 3000 m. di profondità.

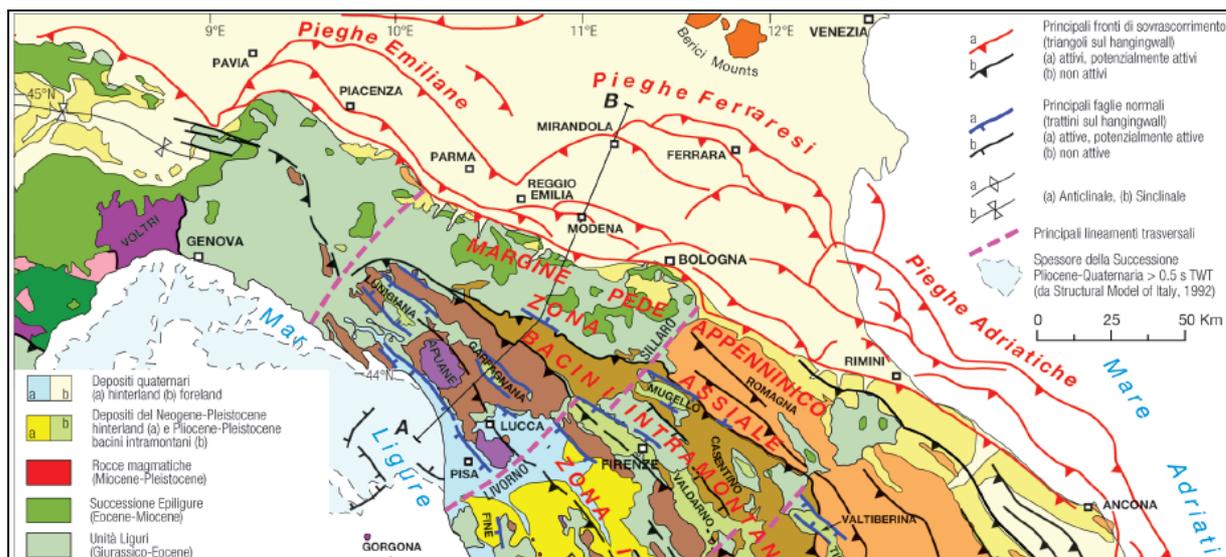


Figura 2 - Estratto dello schema tettonico dell'Appennino settentrionale e della Pianura Padana

L'anticlinale di Cortemaggiore appare deformare l'intera successione quaternaria, fino ai depositi del Pleistocene superiore, come si evince dalle interpretazioni delle linee sismiche, di cui viene riportato un esempio in Figura 3; le deformazioni coinvolgono anche la discontinuità tra il Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (SERS) ed il Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore (SERI), databile a 0,45 Ma.

A supporto di tale tesi alcuni autori Burrato et al. (2003) descrivono una vistosa anomalia nell'andamento del T. Arda (vedi Fig. 4), attraverso una brusca deviazione fluviale verso ovest nell'approssimarsi all'anticlinale, che viene interpretata come una risposta diretta ad un progressivo e recente inarcamento dell'Anticlinale di Cortemaggiore.

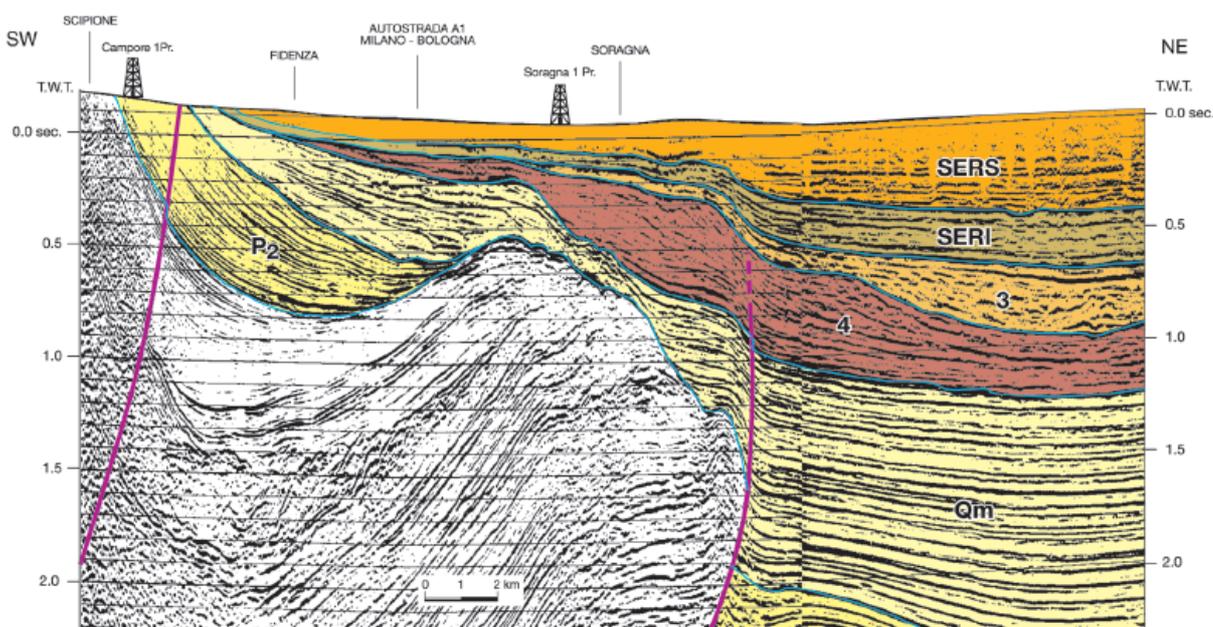


Figura 3 - Sezione interpretativa profilo sismico a riflessione (fonte Servizio Geologico RER)

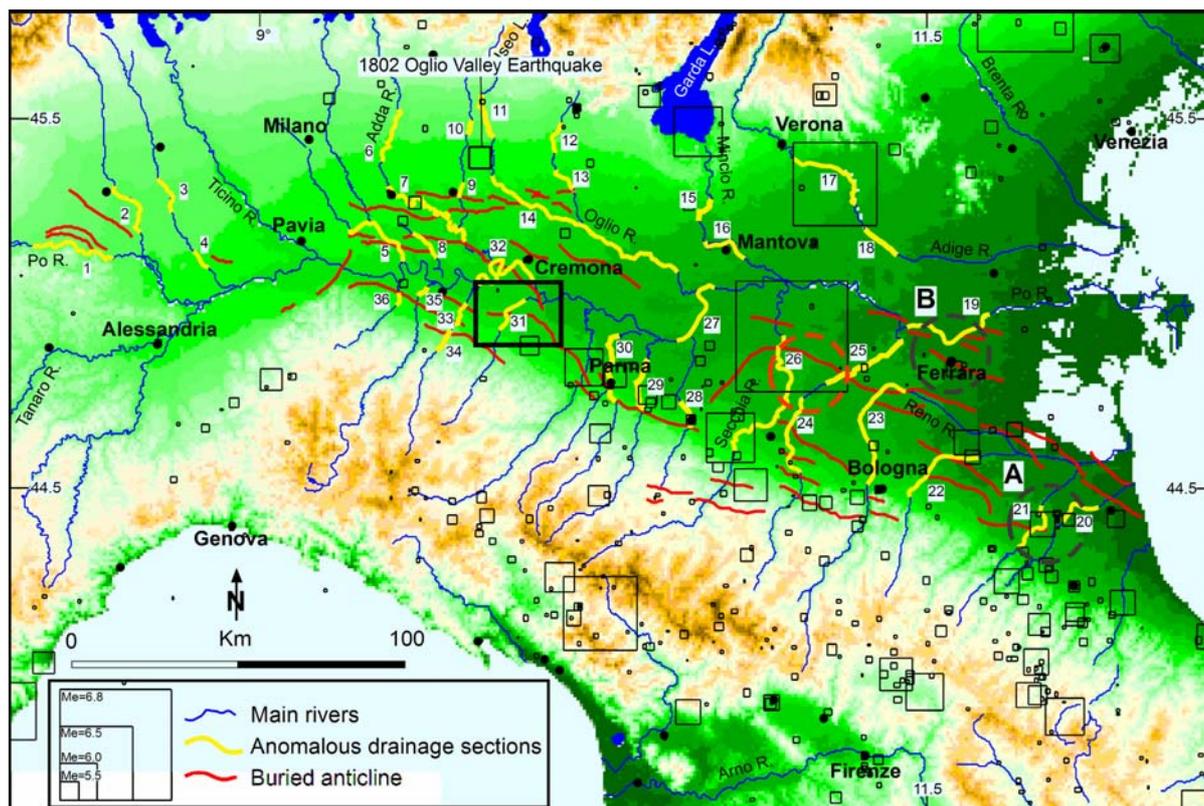


Figura 4 - Distribuzione delle anomalie del drenaggio in Pianura Padana (da Burrato et al, 2003)

3.2 - Inquadramento sismotettonico

La sintesi delle attuali conoscenze in termini di dati sismologici e degli elementi strutturali attivi è stata sintetizzata nella nuova Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna, presentata nel 2017 a cura del Servizio Sismico e dei Suoli regionale, di cui si riporta uno stralcio nella Figura 5.

In questo lavoro sono state identificate, sulla base di evidenze geologiche e morfologiche, le principali strutture attive¹ che interessano l'Emilia-Romagna, la cui sintesi è riportata in figura 8.

Le strutture attive e potenzialmente attive sono state suddivise in:

- affioranti, ovvero che hanno deformato la superficie topografica o, in pianura, hanno deformato la parte più superficiale del sottosuolo, vale a dire fino a profondità inferiori di 100 m dal piano campagna;
- sepolte, ovvero che mostrano evidenze di attività recenti o in atto (es. associazione con eventi sismici) ma a carico di orizzonti stratigrafici profondi almeno alcune centinaia di metri e non arrivano a deformare i livelli superficiali del sottosuolo (≥ 100 m da p.c.).

¹ Da non confondersi con le faglie attive e capaci considerate elemento di instabilità nelle analisi di pericolosità sismica locale e oggetto di microzonazione sismica (Gruppo di lavoro MS, 2008; Commissione Tecnica per la microzonazione sismica, 2015).

L'Appennino è una catena a thrusts che si è strutturata principalmente in età neogenica ma che mostra morfologie estremamente giovani, evidenze di sollevamenti recenti e una costante sismicità, che testimoniano come il processo di costruzione della catena sia ancora attivo.

Le maggiori evidenze di strutture attive, sia da profili sismici che da osservazioni di campagna, sono state rilevate nel settore del margine appenninico compreso tra Salsomaggiore e la valle dell'Idice, sul fronte sepolto delle pieghe emiliane tra Piacenza e Reggio Emilia e al tetto della dorsale ferrarese tra Reggio Emilia e le Valli di Comacchio.

Il settore investigato ricade nell'ambito di pianura contraddistinto dai sovrascorrimenti profondi del fronte appenninico classificati attivi.

L'analisi dei meccanismi focali disponibili, riportati nella mappa sismotettonica di Figura 5, indicano un meccanismo di tipo trascorrente con direzione di compressione ONO-ESE relativamente ad evento tellurico del 31/10/1991 ($M_w=4.56$), localizzato nel settore orientale del comune di Besenzone, ad una profondità di circa 5 km.

3.3 - Zonazione sismogenetica

In questa sede è stata esaminata la zonazione sismogenetica denominata ZS9, contenuta nel Rapporto Conclusivo della "Mappa di pericolosità sismica" redatta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia nell'aprile 2004, che partendo dalla revisione della precedente zonazione ZS4, è stata aggiornata sulla base delle evidenze di tettonica attiva e delle valutazioni del potenziale sismogenetico acquisite negli ultimi anni.

Per quanto riguarda il settore nord-occidentale dell'Appennino settentrionale, le cui zone sismotettoniche riconosciute sono rappresentate in Figura 7, il territorio di bassa pianura in cui ricade il Comune di Besenzone, si colloca poco a nord della zona 911 (indicata "Tortona-Bobbio"), in cui rientra il comprendente il cosiddetto "arco di Pavia" e le strutture ad esso relative, che rappresenta il limite settentrionale dell'arco appenninico, costituendo un ruolo di svincolo tra il sistema alpino e quello appenninico; il meccanismo di fagliazione prevalente risulta essere trascorrente; a tale zona sismogenetica viene associata una magnitudo massima $M_{wmax1} = 5,68$.

Più a sud-est viene individuata la zona sismogenetica 913 (indicata "Appennino Emiliano-Romagnolo"), che ricade in una fascia di transizione a carattere misto in cui convivono meccanismi diversi (essenzialmente compressivi a NW e distensivi a SE); si possono altresì avere meccanismi trascorrenti nelle zone di svincolo che dissecano la continuità longitudinale delle strutture. I terremoti storici raramente hanno raggiunto valori molto elevati di magnitudo; nella zona sismogenetica 913 è previsto, sulla base dei meccanismi focali, valori di massima magnitudo pari a $M_{wmax1} = 5,91$.

Questa zonazione è stata elaborata riferendosi anche i più recenti background informativi sui terremoti ed in particolare le banche dati relative alle sorgenti sismogeniche italiane DISS1 2.0 ed il citato catalogo CPTI2.

La figura 8 evidenzia la distribuzione delle sorgenti sismogenetiche contenute nel database più aggiornato e disponibile DISS 3.2.1 (Database of Individual Seismogenic Sources a cura dell'INGV), da cui si evidenzia che l'area indagata si colloca tra le seguenti "fasce" sismogenetiche:

- ITCS044 Portalbera-Cremona
- ITCS009: Busseto-Cavriago
- ITCS045 San Giorgio Piacentino – Fornovo di Taro

Gli autori individuano una struttura sismogenetica estesa da Portalbera (Pv), a Cremona, che interessa una fascia di oltre 50 km di lunghezza e circa 10 di larghezza, comprendente tutto il fronte avanzato delle strutture appenniniche sepolte che si manifestano in superficie con il colle di San Colombano e i piccoli rilievi di Casalpusterlengo. Questo fronte consiste in un sistema di faglie N-NE vergente posta all'estremità nord-ovest della catena Nord Appenninica,

A tale struttura, denominata ITSA044, è attribuita una velocità di scorrimento (slip rate) di 0,1 – 0,5 mm all'anno e la possibilità di generare terremoti di magnitudo Mw 5,5. Recentemente è stata ipotizzata l'attività di una faglia (125 Fold San Colombano) circa coincidente con la dorsale del colle.

