

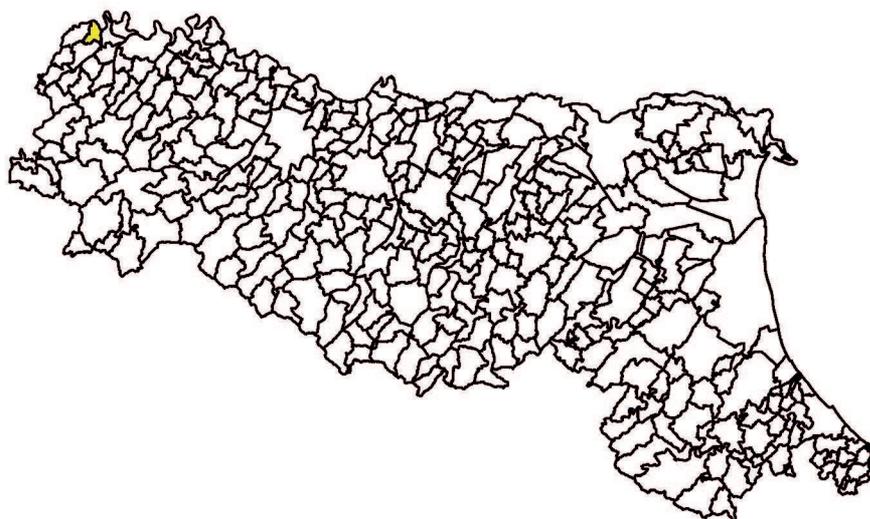
Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n. 77

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione Illustrativa

Regione Emilia-Romagna

Comune di Sarmato



<p>Regione</p> <p>REGIONE EMILIA-ROMAGNA</p>	<p>Soggetto realizzatore</p>  <p>Studio Geologico Ambientale</p> <p>Dr.Geol. Gabriele Corbelli</p>	<p>Data</p> <p>Gennaio 2020</p>
--	---	---------------------------------

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	6
	3.3 - Zonazione sismogenetica	11
	3.4 - Sismicità storica	12
	3.5 - Classificazione sismica	18
	3.6 - Pericolosità sismica.....	18
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO	20
5	DATI GEOTECNICI E GEOFISICI	24
6	MODELLO DEL SOTTOSUOLO.....	25
7	INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE	31
8	METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI.....	32
9	ELABORATI CARTOGRAFICI.....	34
	9.1 - Carta delle indagini	34
	9.2 - Carta geologico-tecnica	34
	9.3 - Carta delle frequenze naturali dei terreni	35
	9.4 - Carte delle microzone omogenee in prospettiva sismica.....	38
	9.5 - Carta delle velocità delle onde di taglio S	40
	9.6 - Carta di Microzonazione Sismica – Livello 2.....	44
	9.6.1 Valutazione preliminare della suscettibilità alla liquefazione	46

1 PREMESSA

Il Comune di Sarmato 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 630/2019) 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 630/2019 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 2245/2018, 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 4.1", redatto dalla Commissione tecnica per la microzonazione sismica (Commissione tecnica per la microzonazione sismica, ottobre 2019);
- "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 Sarmato 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. 1.1-1.2)
 2. Carta Geologico-Tecnica 1:5.000 (Tav. 2.1-2.2)
 3. Carta delle Frequenze naturali dei Terreni 1:10.000 (Tav. 3)
 4. Carta delle MOPS 1:10.000 (tav. 4)
 5. Carta delle Velocità delle Onde di Taglio – Vs 1:10.000 (Tav. 5)
 6. Carta dei Fattori di Amplificazione: PGA 1:10.000 (Tav. 6)
 7. Carta dei Fattori di Amplificazione: SA1 0,1-0,5s 1:10.000 (Tav. 7)
 8. Carta dei Fattori di Amplificazione: SA2 0,4-0,8s 1:10.000 (Tav. 8)
 9. Carta dei Fattori di Amplificazione: SA3 0,7-1,1s 1:10.000 (Tav. 9)
 10. Carta dei Fattori di Amplificazione: SA4 0,5-1,5s 1:10.000 (Tav. 10)
 11. Carta dei Fattori di Amplificazione: SI1 0,1-0,5s 1:10.000 (Tav. 11)
 12. Carta dei Fattori di Amplificazione: SI2 0,5-1,0s 1:10.000 (Tav. 12)
 13. Carta dei Fattori di Amplificazione: SI3 0,5-1,5s 1:10.000 (Tav. 13)
 14. Carta dei valori di HSM 1:10.000 (Tav. 14)
- Indagini sismiche eseguite per studio MS

Gli elaborati cartografici sono stati realizzati secondo le specifiche indicate nella DGR 630/2019 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

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.

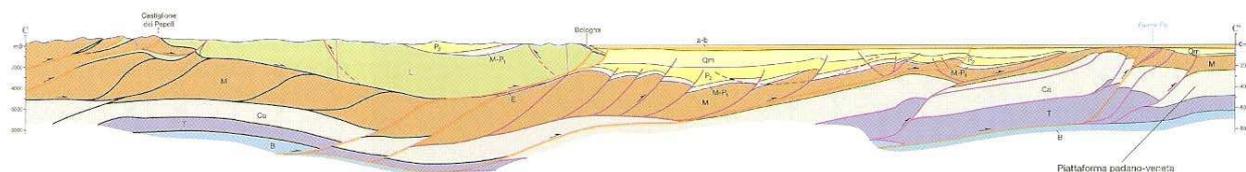


Figura 1 - Sezione dello schema tettonico dei thrust appenninici.

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, indicato come Pedeappennic Thrust Front (PTF)
- bacino minore o satellite: depressione racchiusa a nord dall'alto strutturale dell'ETF e a sud dalle strutture embricate del PTF; si estende in zona antistante al margine morfologico dell'Appennino con allungamento in direzione ovest/nord-ovest ed est/sud-est, presentandosi con geometrie non costanti che esprimono settori strutturalmente svicolati tra loro in relazione all'andamento planimetrico delle strutture sepolte associate all'External Thrust Front" (ETF) e al Pedeappennic Thrust Front (PTF).
- l'alto strutturale più esterno che si trova in chiusura periclinale, frutto dell'involuppo delle rampe frontali dei thrust sepolti, che rappresenta la zona di confine tra la Monoclinale pedevalpina a nord e la microplacca dell'arco Appenninico settentrionale a sud.

Le suddette strutture sono l'espressione della collisione tettonica tra la microplacca dell'Arco Appenninico Settentrionale e la microplacca Adriatica. Le deformazioni formatesi e la parziale subduzione della microplacca adriatica sotto quella dell'Arco Appenninico

Settentrionale sono causate dalle spinte nord-est vergenti, impresse dal movimento di convergenza tra la zolla africana ed europea a seguito dell'estensione dell'Oceano Atlantico (Livemore e Smith 1985).

L'External Thrust Front è caratterizzato da una serie di strutture ad arco, concave verso sud, che si raccordano in due zone di incrocio (Pavia e Reggio Emilia), dove il fronte appare notevolmente arretrato (Fig. 2). Questo assetto strutturale è probabilmente dovuto alla presenza, nella crosta superiore padana, di zone con maggiore rigidità che hanno impedito lo scollamento delle successioni mesozoiche e terziarie dal basamento sottostante, bloccando in tal modo la traslazione verso nord (Bernini e Papani, 1987).

Il Pedepenninic Thrust Front è invece costituito da un margine discontinuo, planimetricamente parallelo al limite morfologico dell'Appennino settentrionale, segmentato da faglie trasversali, coincidenti con alcuni dei principali corsi d'acqua (Stirone, Taro, Enza, ecc.). Si tratta di una serie di thrusts e duplicazioni crostali che hanno determinato il sollevamento e il basculamento dei depositi affioranti nella fascia pedeappenninica.

Le faglie trasversali al Pedepenninic Thrust Front sono inoltre all'origine della suddivisione dell'Appennino settentrionale in settori a differente comportamento tettonico, responsabili altresì della traslazione differenziale dei vari settori dell'Appennino settentrionale come appunto testimoniano le rientranze del margine appenninico tra il F. Taro e il T. Enza e tra i F. Panaro e il F. Reno.

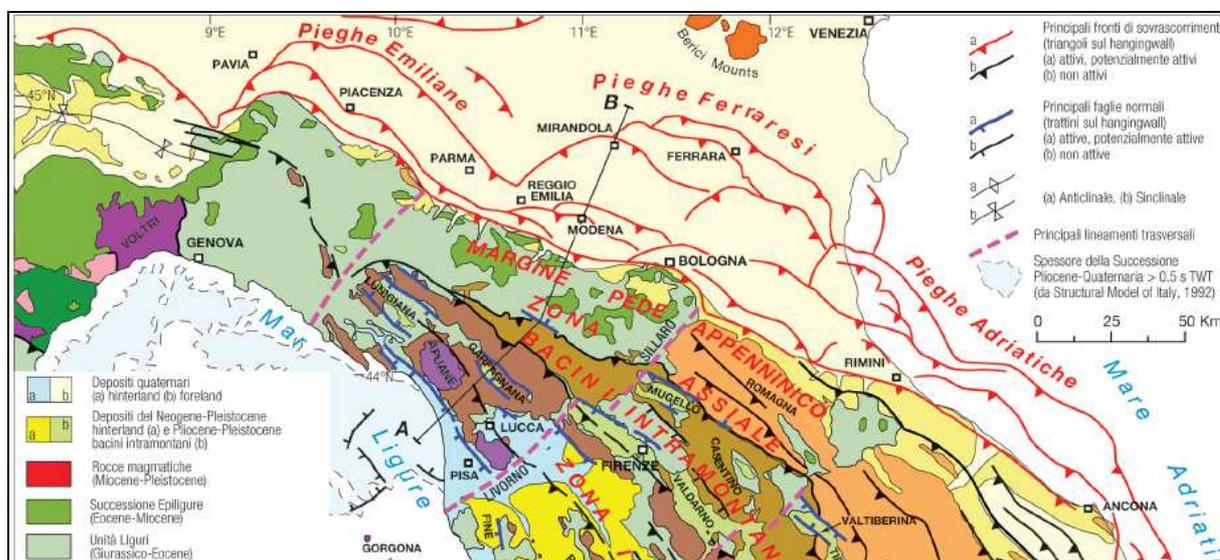


Figura 2 - Estratto dello schema tettonico dell'Appennino settentrionale e della Pianura Padana

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 3.

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 5.

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.).

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; negli affioramenti lungo il margine piacentino, non sono presenti chiare evidenze di deformazioni recenti; i depositi della successione del margine si presentano pressoché indeformati e si immergono blandamente sotto i depositi alluvionali padani.

Recenti approfondimenti del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli Regionale (vedi Note Illustrative della Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna ed aree limitrofe, a cura di Martelli et. al.) attraverso approfondimenti di carattere geologico- geomorfologico hanno riconosciuto evidenze dell'emergenza del thrust frontale pedeappenninico (PTF di Boccaletti et al., 1985), di cui sono stati interpretati su base topografica vari segmenti distinti, che nel tratto Voghera e Sarmato è costituito da quattro faglie (vedi Figura 6 estratta da estratto dallo studio citato).

L'interpretazione strutturale dei segmenti di faglia, con disposizione in step destri indica, secondo gli autori, una componente di traspressione destra sul sistema di faglie che materializza il fronte.

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).

Il segmento principale si estende con direzione E-W da Broni a Ripaldina; da qui sembra proseguire, scalato verso sud-est, nel segmento Castel San Giovanni-Fontana Pradosa. Questo secondo segmento sembra corrispondere verso ovest a una scarpata che segna i terrazzi pedemontani a sud di Stradella, presso Bosnasco e Cardazzo. Alla terminazione orientale, questo secondo segmento passa, ancora scalato verso sud-est, ad un ulteriore piccolo segmento presso Sarmato.