I cataloghi storici e strumentali (Boschi et al., 2000; Gruppo di Lavoro CPTI, 2004; Pondrelli et al., 2006; Guidoboni et al., 2007) mostrano nella regione una sismicità diffusa di grado intermedio ($4,5 < Mw < 5,0$), con l'eccezione del terremoto del Lodigiano del 28/7/1276 (Mw 5.1) e del 15/5/1951 (Mw 5.2).

Per quanto riguarda la struttura ITCS045, questa sorgente è posta a cavallo della regione ad ovest della valle del Taro, e si colloca al passaggio tra il fronte di pieghe pedeappenninico (a SE) ed il fronte di pieghe esterne dell'Appennino settentrionale (a N e NW). Si tratta di sistema di faglie vergenti verso NE, in parte costituite da piccoli archi, nel settore pedecollinare della catena dell'Appennino Settentrionale.

I cataloghi storici e strumentali mostrano una mancanza di sismicità significativa in questa regione ad eccezione di alcuni terremoti di grado medio ($4.5 < Mw < 5.0$) nei settori orientali e occidentali dell'area. La sismicità massima è stata assunta sulla base della sismicità regionale (Mw 5.5).

La struttura sismogenetica ITCS009: Busseto-Cavriago, si estende dalla zona di Reggio Emilia, verso Parma, e si estende verso nord-ovest in direzione di Busseto; essa appartiene al fronte di accavallamento esterno dell'Appennino settentrionale.

Si tratta di una struttura sismogenetica responsabile di terremoti distruttivi in tutta l'area interessata, inseriti sia nei cataloghi storici che strumentali; in particolare si segnalano i terremoti del 5 nov 1738 (Mw 5.4, Parma), 11 giu 1438 (Mw 5.6, Parmense), 15 Lug 1971 (Mw 5.6, Parmense), 13 mar 1832 (Mw 5.6, Reggiano), e 11 sett 1831 (Mw 5.5, Reggiano). Una sismicità diffusa di grado medio caratterizza l'area ($4.5 < Mw < 5.0$); La sismicità massima è stata assunta sulla base della sismicità regionale (Mw 5.6).

3.4 - Sismicità storica

L'Emilia-Romagna rappresenta un settore della catena appenninica esterna caratterizzato da una sismicità frequente che può essere definita media in relazione alla sismicità nazionale, con ipocentri dei terremoti localizzati non solo nella crosta superiore ma anche nel mantello; la regione è interessata da una sismicità che può essere definita media relativamente alla sismicità nazionale, con terremoti storici di magnitudo massima compresa tra 5,5 e 6 della scala Richter e intensità del IX grado della scala MCS.

Al proposito nella Figura 10 vengono rappresentate le sismicità strumentali per intervalli di profondità degli ipocentri della Regione Emilia Romagna; nel settore di pianura in esame gli epicentri dei terremoti principali, con magnitudo compresa tra 4,0-4,5, risultano relativamente superficiali, essendo localizzati entro la profondità di 8-15 km.

In riferimento agli eventi tellurici storici è stato esaminato il Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), aggiornato recentemente con i dati disponibili fino all'anno 2014 a cura dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Servizio Sismico Nazionale (*Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016. CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>*), esso rappresenta un aggiornamento del precedente Catalogo CPTI11, di cui viene rappresentato in Figura 11 un estratto. (con la rappresentazione per classe di magnitudo Mw).

Gli eventi tellurici più significativi per l'area risalgono al 2000 (magnitudo 4,40 – epicentro Pianura Emiliana), al 1986 (magnitudo 4,42 – epicentro Ferrarese) ed al 1991 (magnitudo 4,33 – epicentro Emilia occidentale).

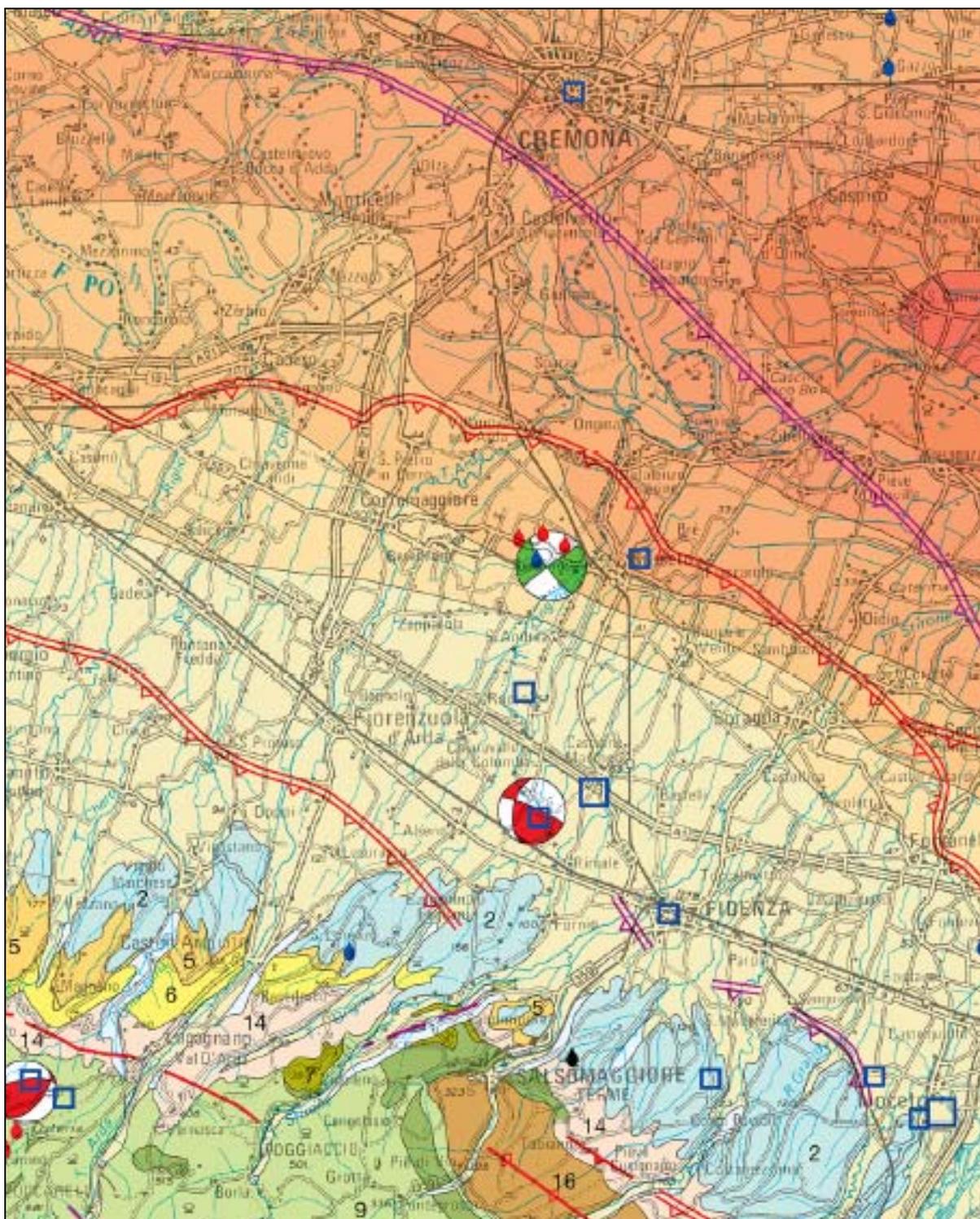


Figura 5 - Estratto Carta Sismotettonica della Regione E.R. – Servizio Geologico Regionale - 2017

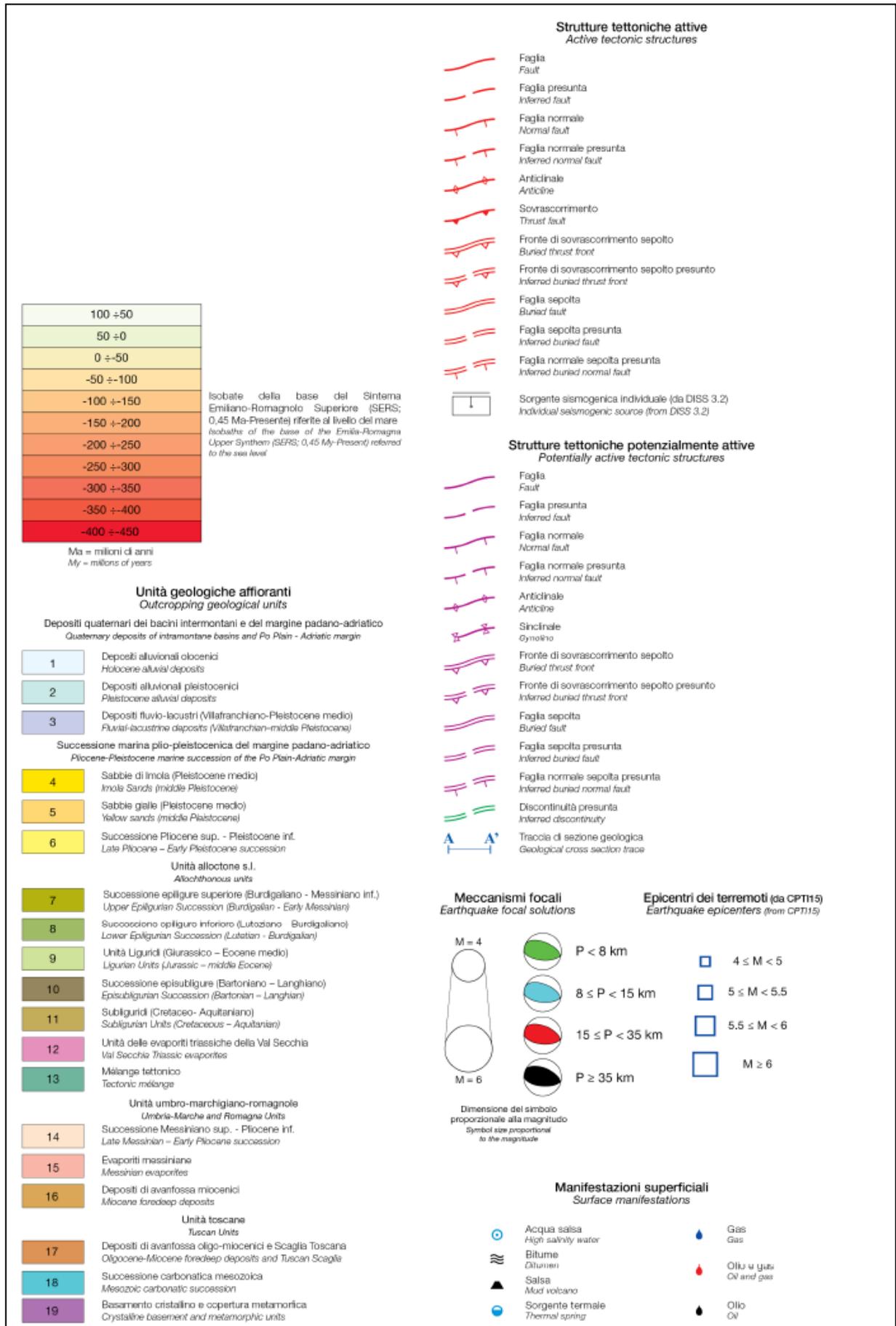


Figura 6 - Legenda Carta Sismotettonica della Regione E.R. – Servizio Geologico Regionale - 2017