E' possibile stimare il rigetto verticale determinato dal thrust sui tre segmenti descritti sopra (P1, P2 e P3 in fig. 6, rispettivamente da ovest verso est), analizzando il modello digitale del terreno. I tre segmenti hanno rispettivamente lunghezze di circa 12, 5 e 2 km e la diminuzione della loro lunghezza corrisponde ad una riduzione, seppur proporzionalmente minore, nell'altezza della scarpata tettonica. Tale comportamento, che sembra essere specularmente simile nel tratto ad ovest di Stradella, sembra essere indicativo della decrescita del sistema di faglie nel suo insieme dal centro (Stradella) verso le estremità.

I tre profili mostrano per le tre scarpate altezze massime di circa 25, 20 e 15 m rispettivamente; le datazioni dei terrazzi sollevati (datati al Riss nella carta geologica 1:100.000) non sono univoche. Cremaschi (1987) e Pellegrini e Vercesi (1995) stimano per i terrazzi ca. 120 ka BP mentre Benedetti et al. (2003) suggeriscono un'età di circa 70 ka BP, per cui vengono interpretati tassi di sollevamento di questa struttura fra 0,13 e 0,36 mm/a, rispettivamente.

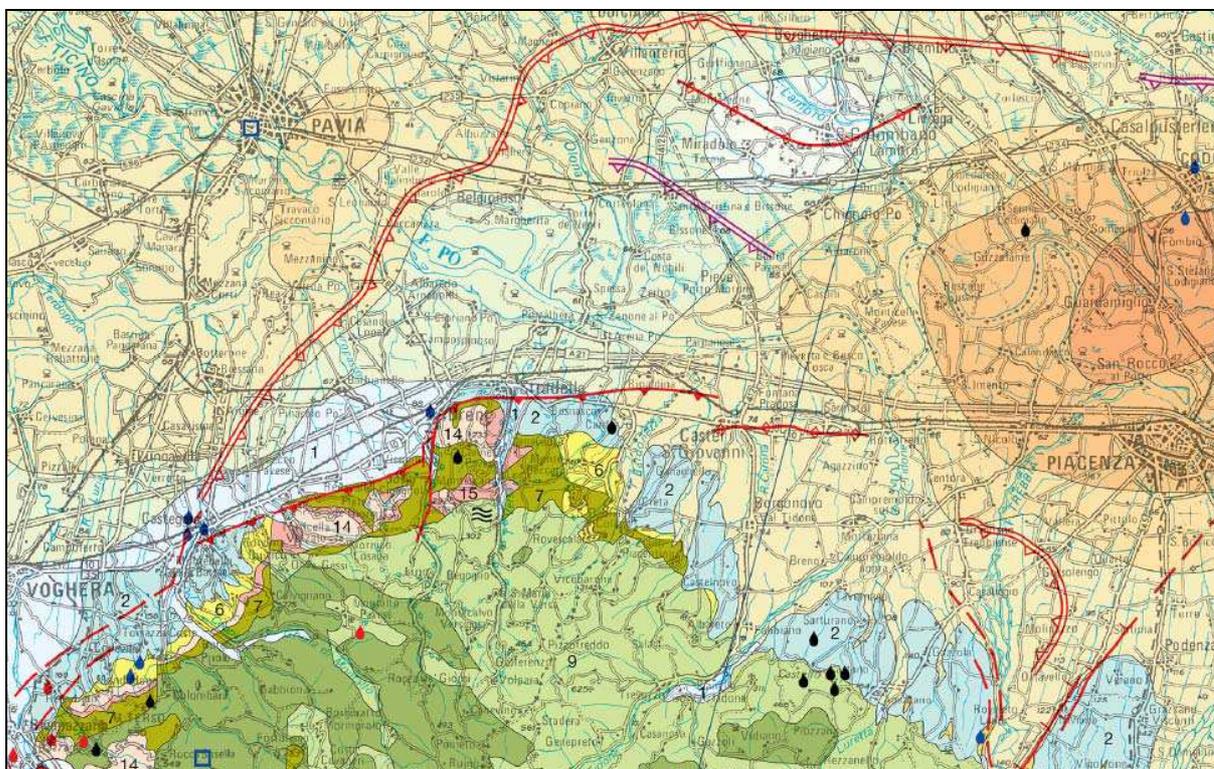


Figura 3 - Estratto Carta Sismotettonica della Regione E.R. – Servizio Geologico Regionale - 2017

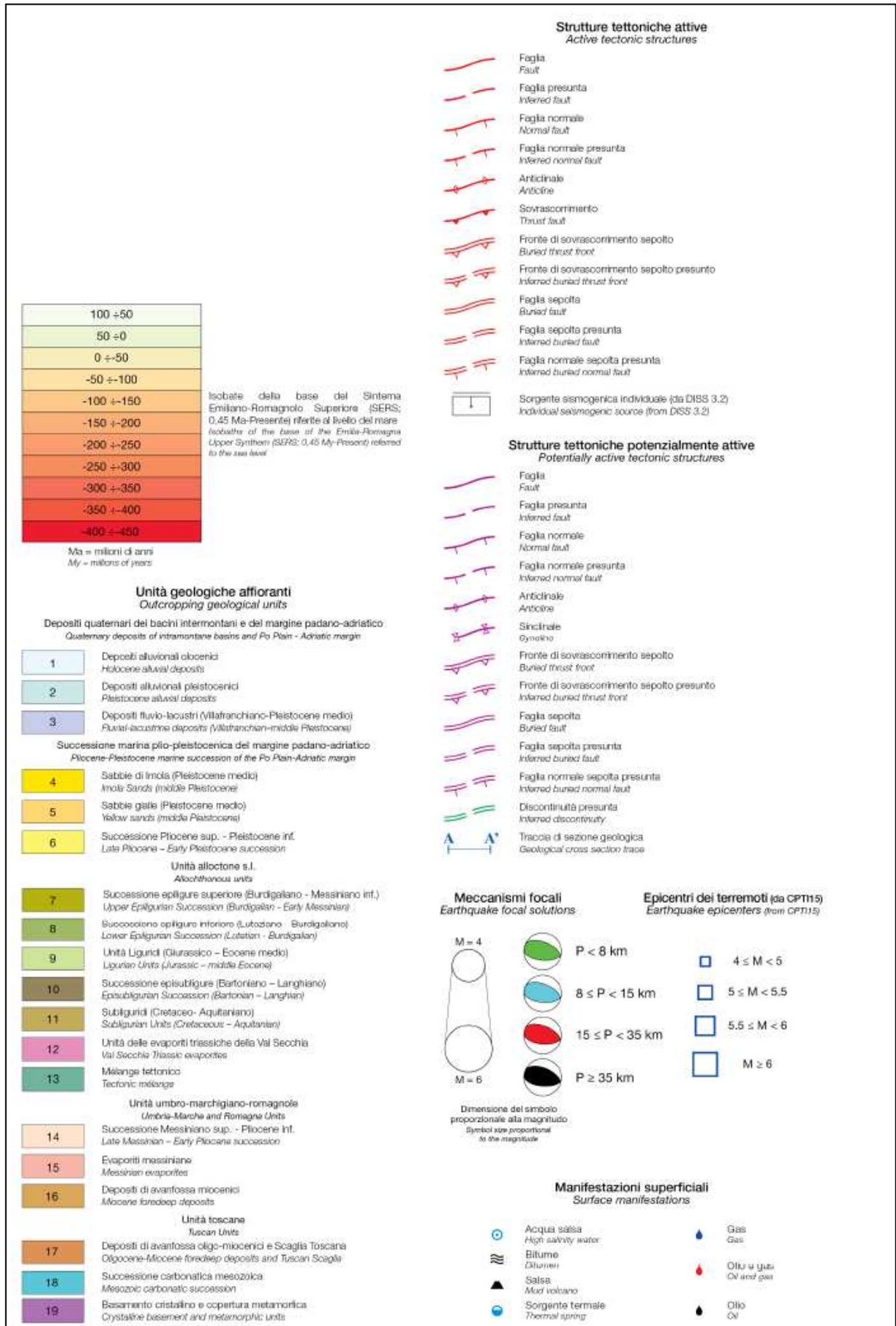


Figura 4 - Legenda Carta Sismotettonica della Regione E.R. – Servizio Geologico Regionale - 2017

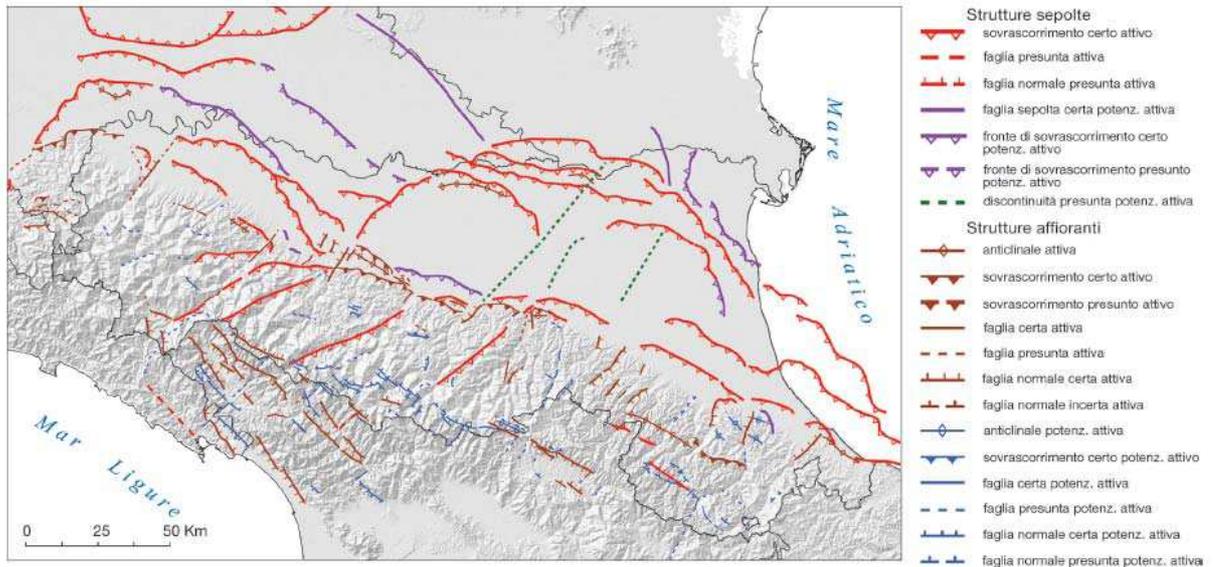


Figura 5 - Sintesi regionale delle principali strutture attive e potenzialmente attive (fonte Carta Sismotettonica della Regione E.R. – Servizio Geologico Regionale – 2017)