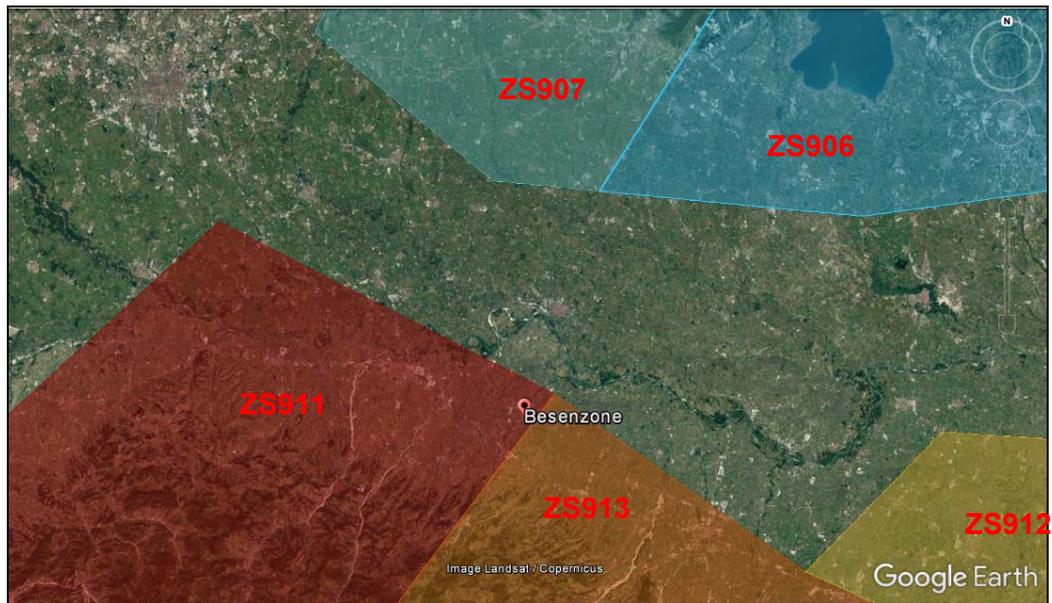


Figura 7 - Zonazione sismogenetica ZS9 – I.N.G.V. 2004

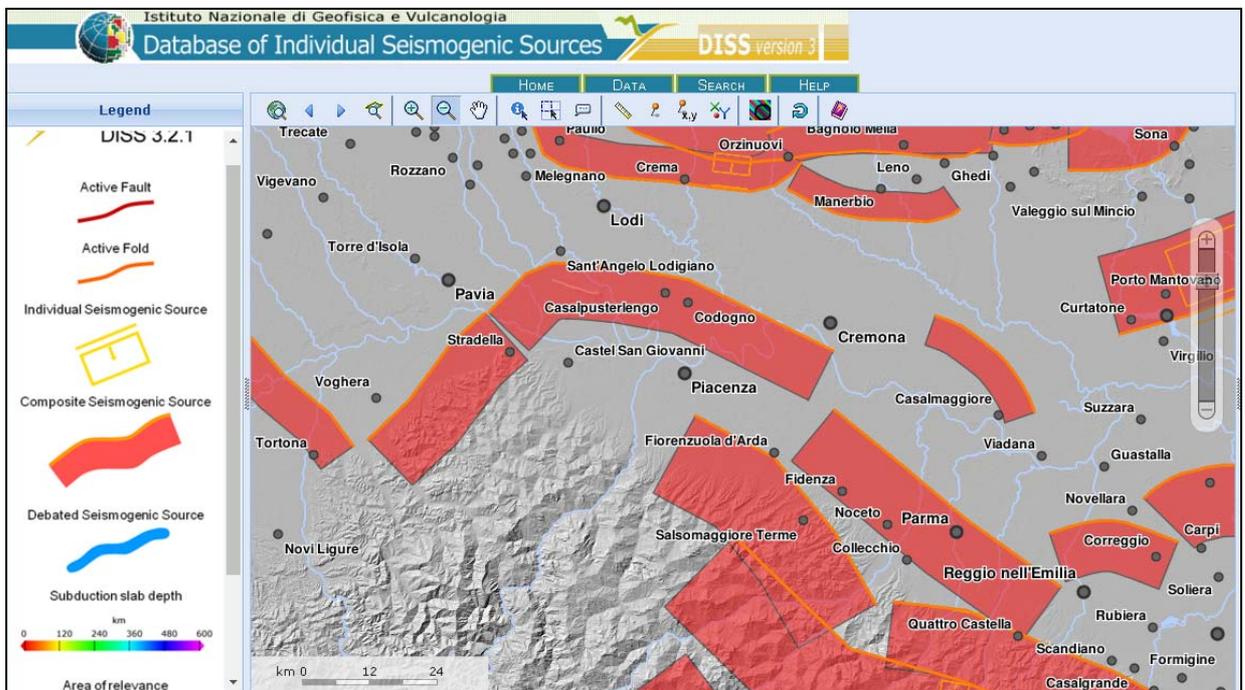


Figura 8 - Distribuzione delle sorgenti sismogenetiche contenute in DISS 3.2.1, rappresentate in colore arancione.

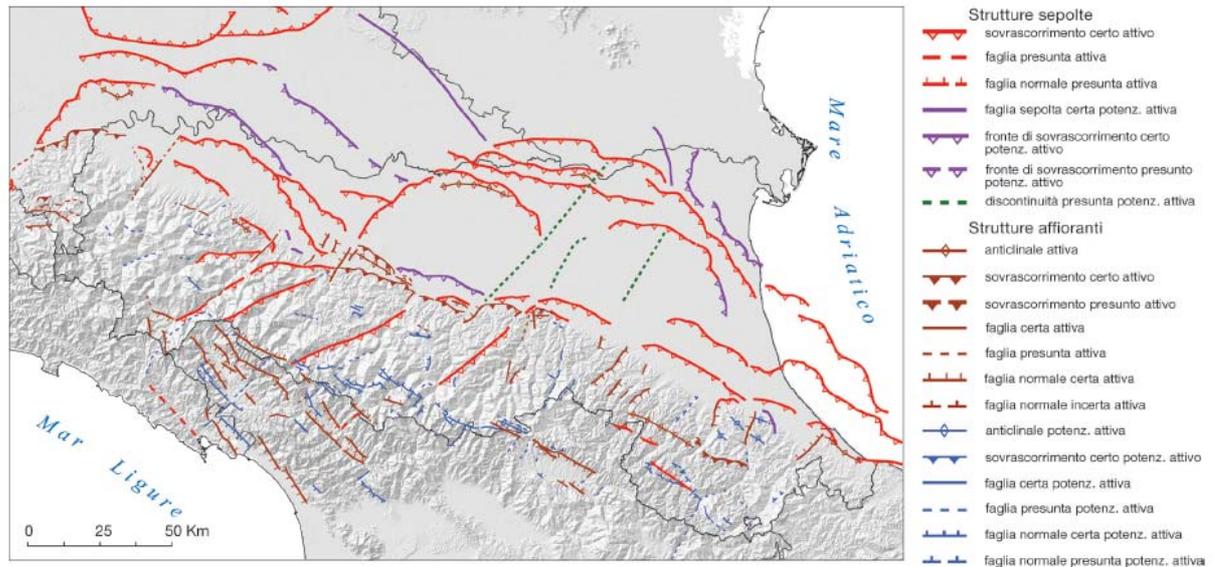


Figura 9 - Sintesi regionale delle principali strutture attive e potenzialmente attive (fonte Carta Sismotettonica della Regione E.R. – Servizio Geologico Regionale – 2017)

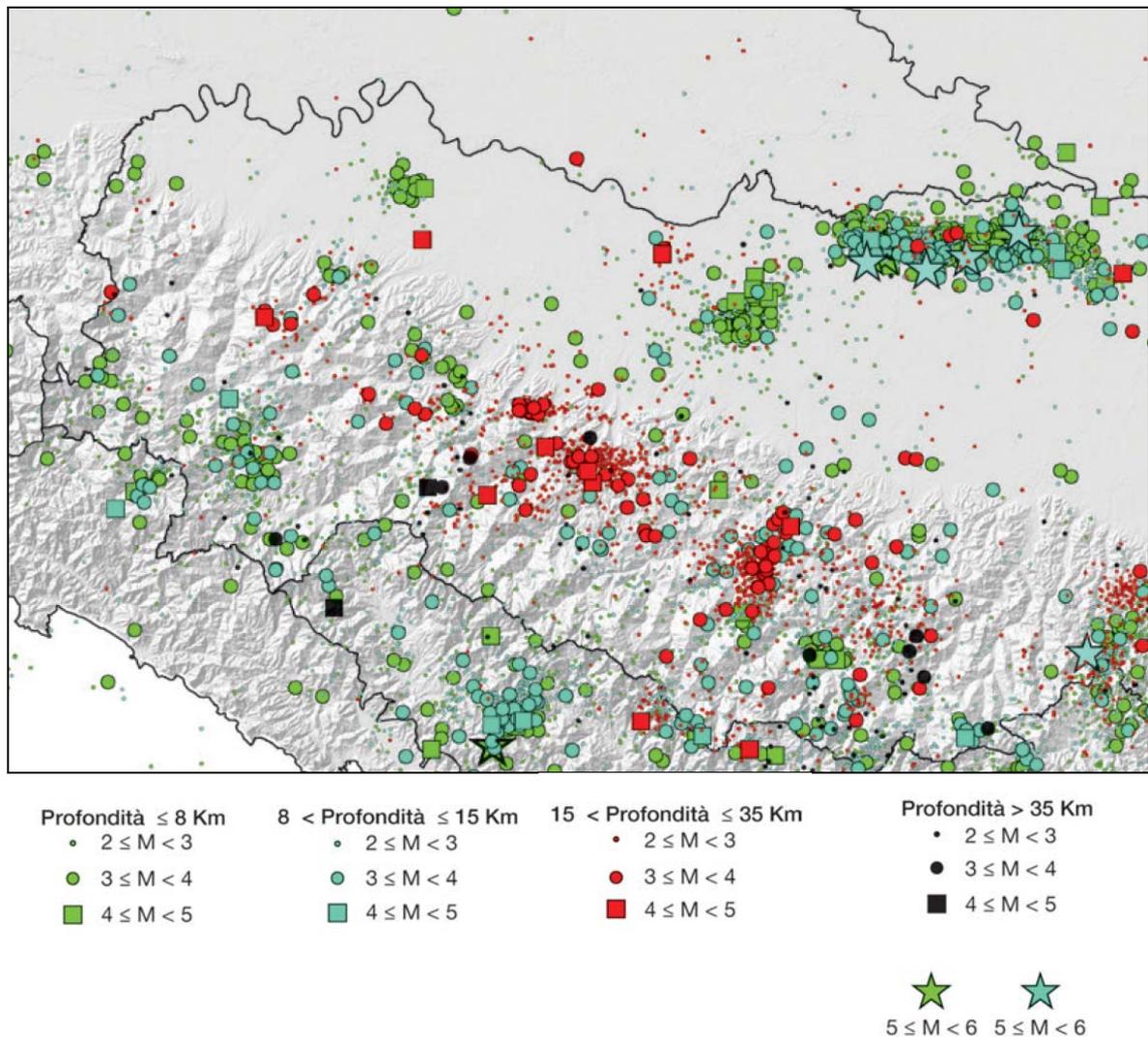


Figura 10 - Mappa dei terremoti strumentali MW≥2; la dimensione del simbolo e proporzionale alla magnitudo, il colore indica la profondità ipocentrale (fonte Carta Sismotettonica della Regione E.R. – Servizio Geologico Regionale – 2017)

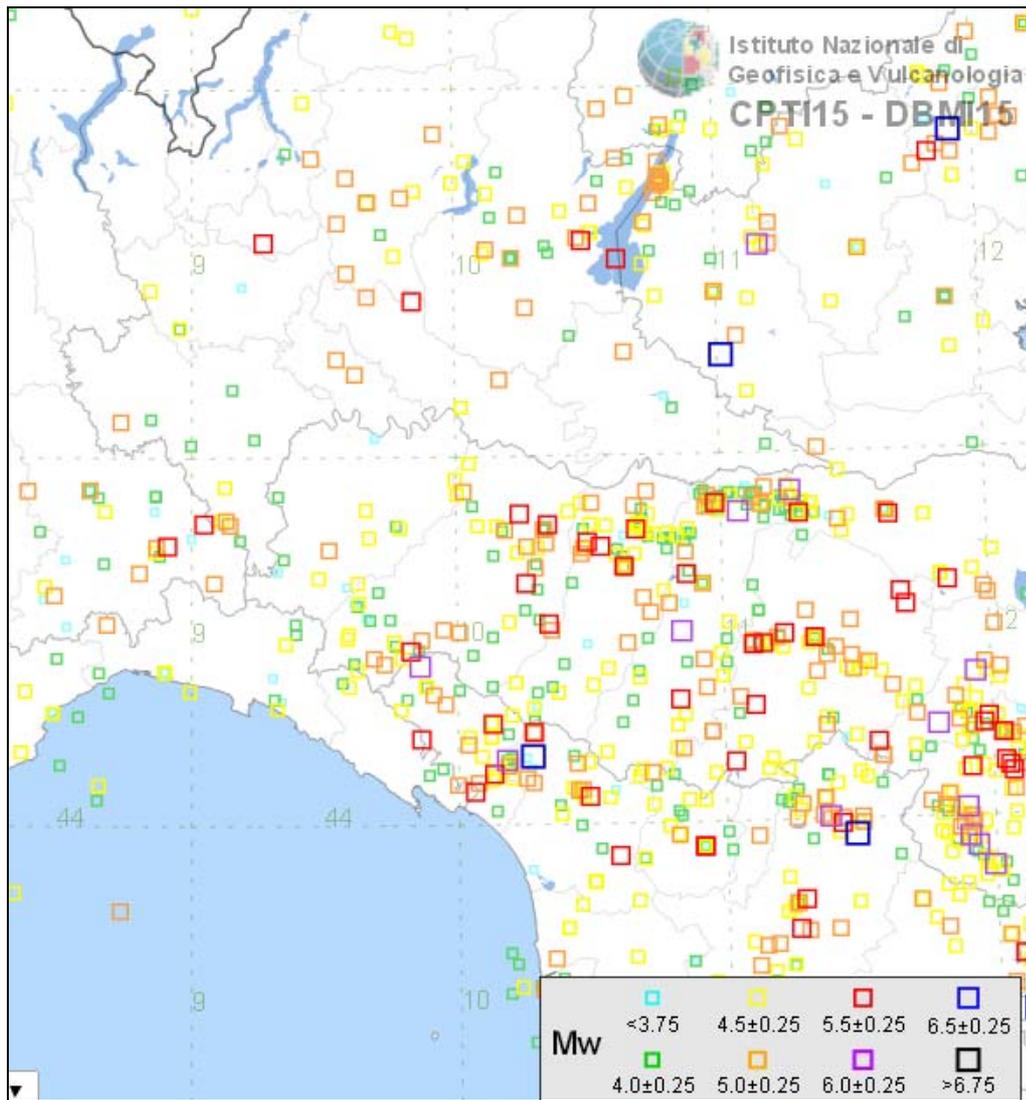


Figura 11 - Distribuzione degli epicentri (anni dal 1000 al 2014) per classi di magnitudo relativa al Catalogo CPT15. Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016. CPT15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPT15>

Besenzone

PlaceID IT_34477
 Coordinate (lat, lon) 44.986, 9.952
 Comune (ISTAT 2015) Besenzone
 Provincia Piacenza
 Regione Emilia-Romagna
 Numero di eventi riportati 4

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
NF	1986	12	06	17	07	1	Ferrarese	604	6	4.43
5	1991	10	31	09	31	1	Emilia occidentale	134	5	4.33
NF	2000	06	18	07	42	0	Pianura emiliana	304	5-6	4.40
NF	2005	04	18	10	59	1	Valle del Trebbia	284	4	3.97

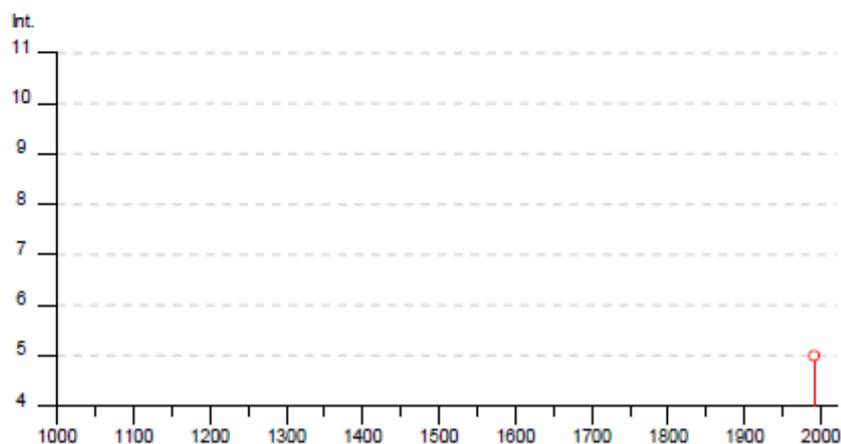


Figura 12 - Principali terremoti storici registrati a Besenzone e relativa intensità macrosismica (fonte INGV).