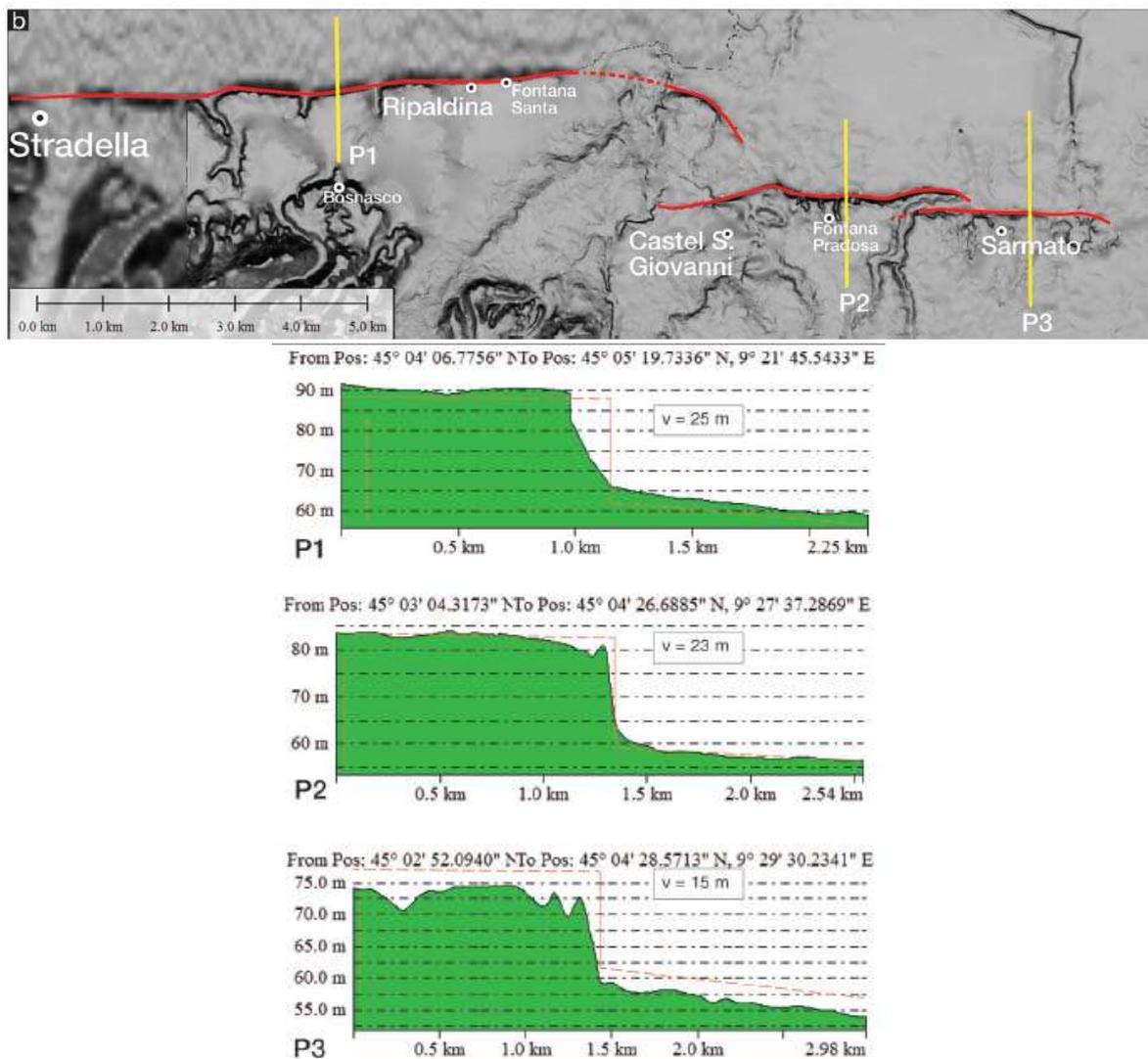


Figura 6 - Dettaglio della struttura tettonica nel tratto Stradella-Sarmato interpretata dagli studi del Servizio Geologico regionale

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, si distingue la zona 911, in cui rientra il Comune di Sarmato, 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.

La zona 912, longitudinale rispetto all’asse della catena appenninica, rappresenta la porzione più esterna della fascia in compressione dell’arco appenninico settentrionale; il meccanismo di fagliazione prevalente risulta indeterminato.

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 due “fasce” sismogenetiche:

- ITCS044 Portalbera-Cremona
- 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 ($4,5 < M_w 5,0$), con l'eccezione del terremoto del Lodigiano del 28/7/1276 ($M_w 5.1$) e del 15/5/1951 ($M_w 5.2$).

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 ($4.5 < M_w 5.0$) nei settori orientali e occidentali dell'area. La sismicità massima è stata assunta sulla base della sismicità regionale ($M_w 5.5$).

Occorre segnalare come sia in fase di approfondimento l'identificazione di una sorgente sismogenetica direttamente interferente con il territorio comunale di Sarmato, indicata come ITDS001: Broni-Stradella da DISS 3.2.1.

Oltre agli approfondimenti contenuti nelle Note illustrative della "Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna ed aree limitrofe" (2016) a cura di Martelli L. et alii, descritti nel paragrafo 3.2, si segnala lo studio condotto da Benedetti L. C. et alii (2003) "Geomorphic evidence for an emergent active thrust along the edge of the Po Plain: The Broni-Stradella fault.", riguardante l'evidenza geomorfologica di un thrust attivo emergente evidenziatosi attraverso una scarpata di faglia che taglia EW i depositi superficiali quaternari da Casteggio a Sarmato.

Secondo questo studio la scarpata individuabile tra Sarmato e Montebello (PV) rappresenta il risultato dell'emergenza della faglia attiva immergente verso sud, il "thrust" di Stradella, che si estende verso est.

Occorre precisare come l'evidenza morfologica sostenuta dagli autori, si collochi in area interessata dalle divagazioni dell'alveo del Fiume Po durante il Pleistocene superiore, per cui potrebbe trattarsi di un caso di "convergenza morfologica" tra un elemento del paesaggio di origine tettonica e uno di natura puramente erosiva.

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 9 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 10 un estratto. (con la rappresentazione per classe di magnitudo Mw).

Gli eventi tellurici più significativi per l'area risalgono al 1951 (magnitudo 5,17 – epicentro Lodigiano), al 1952 (magnitudo 5,04 – epicentro Parmense), al 1986 (magnitudo 4,42 – epicentro Ferrarese), al 1991 (magnitudo 4,33 – epicentro Emilia occidentale) ed al 2005 (magnitudo 3,97 – epicentro Val Trebbia).

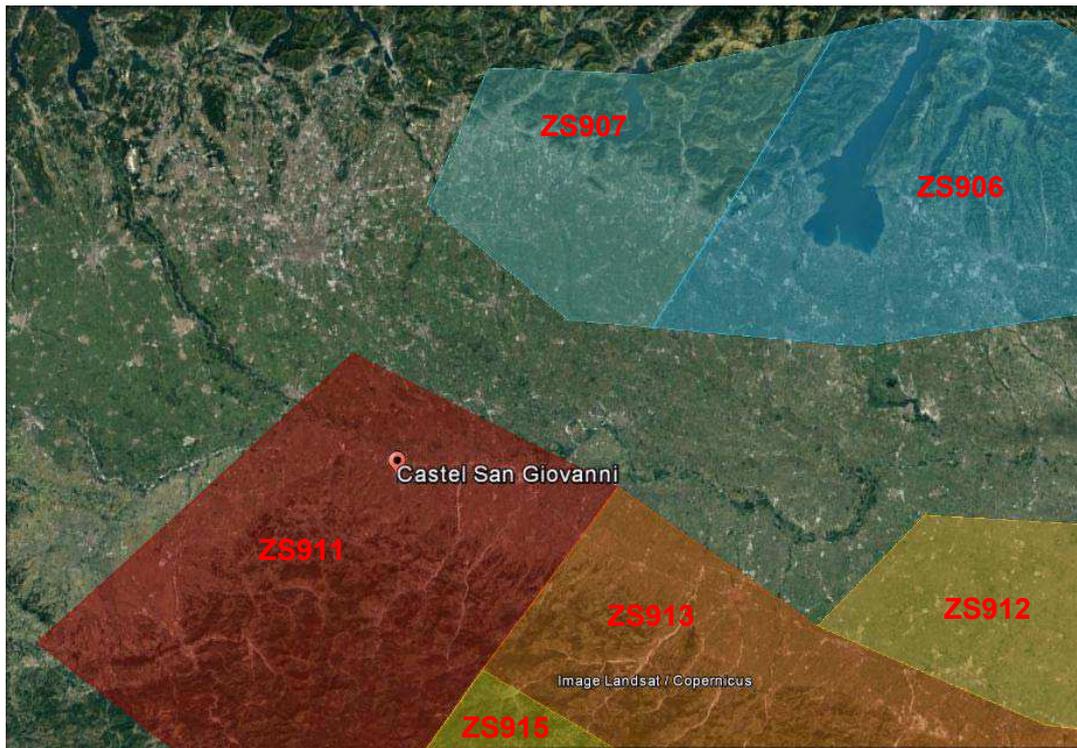


Figura 7 - Zonazione sismogenetica ZS9 – I.N.G.V. 2004

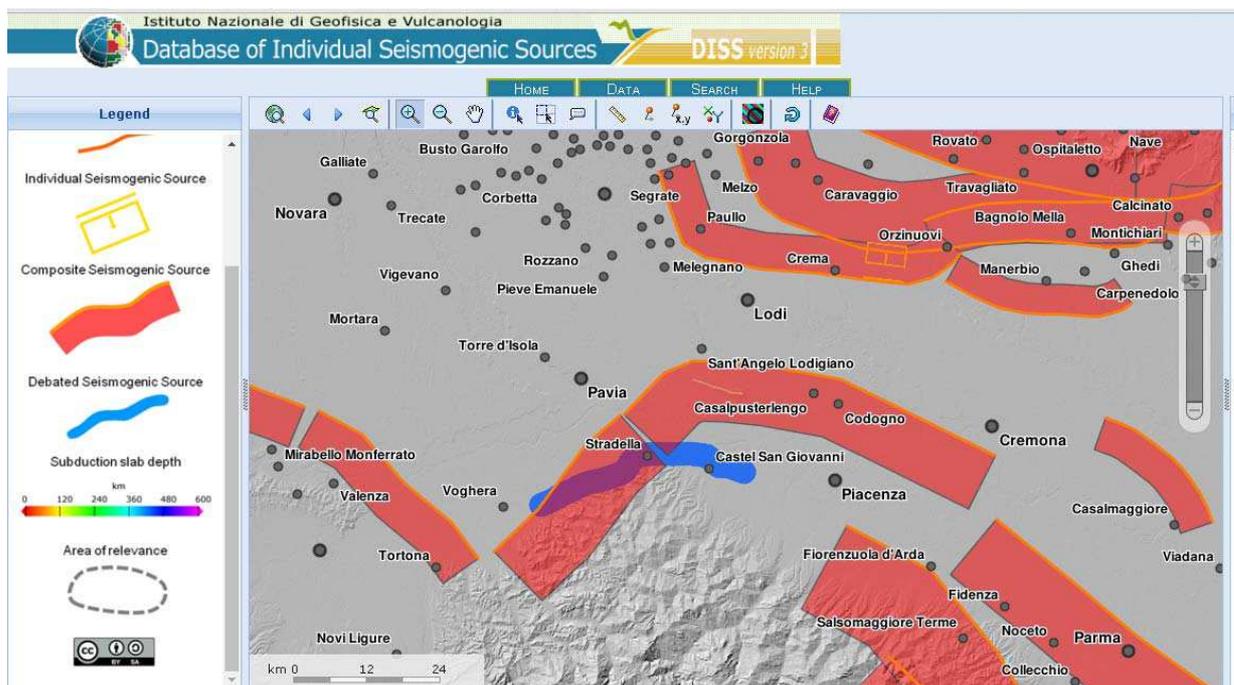


Figura 8 - Distribuzione delle sorgenti sismogenetiche contenute in DISS 3.2.1, rappresentate in colore arancione; in colore blu sono rappresentate le sorgenti