3.5 - Classificazione sismica

La classificazione sismica del territorio regionale, aggiornata con D.G.R. 1164/2018, fa rientrare il Comune di Besenzone in **zona 3** cioè a sismicità bassa, caratterizzata da valori di ag/g compresi di 0,05-0,15, dove “ag” è l’accelerazione di picco orizzontale al suolo con probabilità di superamento del 10% in 50 anni e “g” è l’accelerazione di gravità.

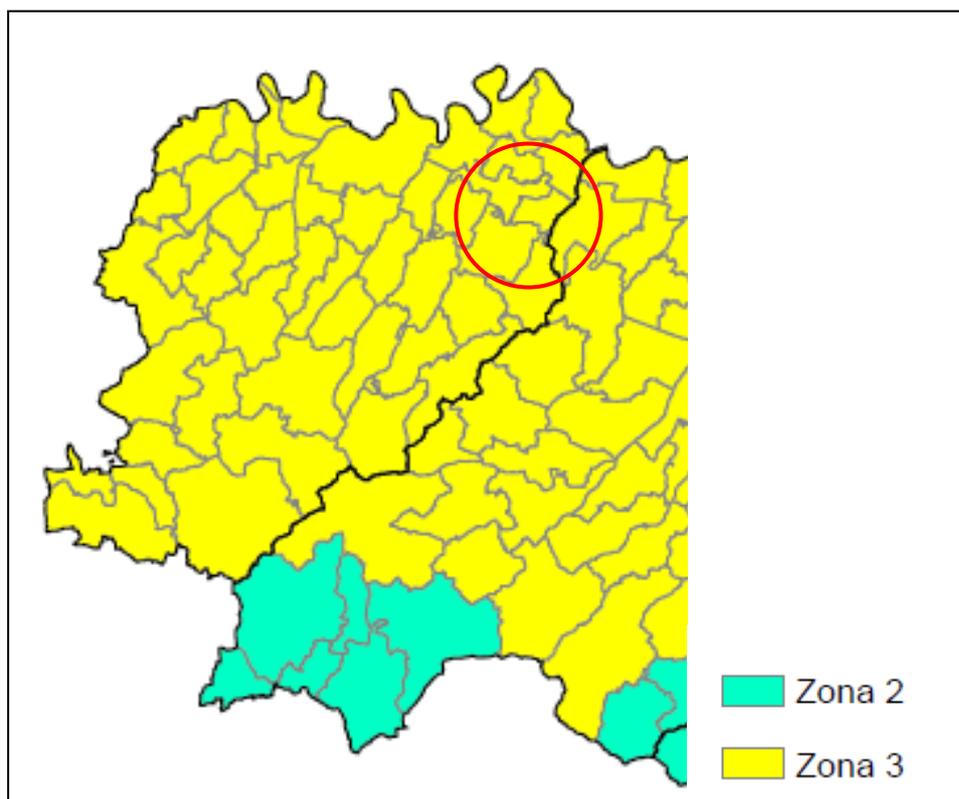


Figura 13 - Classificazione sismica del territorio regionale DGR 1164/2018

3.6 - Pericolosità sismica

Per *pericolosità sismica* viene intesa la misura dello scuotimento al suolo atteso in un dato sito; essa è legata alle caratteristiche sismotettoniche, alle modalità di rilascio dell'energia alla sorgente, al percorso di propagazione delle onde sismiche dalla sorgente al sito e alla loro interazione con la geologia e la geomorfologia locale

In questa sede è stata esaminata la "Mappa di pericolosità sismica" allegata all'Ordinanza P.C.M. n.3519 del 28/04/2006, che aggiorna la precedente approvata dalla Commissione Grandi Rischi del Dipartimento della Protezione Civile nella seduta del 6 aprile 2004.

Come si può osservare dalla distribuzione delle aree a diversa accelerazione massima del suolo (a_{max}) espressa in termini di accelerazione massima con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (riferita a suoli molto rigidi con $V_{s30} > 800$ m/s), il Comune di Besenzone, evidenziato in figura dal cerchio rosso, appartiene alla fascia caratterizzata da valori **0,100-0,125 g**.

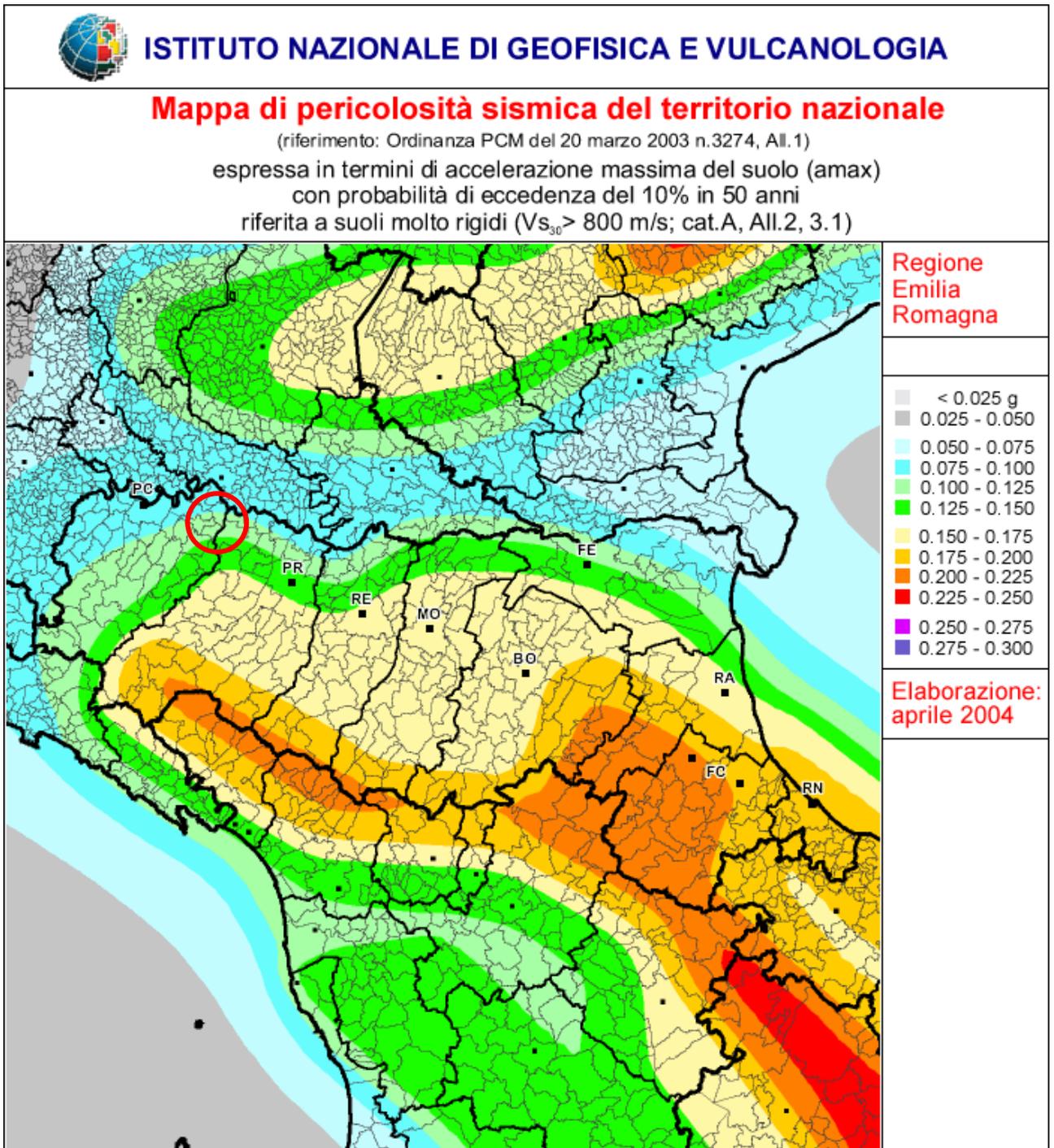


Figura 14 - Mapa di pericolosità sismica in termini di a_{max} (INGV 2004)

4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

Nel complesso il territorio comunale appartiene alla bassa pianura padana, formata da depositi di natura alluvionale, costituiti da sedimenti quaternari del settore distale della fascia dei conoidi pedemontani appenninici.

Le unità geologiche interessanti il territorio comunale sono riferibili praticamente al Dominio Padano – adriatico.

Il Dominio Padano - adriatico è rappresentato dalla successione post-evaporitica del margine padano-adriatico che si presenta nel suo complesso come un ciclo sedimentario trasgressivo - regressivo, costituito alla base da depositi continentali, seguiti da depositi francamente marini e con al tetto ancora depositi continentali. Nell'area in esame la successione può essere suddivisa in tre gruppi di unità geologiche separate da importanti superfici di discontinuità stratigrafica e caratterizzate da depositi litologicamente e tessituralmente differenti. Di seguito sono elencate dalla più recente alla più antica:

- Allogruppo Emiliano-Romagnolo, equivalente al ciclo Quaternario continentale Qc;
- Allogruppo Quaternario Marino, equivalente all'omonimo ciclo Qm;
- Argille di Lugagnano, equivalente al ciclo P2.

L'Allogruppo Emiliano-Romagnolo è costituito da depositi di conoide e di piana alluvionale e da depositi alluvionali intravallivi, terrazzati. In esso sono compresi i depositi conosciuti in letteratura come "Formazione fluvio-lacustre" e tutti i depositi alluvionali, terrazzati, cartografati nella Carta Geologica d'Italia scala 1:100.000.

All'interno dell'Allogruppo Emiliano-Romagnolo sono state individuate due unità principali: un'unità inferiore, detta Alloformazione Emiliano-Romagnola Inferiore, ed un'unità superiore, detta Alloformazione Emiliano-Romagnola Superiore, separate da una superficie di discontinuità stratigrafica.

L'Alloformazione Emiliano-Romagnola Superiore viene suddivisa in cinque allomembri identificabili in affioramento mediante caratteristiche morfo-pedostratigrafiche: si tratta, infatti, di depositi di conoide alluvionale, terrazzati, le cui ultime superfici deposizionali, ora relitte, poste a quote diverse e separate da scarpate erosive, presentano evoluzione pedostratigrafica differente.

Le porzioni dell'Alloformazione Emiliano-Romagnola Superiore affioranti in contesto intravallivo, intrappenninico (lombi di terrazzo alluvionale), sono state siglate con la lettera (bn) che indicano l'ordine progressivo dei terrazzi fluviali dal più recente al più vecchio.

L'Allogruppo Emiliano-Romagnolo giace in discordanza sull'Allogruppo Quaternario Marino, di età Pliocene superiore ? - Pleistocene inferiore, il quale risulta costituito da terreni paralici e marini che si sono depositi al di sopra di un'estesa superficie di discontinuità al termine di un evento di sollevamento tettonico di importanza regionale

L'Allogruppo Quaternario Marino equivale al Calabriano della parte alta della Formazione di Castell'Arquato (Pliocene medio - Pleistocene inferiore) della Carta Geologica d'Italia. All'interno dell'Allogruppo Quaternario Marino sono state individuate due unità principali: un'unità inferiore, detta Alloformazione del Torrente Stirone ed un'unità superiore, detta Alloformazione di Costamezzana, che affiora in corrispondenza delle principali incisioni fluviali lungo il Margine Appenninico, separate da una superficie di discontinuità stratigrafica

ALLOGRUPPO EMILIANO ROMAGNOLO

L'Allogruppo Emiliano-Romagnolo, affiorante con i suoi terreni più antichi sul margine appenninico padano viene suddiviso in due unità principali, denominate come segue:

- * Alloformazione Emiliano-Romagnola Superiore, AES
- * Alloformazione Emiliano-Romagnola Inferiore, AEI

Queste due unità sono state riconosciute e correlate come sequenze deposizionali su tutta la pianura emiliano-romagnola, utilizzando i profili sismici e i pozzi dell'AGIP, risultando separate, in corrispondenza del margine appenninico, da una superficie di discontinuità, spesso con discordanza angolare ed erosione, testimonianza di una fase tettonica regionale databile alla fine del Pleistocene inferiore.

Il contesto geodinamico locale in cui si sviluppa l'Allogruppo Emiliano Romagnolo è quello di un bacino di piggyback adiacente all'avanfossa padana, allungato in senso SE – NO e limitato a tergo (SO) e sul fronte (NE) da due archi di strutture compressive (rispettivamente: Fronte di accavallamento pedeappenninico PTF e Fronte di accavallamento esterno ETF) fortemente attive. Fino a quando il sollevamento del margine appenninico determinato dal PTF risulta tale da continuare a produrre una forte subsidenza relativa del bacino di *piggyback* posto ai suoi piedi, in quest'ultimo persistono le condizioni per avere prevalente aggradazione sedimentaria. A questa fase corrisponde la deposizione dei sedimenti di piana e conoide alluvionale distale appartenenti all'Alloformazione Emiliano-Romagnola Inferiore. Nel momento in cui diminuisce la subsidenza relativa del bacino di *piggyback*, come conseguenza del forte sollevamento regionale prodotto in corrispondenza dell'ETF, si determinano significativi spostamenti verso Nord del margine appenninico e quindi si assiste allo sviluppo di depositi di conoide alluvionale, terrazzati. Quest'ultimi, nel loro insieme, costituiscono l'Alloformazione Emiliano Romagnola Superiore.

L'Alloformazione Emiliano-Romagnola Superiore (AES), è un'unità alluvionale, terrazzata, costituita da ghiaie prevalenti in corrispondenza degli apparati fluviali principali (depositi di conoide e depositi intravallivi terrazzati), passanti a limi prevalenti con rare intercalazioni di sabbia e ghiaia nelle aree di interconoide.

L'età complessiva dell'unità è Pleistocene medio - Olocene.

Come riferito in precedenza l'AES risulta suddivisibile in 5 allomembri, affioranti a quote progressivamente decrescenti lungo il margine appenninico; in ordine crescente di età:

- * Allomembro di Ravenna
- * Allomembro di Villa Verucchio
- * Allomembro di Agazzano
- * Allomembro di Maiatico
- * Allomembro di Monterlinzana

La stratigrafia dei depositi appartenenti all'AES è descritta in dettaglio nei paragrafi seguenti.