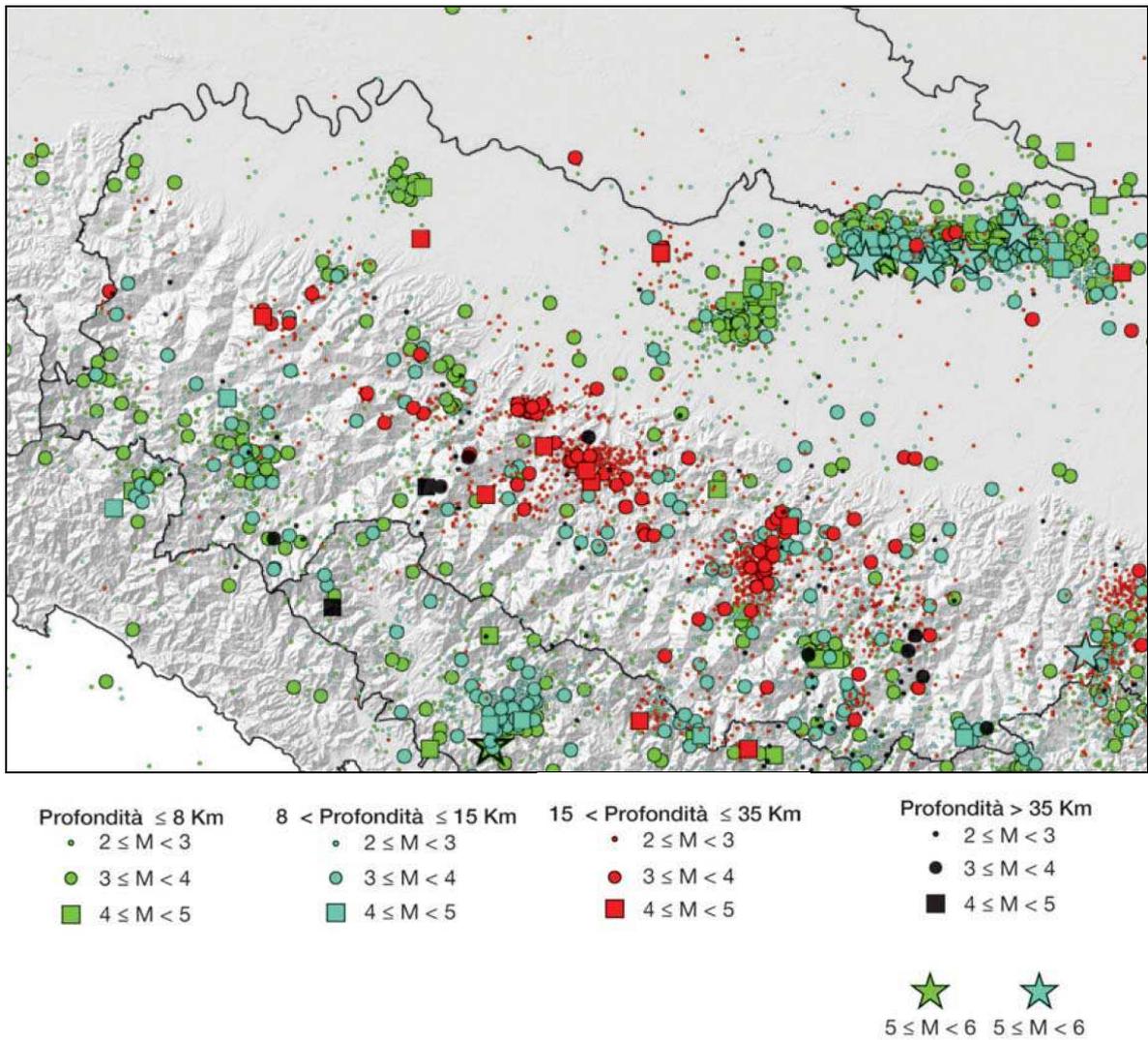


Figura 9 - Mappa dei terremoti strumentali $M \geq 2$; la dimensione del simbolo e proporzionale alla magnitudo, il colore indica la profondità ipocentrale (fonte Carta Sismotettonica della Regione E.R. – Servizio Geologico Regionale – 2017)

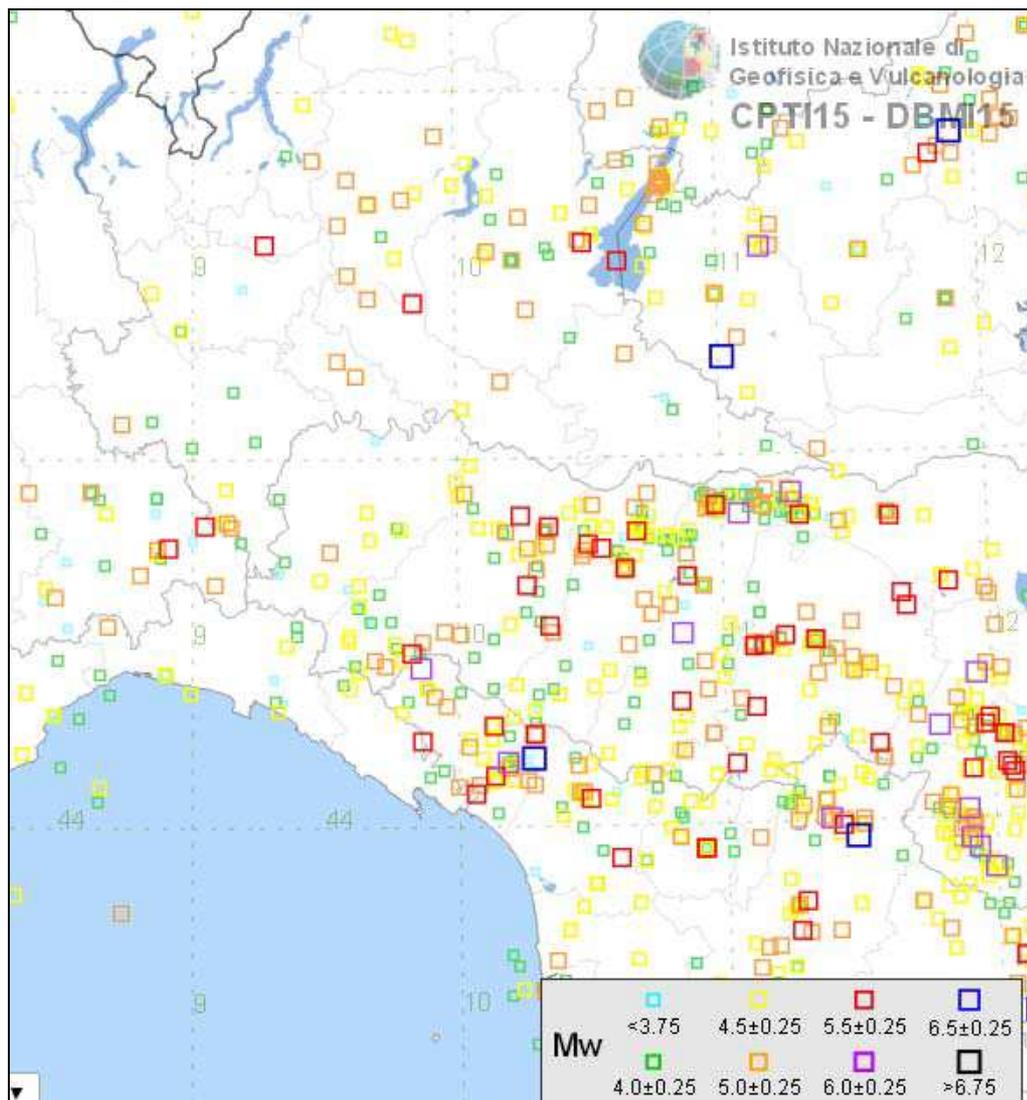


Figura 10 - Distribuzione degli epicentri (anni dal 1000 al 2014) per classi di magnitudo relativa al Catalogo CPT15. Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016. CPT15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPT15>