Depositi attuali e recenti

Formano l'alveo attivo del T. Arda e del T. Ongina, costituiti essenzialmente da barre laterali prevalentemente ghiaioso-sabbiose, non fissate e soggette ad inondazioni periodiche con tempo di ritorno stagionale o annuale. Sono costituite da prevalenti ghiaie poligeniche eterometriche, con subordinate intercalazioni sabbiose e limoso sabbiose.

Depositi alluvionali terrazzati

Costituiscono il terrazzo più basso che orla, in modo discontinuo, l'alveo del T. Arda, separato dalle alluvioni recenti da vecchie ripe di erosione fluviale, in parte modificate per intervento antropico, di altezza crescente procedendo verso valle, ove raggiungono altezze dell'ordine di 3 m.. Sono costituite da depositi ghiaiosi in matrice sabbiosa o limoso-sabbiosa più o meno abbondante, ricoperti da una coltre prevalentemente limosa di spessore variabile.

AES8a - Unità di Modena

Limi sabbiosi e limi argillosi, con spessori plurimetrici passanti a sabbie e sabbie ghiaiose. Si riconoscono ambienti deposizionali di canale, argine e rotta fluviale, alternati a depositi di area interfluviale.

Per quanto riguarda gli aspetti idrogeologici generali, le indagini eseguite in sede di formazione del Quadro Conoscitivo del PSC, avevano consentito la predisposizione della Carta Idrogeologica, riportata nella figura seguente; sulla base delle misurazioni disponibili il territorio comunale, in funzione dei valori medi di soggiacenza della falda freatica al piano campagna; può essere suddiviso in due settori contrassegnati da valori di soggiacenza compresi rispettivamente tra:

- < 2 m. comprende ampi settori situati nella zona meridionale ed orientale del territorio comunale, in parte comprendenti anche il capoluogo, oltre alla fascia della depressione conchiforme posta a sud-est di Bersano;
- 2-4 m. comprende la fascia prospiciente al corso del T. Arda, in ragione della pensilità del territorio rispetto alle aree circostanti, ed ad ampi settori della zona nord-orientale del territorio comunale.

L'andamento della superficie piezometrica risulta abbastanza regolare, con gradiente dell'ordine del 0,04 %; la direzione di deflusso presenta orientamento prevalente verso NE.

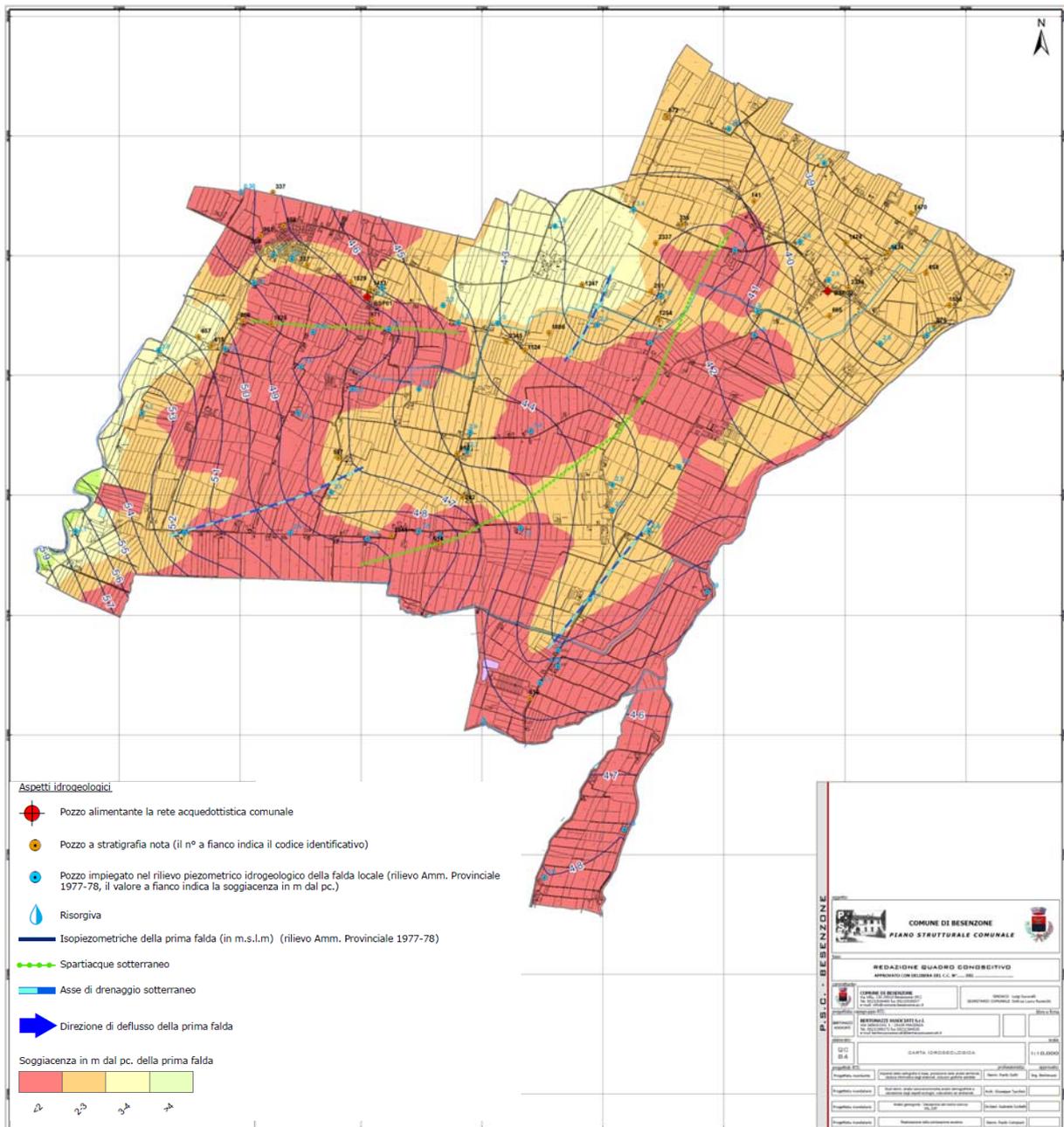


Figura 15 - Carta idrogeologica del territorio comunale – Quadro Conoscitivo PSC di Besenzone

5 DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

Per quanto riguarda le indagini geognostiche e geofisiche pregresse, è stata operata una ricerca presso l'Ufficio Tecnico comunale esaminando le documentazioni delle indagini geognostiche disponibili, che vanno ad aggiungersi alla Banca Dati Geognostica fornita dal Servizio Geologico Regionale.

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

- n° 24 misurazioni di rumore sismico a stazione singola distribuite nell'ambito del territorio urbanizzato e urbanizzabile.
- n° 6 prospezioni sismiche ReMi (Refraction Microtremor) finalizzate alla definizione dei profili di Vsh

I dati a disposizione, rappresentati nella cartografia in scala 1:10.000 allegata (Tav. 1), risultano concentrati nelle aree urbanizzate del territorio comunale.

Tabella 1 - Indagini geognostiche e geofisiche disponibili

Tipologia	Archivio comunale	Database RER	Indagini MS	Totale
Prove penetrometriche DL030		10		10
Prove penetrometriche DPSH	1			1
Prove penetrometriche CPT	26			26
Prove penetrometriche CPTe		10		0
Prove penetrometriche CPTU	1			1
Sondaggi geognostici a carotaggio continuo		2		2
Sondaggi geognostici a carotaggio continuo con prelievo di campioni	2			2
Sondaggi geognostici a carotaggio continuo con piezometro	4			4
Pozzetti esplorativi		1		1
Pozzi idrici		67		67
Pozzi per idrocarburi		1		1
Prove MASW	5			5
Prove REMI			6	2
Prove HVSR	2		24	26

Le misure HVSR sono state condotte utilizzando un sismometro a stazione singola in grado di registrare, attraverso dei velocimetri, i microtremori lungo strato lungo le direzioni N-S; E-W; H-V.

L'elaborazione del microtremore misurato, fornisce i rapporti spettrali HVSR o H/V (Nogoshi & Igarashi, 1970), risultando efficace per la stima delle frequenze fondamentali di risonanza f_r del sottosuolo $f_r = V_s/4*H$ con H = spessore dello strato. Queste indagini prevedono misure puntuali e speditive da cui è possibile ricavare indirettamente informazioni sulla profondità dei riflettori sismici avendo a disposizione punti di controllo di taratura (dati geognostici e geofisici). Forniscono, pertanto, un ulteriore supporto all'interpretazione stratigrafica ed alla stima della velocità media delle onde di taglio nel volume di sottosuolo investigato. Inoltre, consentono la stima delle frequenze di vibrazione del terreno e una preliminare analisi delle possibili "doppie risonanze" con i manufatti di progetto. L'acquisizione dati è avvenuta attraverso registrazioni della durata di 20 minuti e passo di campionamento pari a 172 Hz.

Le misure registrate sono state poi elaborate e restituite graficamente in forma di spettri H/V (rapporto H/V in funzione della frequenza) in cui possono essere individuati gli eventuali picchi di frequenza caratteristici (cfr. Fig. 16).

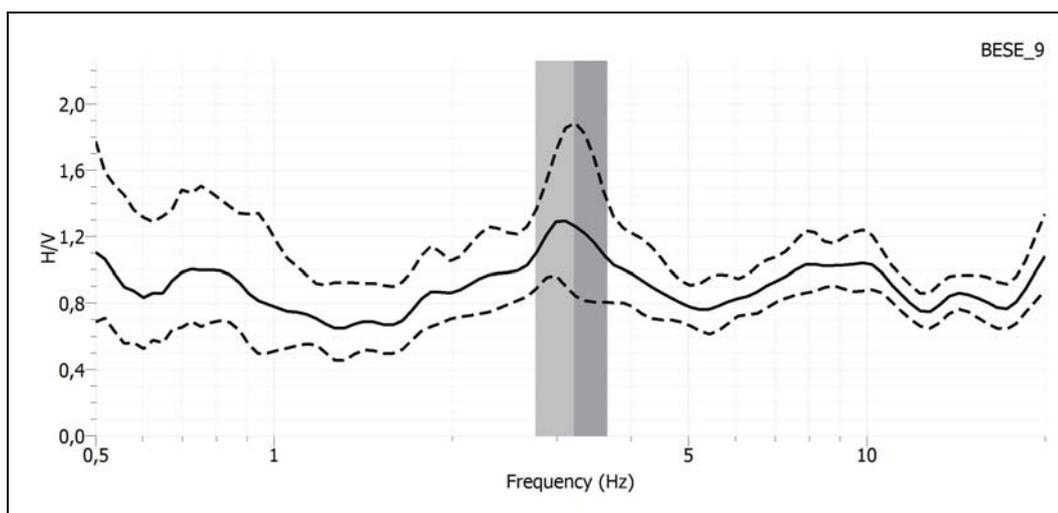


Figura 16 - Esempio di curva H/V della prova 033003P9

Ad integrazione delle indagini geofisiche disponibili sono state inoltre effettuate n°6 prospezioni sismiche impiegando la tecnica REMI (Refraction Microtremor), impiegando sismografo digitale ed impiegando n°24 geofoni da 4,5 Hz., per la determinazione della velocità di propagazione delle onde sismiche superficiali (V_s), utili per la caratterizzazione sismica e per l'elaborazione della micro zonazione semplificata.

Le indagini geofisiche effettuate, oltre a quelle di repertorio disponibili per questo lavoro permettono un ulteriore affinamento delle conoscenze di sottosuolo, consentendo in primo luogo l'elaborazione della microzonazione semplificata.

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).

6 MODELLO DEL SOTTOSUOLO

Il comune di Besenzone è caratterizzato dalla presenza di sedimenti alluvionali costituiti da argille, limi con intercalazioni di sabbie e sabbie ghiaiose riferibili al Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore, che in affioramento è rappresentato dall'Unità di Modena (AES8a).

Per una migliore comprensione del modello geologico locale, è stato possibile fare riferimento alle sezioni geologiche e sismiche interpretate, orientate trasversalmente ai principali elementi strutturali (cfr. rappresentazione planimetrica della traccia riportata in Fig. 17), derivate dalle elaborazioni del Servizio Geologico RER (riportate nelle figure Fig. 18-19-20).

L'esame delle stesse consente di valutare come la base del primo ciclo sedimentario (Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore - SERS) si approfondisca significativamente spostandosi verso nord, passando da quasi 100 m a circa 150 m da p.c.; il secondo ciclo sedimentario (Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore- SERI) si riscontra fino a profondità comprese, tra circa 300 m all'estremità meridionale del territorio comunale e oltre 350 m da p.c. all'estremità settentrionale.

Al di sotto del potente pacco di depositi alluvionali il substrato marino pleistocenico è sempre costituito dal Sintema di Costamezzana, costituito da depositi sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi in alternanza con depositi fini, tipici di ambiente marino-marginale e fluvio-deltizio.

I depositi dei due cicli quaternari continentali, sono riferibili a sedimenti sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi riferibili alla sedimentazione padana alternati a potenti livelli di argille e limi.

Il primo sottosuolo è sempre costituito da depositi argillosi e/o limosi, con possibile presenza di sabbie e sabbie limose, in corrispondenza degli antichi tracciati fluviali.

L'andamento delle isobate del tetto del primo orizzonte sabbioso-ghiaioso, derivata dalle elaborazioni eseguite in sede di Quadro Conoscitivo del PSC (riportate nella figura 21), evidenzia un avvicinamento alla superficie nel settore a nord di Bersano, dove si riscontra a profondità comprese tra 4-6 m. dal p.c., con sensibile approfondimento verso il settore meridionale del territorio comunale, dove si registra a profondità superiori a 20 m. dal p.c.

Nel complesso, si può affermare che il contesto geologico che caratterizza il territorio di Besenzone non consenta una chiara individuazione dell'orizzonte che possa rappresentare il substrato rigido.

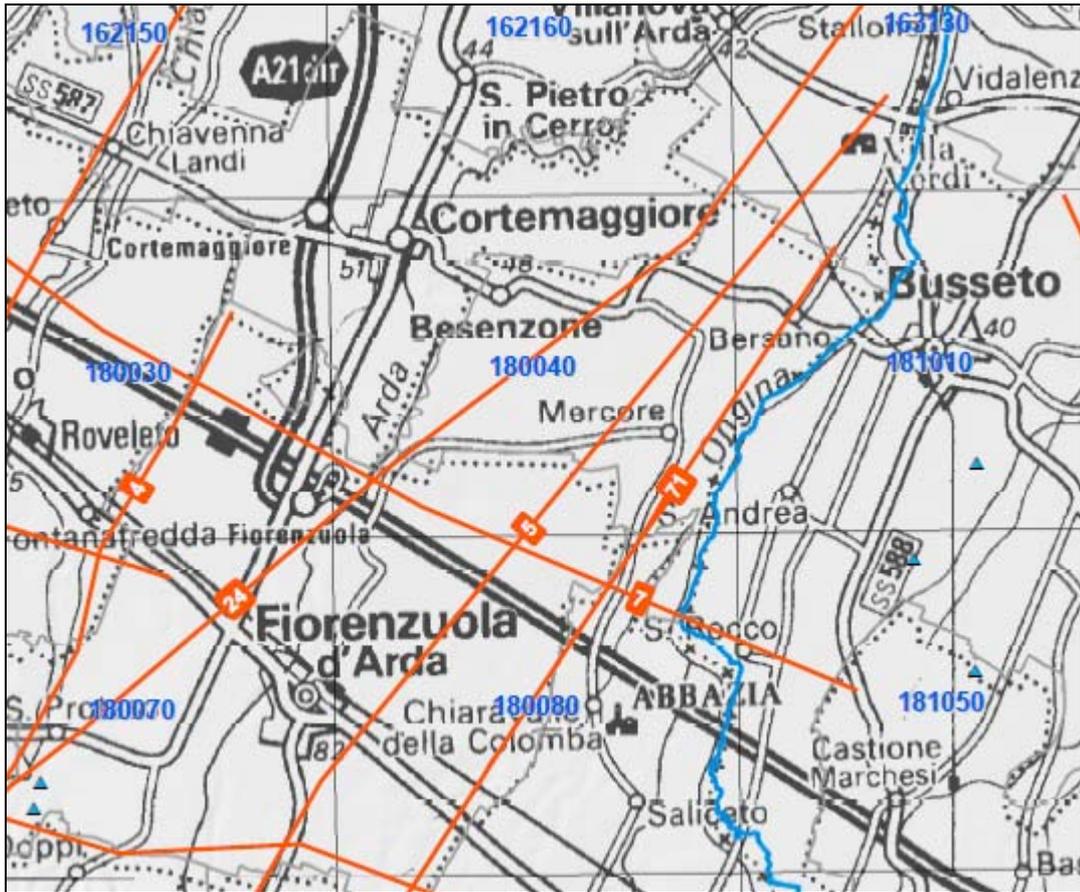


Figura 17 - Cartografia delle sezioni geologiche (da Servizio Geologico RER)

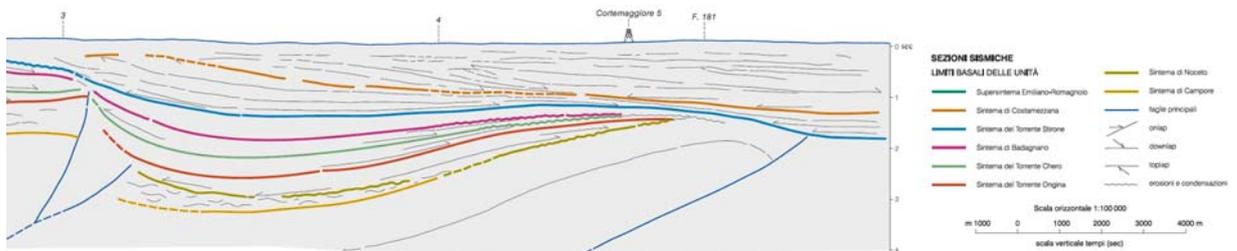


Figura 18 - Sezione sismica interpretata n. 4 – Servizio Geologico RER

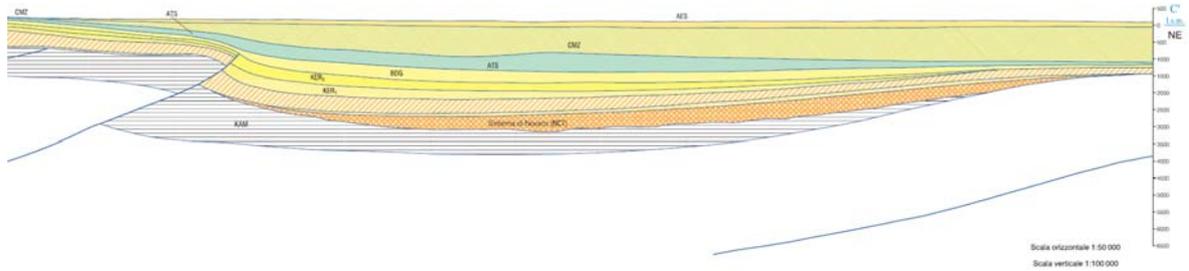


Figura 19 - Sezione geologica n.71 - – Servizio Geologico RER

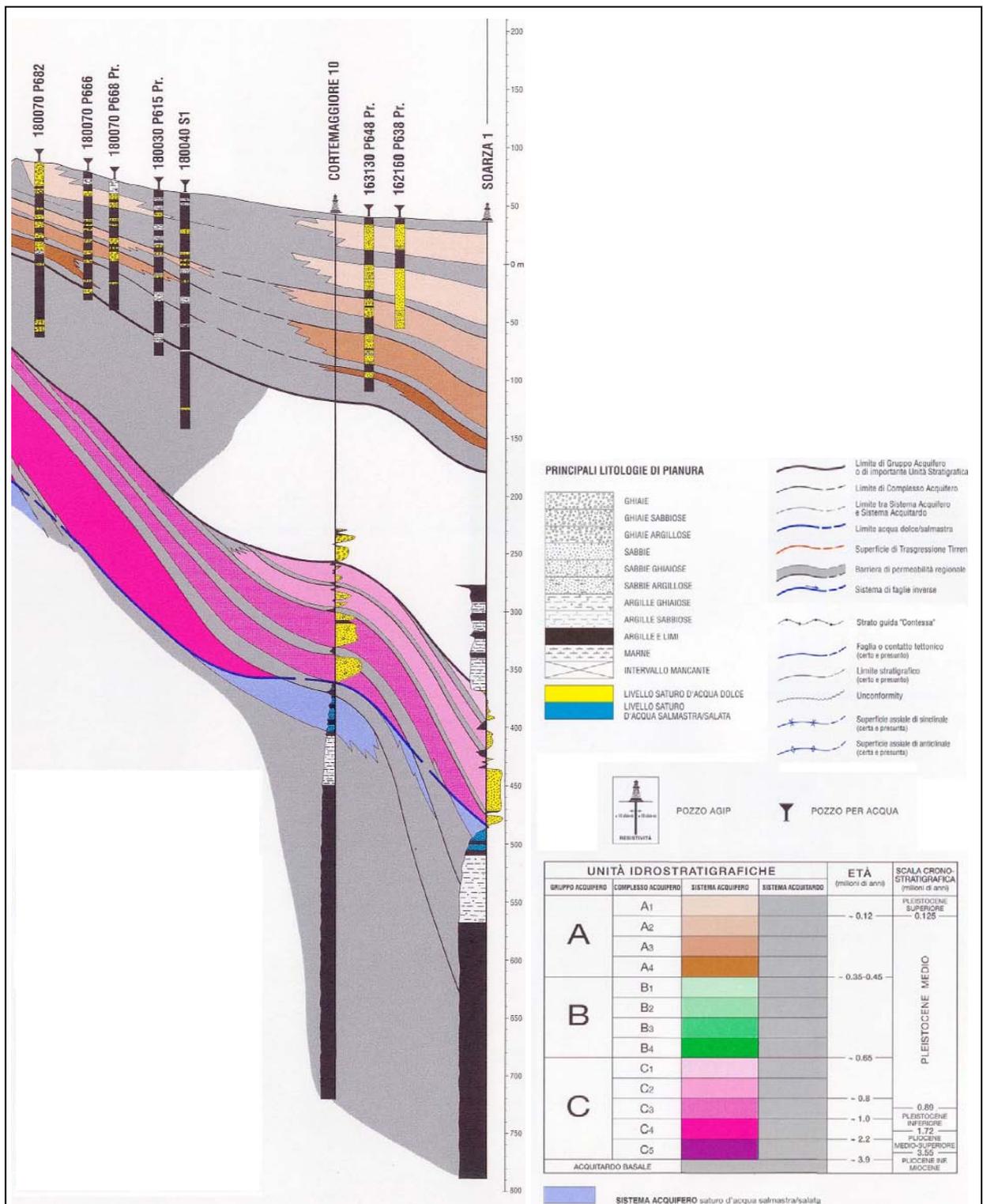


Figura 20 - Sezione geologica n.24 –Progetto Riserve Idriche Sotterranee – Servizio Geologico RER

7 INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE

La caratterizzazione sismica del territorio comunale di Besenzone, pur tenendo conto della buona uniformità dei risultati delle prove geofisiche a disposizione, avrebbe potuto raggiungere una maggiore definizione disponendo di un numero più elevato di dati geofisici; il tessuto agricolo che contraddistingue il territorio investigato, e la ridotta urbanizzazione dello stesso, naturalmente, non ha consentito di disporre di numerosi punti di investigazione in riferimento alle indagini pregresse.

Per quanto riguarda i dati stratigrafici derivanti dalle schede dei pozzi idrici perforati risultano notoriamente non accurati, sia per la modalità di perforazione impiegata (generalmente si tratta di perforazioni a distruzione di nucleo) sia per l'interpretazione spesso sommaria dei dati di perforazione, in particolare dei limiti degli orizzonti stratigrafici e delle caratteristiche granulometriche dei sedimenti.

I risultati della modellazione effettuata, che sono condizionati dalla qualità delle informazioni stratigrafiche e sulle caratteristiche geotecniche e sismiche, non devono essere considerati come valori assoluti, ma solo come indicatori della possibilità che si manifestino fenomeni di amplificazione di tipo stratigrafico in tutto il territorio comunale.

In sede di progettazione dei futuri interventi edilizi dovranno pertanto essere eseguite specifiche valutazioni della locale amplificazione sismica sulla base di indagini geognostiche e geofisiche di dettaglio.

8 METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

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

Successivamente è stata eseguita una campagna di indagini di sismica, ai fini della definizione delle frequenze fondamentali dei terreni e dell'integrazione dei dati dei profili di Vs disponibili.

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**, classificandole 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 $0,2 \div 20\text{Hz}$;
- **Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica:** in questa cartografia sono indicate le aree in cui si ritiene necessario effettuare indagini e analisi di microzonazione sismica e i livelli di approfondimento ritenuti necessari, distinguendo tra zone suscettibili di instabilità, se presenti ove sono richiesti approfondimenti di terzo livello, e zone suscettibili di amplificazioni locali, oggetto di approfondimenti di secondo livello, all'interno delle quali vengono operate ulteriori distinzioni, identificando delle microzone omogenee, sulla base delle caratteristiche litostratigrafiche.

La seconda fase del lavoro ha come obiettivo la valutazione della risposta sismica locale e la Microzonazione Sismica del territorio indagato; in questa fase sono stati prodotti i seguenti elaborati:

- **Carta delle velocità delle onde di taglio S:** in cui sono ubicati tutti i punti di misura di Vs con indicazione, per ogni punto misura, del valore di V_{SH} (m/s) e H (m), inteso come lo spessore totale dei terreni di copertura o profondità del tetto del substrato rigido nelle

aree in cui H non supera i 50 m, o di VS30 (in m/s) nelle aree di pianura dove H è maggiore di 50 m.

- **Carte di microzonazione sismica – Livello 2:** in cui sono rappresentate 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 (S/S_0), per prefissati intervalli di periodi (0,1-0,5s e 0,5-1s). Per la definizione dell'amplificazione sono state utilizzate le tabelle e le formule indicate nell'All. 2 degli Indirizzi regionali.

9 ELABORATI CARTOGRAFICI

9.1 - 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.

Le simbologie adottate, in conformità con gli standard di rappresentazione

Indagini geognostiche	Indagini sismiche
 Prova penetrometrica statica CPT	 MASW
 Prova penetrometrica statica CPT E	 REMI
 Prova penetrometrica statica CPT U	 HVSr
 Prova penetrometrica dinamica leggera DL	
 Prova penetrometrica dinamica DPSH	
 Pozzo idrico	
 Pozzo idrocarburi	
 Sondaggio a carotaggio continuo	
 Sondaggio a carotaggio continuo con prelievo di campioni	
 Sondaggio con piezometro	
 Pozzetto esplorativo	

9.2 - 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 9.4.

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

- elaborati del Quadro Conoscitivo del Piano Strutturale Comunale di Besenzone;
- “Carta Geologica d’Italia” alla scala 1: 50.000, Fogli 180 “Salsomaggiore Terme” e 181 “Parma Nord” realizzati secondo le normative del Progetto CARG;
- Carta Geologica di Pianura dell’Emilia-Romagna, alla scala 1:250.000, realizzata dalla Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli Regione della Emilia-Romagna;
- indagini geognostiche puntuali.

Il primo sottosuolo è sempre costituito da depositi argillosi e/o limosi, con possibile presenza di sabbie e sabbie limose, in corrispondenza degli antichi tracciati fluviali.

Nella Carta geologico tecnica, in riferimento agli Standard di Rappresentazione ed Archiviazione Informatica per gli studi di microzonazione sismica, sono state distinte, sulla base delle caratteristiche tessiturali, le seguenti unità di terreni di copertura:

GM – Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo: sono cartografate in corrispondenza dei terrazzi recenti ed antichi del Torrente Arda.

CL - Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre di piana inondabile:

ML : Limi inorganici, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità.

9.3 - Carte delle frequenze naturali dei terreni

In riferimento alle risultanze delle indagini tomografiche eseguite è stata redatta la Carta delle frequenze naturali dei terreni, a scala 1:10.000.

Nella carta sono riportati i punti di misura (24), con associati i risultati delle singole prove. 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).

Sono stati tralasciati i picchi con frequenze superiori ai 20 Hz, in quanto di scarso significato ai fini del presente studio.

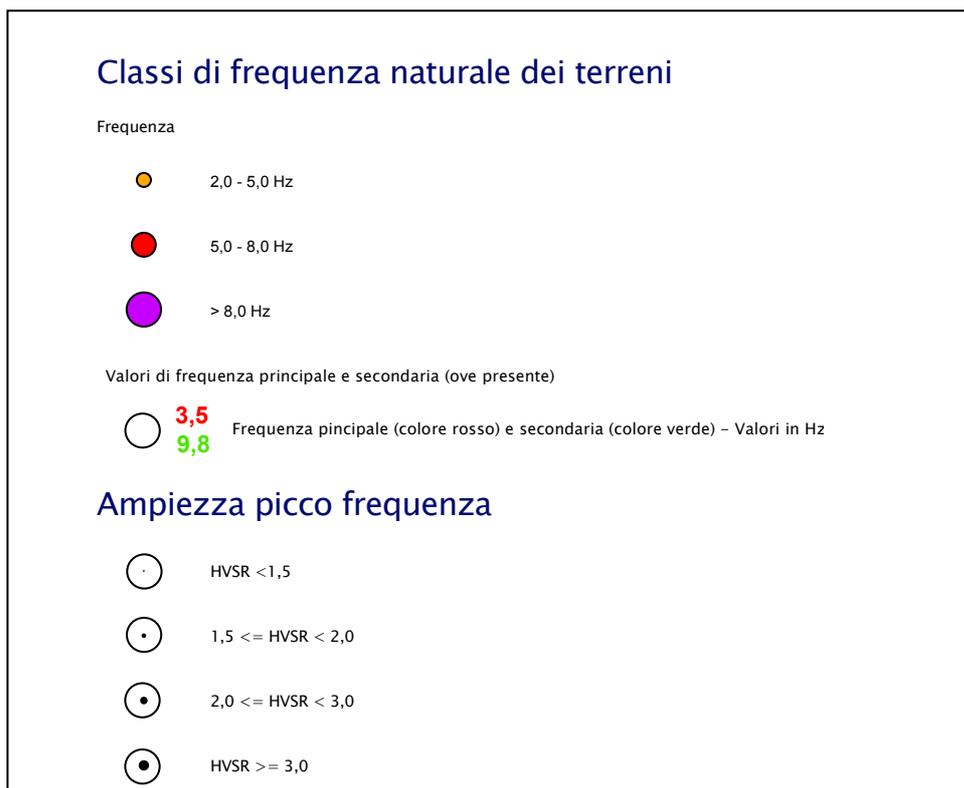
Gli indirizzi tecnici contenuti nella DGR 2193/2015, per rendere graficamente più evidenti le variazioni in relazione alla posizione, di utilizzare colorazioni differenti per distinguere le prove a seconda della frequenza principale ottenuta, definendo le seguenti classi:

- $F_0 \leq 1$ Hz
- $1 \text{ Hz} < F_0 \leq 2$ Hz
- $2 \text{ Hz} < F_0 \leq 8$ Hz

- $F_0 > 8$ Hz

Inoltre, sono state utilizzate simbologie diverse a seconda che la prova sia caratterizzata, in corrispondenza della frequenza principale, dai seguenti intervalli del rapporto HVSR :

$HVSR \geq 3$	elevato contrasto di impedenza
$2 \leq HVSR < 3$	moderato contrasto di impedenza
$1,5 \leq HVSR < 2$	basso contrasto di impedenza
$1,5 < HVSR$	assenza di contrasto di impedenza



Nella tabella 2 sono riepilogati i risultati delle prove tromografiche, specificando, per ciascuna di esse, frequenza e ampiezza dei picchi principali, oltre all'ubicazione e l'unità di appartenenza nelle Carte delle microzone omogenee in prospettiva sismica che saranno descritte nel successivo paragrafo 9.4:

Tabella 2 - Valori di picchi di frequenza da prove HVSR

Prova HVSR	MOPS	Frequenza (Hz)	Ampiezza H/V	Affidabilità picco Sesame
033003P1	2002	13,94	1,19	NO
033003P2	2002	3,93	1,66	SI
033003P3	2002	19,90	2,23	NO
033003P4	2002	11,82	1,39	NO
033003P5	2002	14,48	1,25	NO
033003P6	2002	5,48	1,40	NO

033003P7	2002	17,03	1,16	NO
033003P8	2002	16,35	2,32	SI
033003P9	2002	3,20	1,26	NO
033003P10	2001	14,05	1,38	NO
033003P11	2002	4,94	1,50	NO
033003P12	2001	9,53	1,50	NO
033003P13	2002	6,92	1,08	NO
033003P14	2002	5,92	1,69	NO
033003P15	2001	16,92	1,57	NO
033003P16	2002	14,48	1,25	NO
033003P17	2001	8,78	1,21	NO
033003P18	2002	9,60	1,22	NO
033003P19	2002	6,45	1,44	NO
033003P20	2001	20,80	2,31	SI
033003P21	2002	5,03	1,11	NO
033003P22	2002	7,74	1,99	NO
033003P23	2002	5,09	1,34	NO
033003P24	2002	9,22	2,34	SI

L'esame dei risultati delle prove HVSR, nel complesso, non evidenzia la presenza di picchi H/V significativi, ad indicare bassi contrasti di impedenza connessi con la presenza di prevalenti depositi fini limosi e argillosi superficiali, passanti a depositi sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi non molto addensati.

Non è possibile evidenziare quindi una significativa distribuzione dei picchi, sia in termini di frequenza ed ampiezza, correlabile con la distribuzione delle unità geologiche individuate.

9.4 - Carte delle microzone omogenee in prospettiva sismica

La Carte 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.

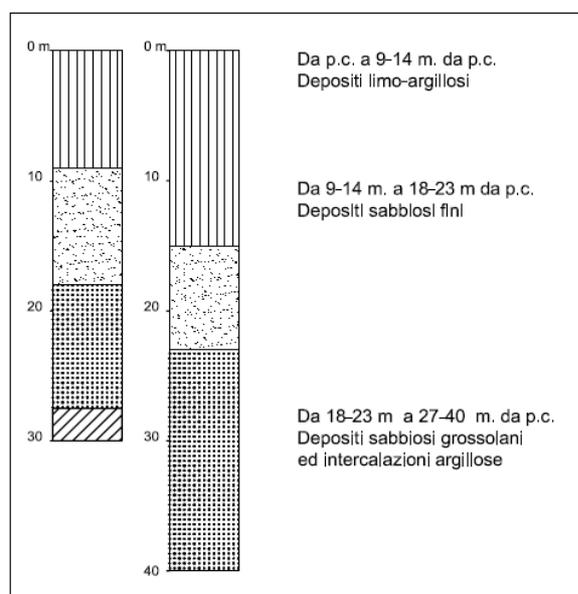
2. zone stabili suscettibili di amplificazioni locali. Si tratta di aree in cui sono attese amplificazioni del moto sismico, causate dall'assetto litostratigrafico e/o morfologico locale. In queste zone sono richiesti approfondimenti di secondo livello.

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.

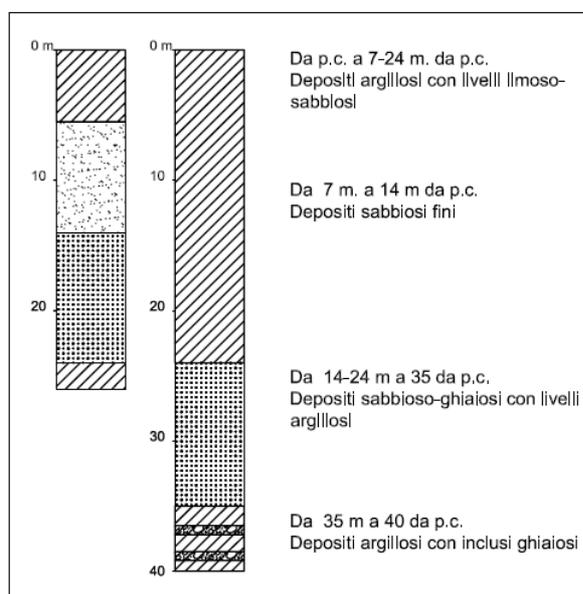
Dalla lettura della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica si osserva che, in corrispondenza delle aree esaminate in Comune di Besenzone, non è mai presente la categoria 1 – zone stabili.

Tutte le 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 le seguenti tre microzone omogenee, ognuna con un proprio profilo stratigrafico tipo riferito ai primi 40 m di sottosuolo :

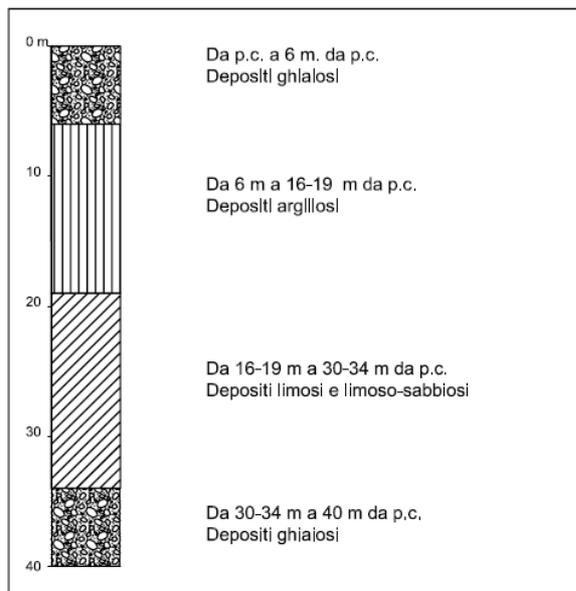
Zona 2001 – con successione stratigrafica costituita da orizzonte superficiale di terreni prevalentemente fini limoso-argillosi di spessore compreso tra 9-14 m seguito da depositi prevalentemente sabbiosi, che a profondità variabile tra 18-23 m passano a sedimenti sabbiosi grossolani con intercalazioni argillose; corrispondono a depositi di piana alluvionale, tipica di buona parte del territorio comunale.



Zona 2002 – con successione stratigrafica costituita da copertura prevalentemente argillosa, estesa fino a profondità variabile tra 7 e 24 m, con locali orizzonti sabbiosi, a depositi sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi con livelli argillosi.



Zona 2003 – con successione stratigrafica costituita da depositi ghiaiosi in matrice limoso-sabbiosa riferibili ai depositi di canale attuali e recenti del Torrente Arda, passanti a profondità di circa 6 m a depositi prevalentemente argillosi e limoso-sabbiosi, con corpi ghiaiosi lenticolari oltre la profondità di 30 m.



9.5 - Carta delle velocità delle onde di taglio S

Nella Carta delle velocità delle onde di taglio S sono stati riportati i punti di misura di Vs con indicazione del valore in m/s di Vs30, tenendo conto che non è stata individuata una discontinuità responsabile di contrasto di impedenza significativo entro le profondità di indagine.

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^M h_i / V_{s_i}}$$

dove M è il numero di strati del profilo sismico fino alla profondità di 30 m,

hi = spessore (in m) dello strato i-esimo (fino alla profondità di 30 m),

Vsi = velocità (in m/s) dello strato i-esimo (fino alla profondità di 30 m)

La carta è stata redatta impiegando sia le indagini pregresse sia quelle specificatamente eseguite per lo studio di Microzonazione Sismica, distinguendo le misure di Vs sulla base della tecnica impiegata: MASW e Re.Mi.

Le indagini disponibili ed il relativo valore di Vs30 sono raccolti nella tabella seguente :

Tabella 3 - Valori di Vs da prove geofisiche disponibili

ID_SLN	Tipo indagine	Vs30 (m/s)
033003L1	REMI	213
033003L2	REMI	229
033003L3	REMI	216
033003L4	REMI	224
033003L5	REMI	226
033003L6	REMI	209

033003L7	MASW	280
033003L8	MASW	237
033003L9	MASW	258
033003L10	MASW	261
033003L11	MASW	308

Nel complesso si evidenzia come i terreni interessanti il territorio di Besenzone rientrano nella Categoria di sottosuolo C di cui alle Norme Tecniche delle Costruzioni (D.M. 17/1/08), caratterizzati da valori di Vs30 compresi nell'intervallo 210÷308 m/s in relazione alla presenza di terreni prevalentemente limoso-argillosi di medio-bassa consistenza di piana esondabile passanti a profondità variabile tra 5-25 m. a depositi sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi mediamente addensati.

I profili di velocità delle onde di taglio per i principali centri abitati sono rappresentati nei diagrammi di figura 22.

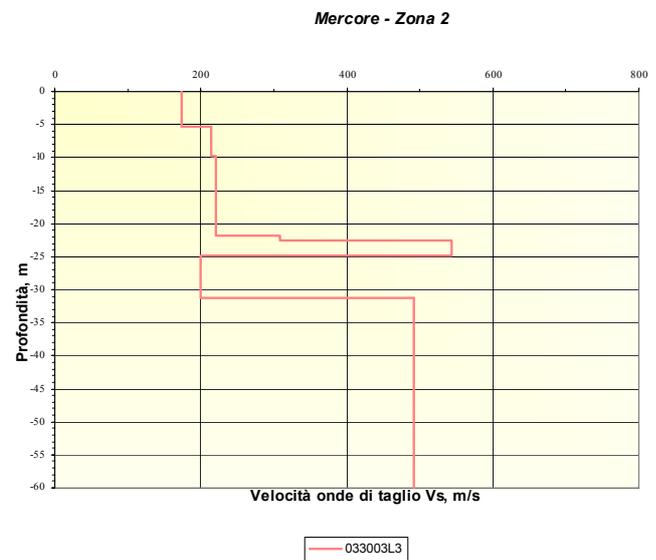
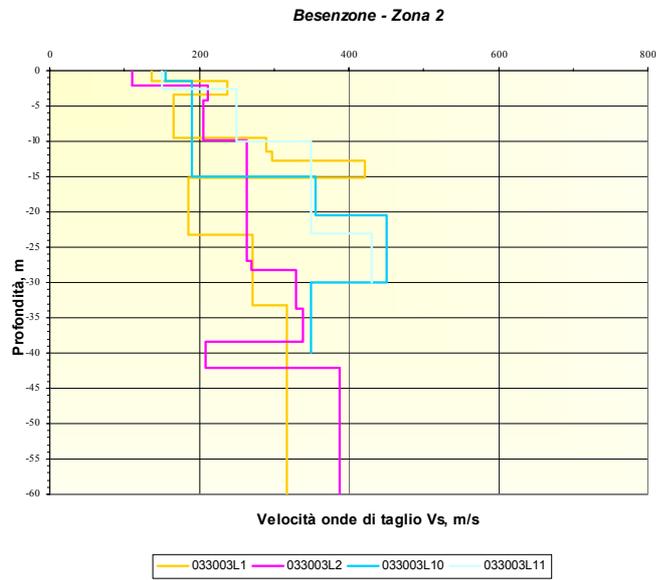
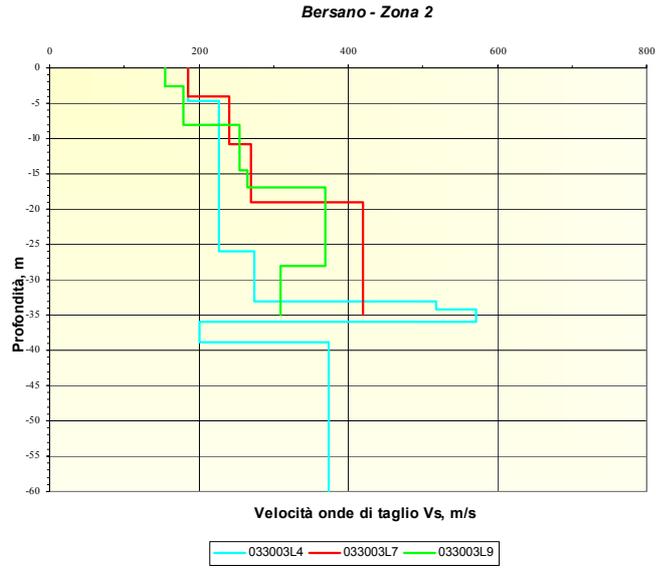


Figura 22 - Andamento profilo Vs in corrispondenza dei centri abitati principali

9.6 - Carta di Microzonazione Sismica – Livello 2

Per la definizione dell'amplificazione sismica per l'analisi di approfondimento di Livello 2 sono state impiegate procedure semplificate (utilizzo di abachi e formule), possibili laddove l'assetto geologico è assimilabile ad un modello fisico monodimensionale.

L'amplificazione è stata quantificata in termini di parametri F_{PGA} , $FA_{0,1-0,5s}$, $FA_{0,5-1s}$, $FA_{0,5-1,5s}$ che esprimono l'amplificazione per motivi stratigrafici, eventualmente incrementati con il fattore di amplificazione per cause topografiche S_T .

I coefficienti di amplificazione sono stati stimati impiegando le tabelle e le formule dell'Allegato A2 (punti A2.1 e A2.2) della DGR 2193/2015, espressi sia in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale ($F_{PGA}=PGA/PGA_0$) sia di rapporto di Intensità di Housner (SI/SI_0) per prefissati intervalli di periodi ($FA_{0,1-0,5s}$, $FA_{0,5-1s}$, $FA_{0,5-1,5s}$), dove PGA_0 e SI_0 sono rispettivamente l'accelerazione massima orizzontale e l'Intensità di Housner al suolo di riferimento ricavabili dal data base regionale e PGA e SI sono le corrispondenti grandezze di accelerazione massima orizzontale e Intensità di Housner calcolate alla superficie dei siti esaminati.

Gli ambienti geo-litologici definiti dall'Allegato A2 degli indirizzi regionali (DGR 21.12.2015, n° 2193) sono distinti in due grandi gruppi principali relativi a: 1) zona collinare e montana (Appennino) e 2) pianura e zona costiera che comprende anche il settore di transizione Appennino-Pianura (Margine).

L'ambito geologico individuato per il settore indagato è stato cautelativamente considerato quello di :

PIANURA 1 Settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di un'importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m da p.c.

il cui abaco di riferimento per i fattori di amplificazione è riportato nella tabella seguente :

$V_{s30}(m/s) \rightarrow$	150	200	250	300	350	400
F.A. PGA	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.5
F.A. SI1	1.9	1.9	1.9	1.8	1.6	1.5
F.A. SI2	3.0	2.9	2.7	2.5	2.3	2.1
F.A. SI3	3.4	3.2	2.8	2.5	2.2	2.0

Gli esiti della microzonazione in termini di amplificazione, ricavati con l'approccio semplificato (DGR 2193/2015), rappresentati nelle Carte di microzonazione sismica allegate (Tavole 6-7-8-9), sono raccolti nella tabella seguente.

Tabella 4 - Fattori di amplificazione stratigrafica per microzonazione sismica

Vs30 (m/s)	Ambiente geologico	Classe	FA PGA	FA 0.1s < To < 0.5s	FA 0.5s < To < 1.0s	FA 0.5s < To < 1.5s
209-216	Pianura 1	1	1,6-1,7	1,8-1,9	2,5-3,0	3,1-3,5
224-308	Pianura 1	2	1,6-1,7	1,8-1,9	2,5-3,0	2,5-3,0

9.6.1 Valutazione preliminare della suscettibilità alla liquefazione

La suscettibilità alla liquefazione dei sedimenti rappresenta un parametro molto importante da valutare nelle analisi di pericolosità sismica anche a piccola scala, in particolare nella pianura alluvionale dove si ha la maggiore concentrazione dell'urbanizzato sia storico che di previsione.

Per liquefazione si intende l'annullamento di resistenza al taglio di terreni granulari saturi sotto sollecitazioni di taglio cicliche ed in conseguenza delle quali il sedimento raggiunge una condizione di fluidità pari a quella di un liquido viscoso. Il meccanismo di liquefazione è governato da molti fattori e tra questi i principali sono: caratteristiche dell'impulso sismico; (magnitudo $M > 5,0$); densità relativa ($DR < 50 \div 60\%$); pressioni di confinamento (non sono riportati casi in letteratura di liquefazione in strati granulari profondi oltre 15-20 metri); fuso granulometrico; falda superficiale.

In condizioni di sisma, vi possono anche essere effetti di "riordino" dei sedimenti, con possibilità di cedimenti significativi che possono coinvolgere sia i depositi granulari poco addensati e recenti (olocenici), sia i sedimenti fini poco coesivi.

Nell'ultimo decennio sono state elaborate procedure di stima delle potenziali deformazioni post-sisma anche nei sedimenti fini (limi e argille a comportamento "non drenato") provocate da perdite di resistenza. Quest'ultimo fenomeno è noto con il termine "cyclic softening" (Idriss & Boulanger, 2004-2007).

Le verifiche della suscettibilità alla liquefazione e dei cedimenti potenziali indotti da sisma possono essere espletate utilizzando correlazioni empiriche basate sui risultati delle prove CPT.

La procedura di verifica della liquefacibilità si basa sull'approccio attualmente più accreditato per le prove CPT di Boulanger e Idriss (2014), che fornisce anche sulla base della Determ. RER n° 2193/2015 valori dell'Indice di liquefazione IL (Iwasaki, 1978).

La verifica stima la propensione alla liquefazione di un sedimento attraverso il calcolo del fattore di sicurezza $FL = (CRR_{(7,5)} / CSR_{(7,5)}) * MSF$ ove:

- CSR = sollecitazione tangenziale ciclica (Cyclic Stress Ratio) prodotta da un sisma e stimata sulla base di correlazioni empiriche dalle caratteristiche del terremoto, magnitudo e accelerazione tangenziale del suolo. Il CSR viene calcolato dall'equazione semiempirica proposta da Seed e Idriss (1971) per terremoti di $M = 7,5$. La a_{max} di ingresso per la valutazione semplificata del CSR è ricavata utilizzando i dati della caratterizzazione sismica di riferimento •
- MSF = coefficiente correttivo per eventi sismici di magnitudo differente da 7,5. Il metodo Idriss e Boulanger utilizza per terremoti di $M < 7,5$ l'equazione

$$MSF = 0,9 \cdot \exp\left(-\frac{M}{4}\right) - 0,038 \leq 1,8$$

- CRR = resistenza alla liquefazione ciclica (Cyclic Resistance Ratio) dei sedimenti attraversati, ricavata dagli esiti penetrometrici secondo la procedura empirica proposta da Robertson & Wride, 1998 per terremoti di $M = 7,5$. La procedura si fonda su equazioni che determinano i valori di CRR dei sedimenti con diverso contenuto di fini dai dati delle prove CPT, attraverso la normalizzazione a 100 kPa (pressione atmosferica) delle resistenze alla punta penetrometrica e la correzione in funzione delle caratteristiche granulometriche (desunte dalla classificazione dei terreni di Robertson, 1990).

Nello specifico del territorio comunale di Besenzone le verifiche di suscettibilità alla liquefazione sono state eseguite impiegando le prove penetrometriche a punta elettrica CPTE eseguite a cura del Servizio Geologico RER, raccolte nell'archivio prove (sigle 180040E506-E507-E508-E509-E5113-E513-E514-E516), che garantiscono un elevato grado di affidabilità per la tipologia di verifica in oggetto.

Il calcolo automatico della liquefacibilità è stato realizzato con il software "Cliq", sviluppato dalla GeoLogismiki Geotechnical Engineers, utilizzando i dati di input di pericolosità sismica di base e i parametri sismici di amplificazione (FA PGA) ricavati dalla microzonazione sismica di 2° livello eseguita:

- magnitudo del terremoto $M_w = 5,50$ (pari alla magnitudo momento massima attesa, M_{wmax} , per la zona 911, vedi zonazione sismogenetica ZS9, come indicato in ICMS, 2008)
- a_{max} suolo = 0,19 g tenendo conto di un'accelerazione pari a 0,110 per il Comune di Besenzone, moltiplicata per amplificazione F_a PGA pari a 1,7
- quota piezometrica in condizioni di sisma saliente fino a -2,0 m dal piano campagna
- verifica fino alla quota raggiunta dalle prove penetrometriche.

Come si evidenzia nei tabulati allegati (Allegato 2) si verificano solo localmente condizioni per il verificarsi di fenomeni di liquefazione, in quanto il fattore di sicurezza F_s risulta generalmente superiore a 2, conseguentemente anche il potenziale a liquefazione (IL o LPI), indicato secondo la formulazione:

$$LPI = \int_0^{z_{crit}} F(z) \cdot w(z) \cdot dz$$

In cui:

z_{crit} è la profondità massima alla quale strati liquefatti producono effetti in superficie

$$w(z) = 200/z_{crit} (1-z/z_{crit})$$

$$F(z) = 1 - F_L \text{ se } F_L \leq 0,95$$

$$F(z) = 2 \cdot 10^6 \exp(-18,427 F_L) \text{ se } 1,2 \leq F_L \leq 0,95$$

$$F(z) = 0 \text{ se } F_s > 1,2$$

(con F_L = fattore di sicurezza a liquefazione)

assume valore LPI compreso tra 0,0 e 0,34, cioè rischio di liquefazione basso secondo la classificazione di Sonmez (2003):

Tabella 5 - Classi di rischio di liquefazione in funzione di LPI

POTENZIALE	RISCHIO LIQUEFAZIONE
LPI = 0	Nulla
$0 < LPI \leq 2$	Basso
$2 < LPI \leq 5$	Medio
$5 < LPI \leq 15$	Elevato
LPI > 15	Molto elevato

In ragione dei risultati ottenuti, sinteticamente rappresentati nella figura 23, anche in riferimento alle linee guida di cui alla DGR 2193/2015, non si ritiene necessario individuare zone di attenzione per liquefazione nel territorio oggetto del presente studio di microzonazione sismica di 2° livello.

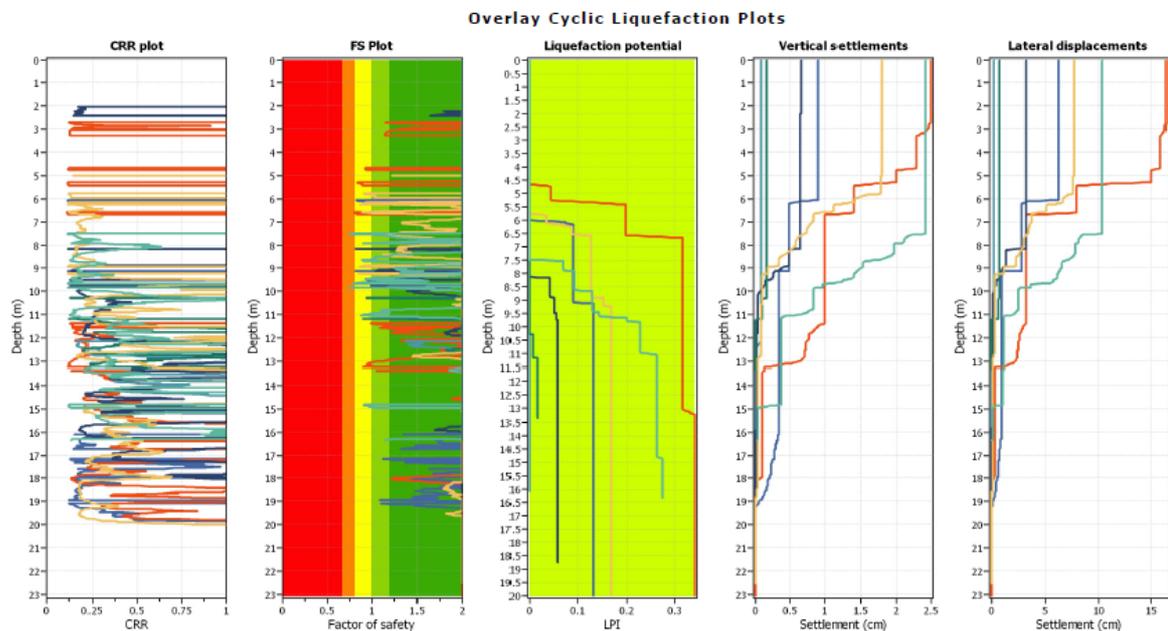


Figura 23 - Diagramma sintetico verifiche rischio di liquefazione sulla base delle prove CPTE

Fiorenzuola d'Arda, maggio 2018

Studio Geologico Ambientale
 Dr. Geol. Gabriele Corbelli