Sarmato

PlaceID IT_35570
 Coordinate (lat, lon) 45.060, 9.490
 Comune (ISTAT 2015) Sarmato
 Provincia Piacenza
 Regione Emilia-Romagna
 Numero di eventi riportati 5

Effetti		In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw	
6	1951	05	15	22	54		Lodigiano	179	6-7	5.17	
NF	1986	12	06	17	07	1	Ferrarese	604	6	4.43	
NF	2002	11	13	10	48	0	Franciacorta	768	5	4.21	
NF	2005	04	13	18	46	0	Valle del Trebbia	163	4	3.68	
NF	2005	04	18	10	59	1	Valle del Trebbia	284	4	3.97	

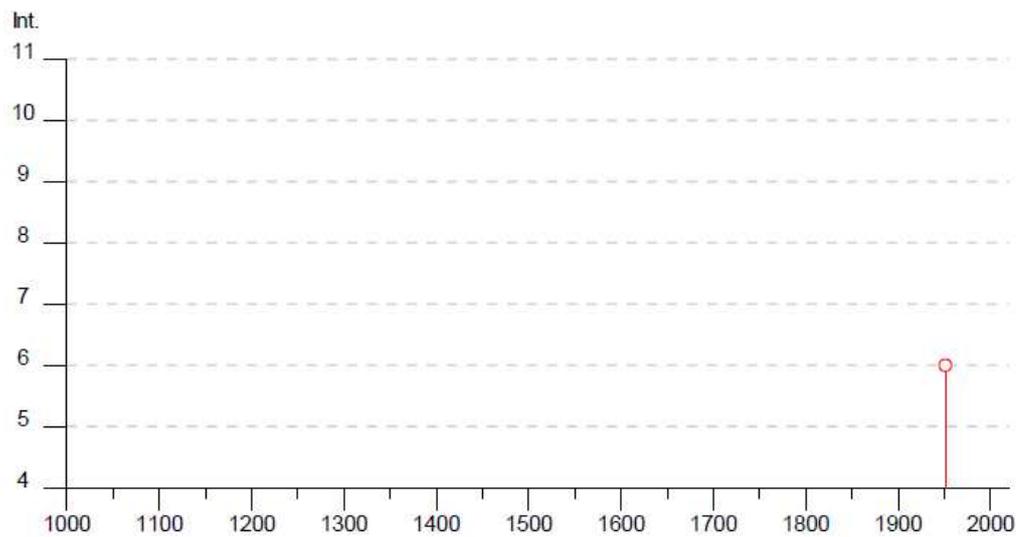


Figura 11 - Principali terremoti storici registrati a Sarmato e relativa intensità macrosismica (fonte INGV).

3.5 - Classificazione sismica

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

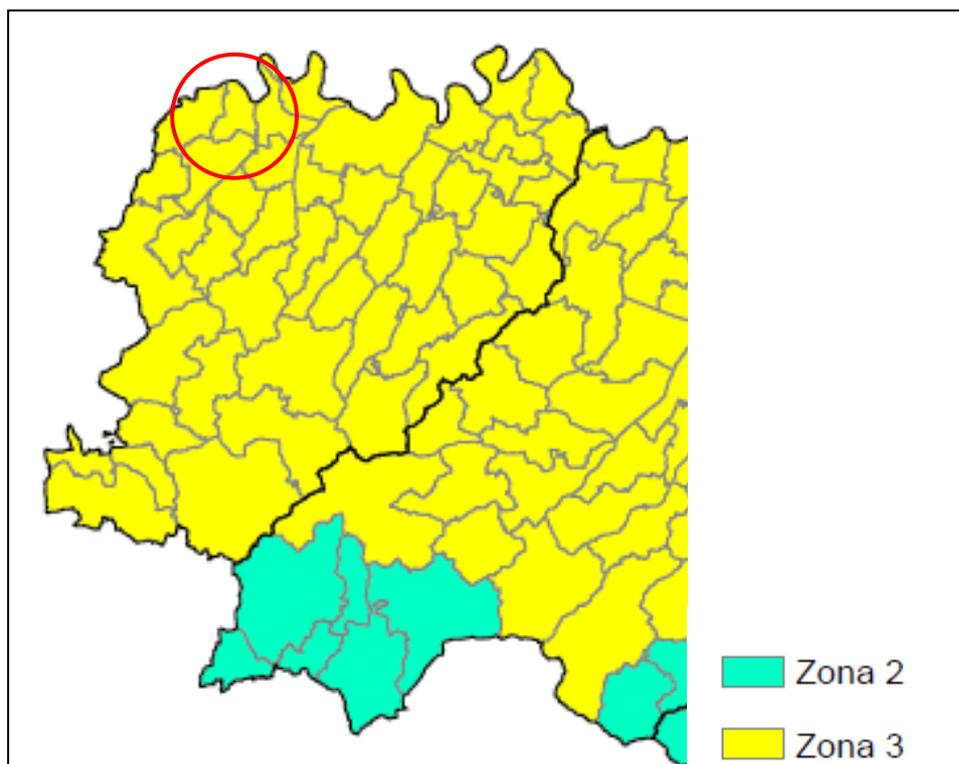


Figura 12 - Classificazione sismica del territorio regionale DGR 1164/2018

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 Sarmato, evidenziato in figura dal cerchio rosso, appartiene alla fascia caratterizzata da valori **0,075-0,100 g**.

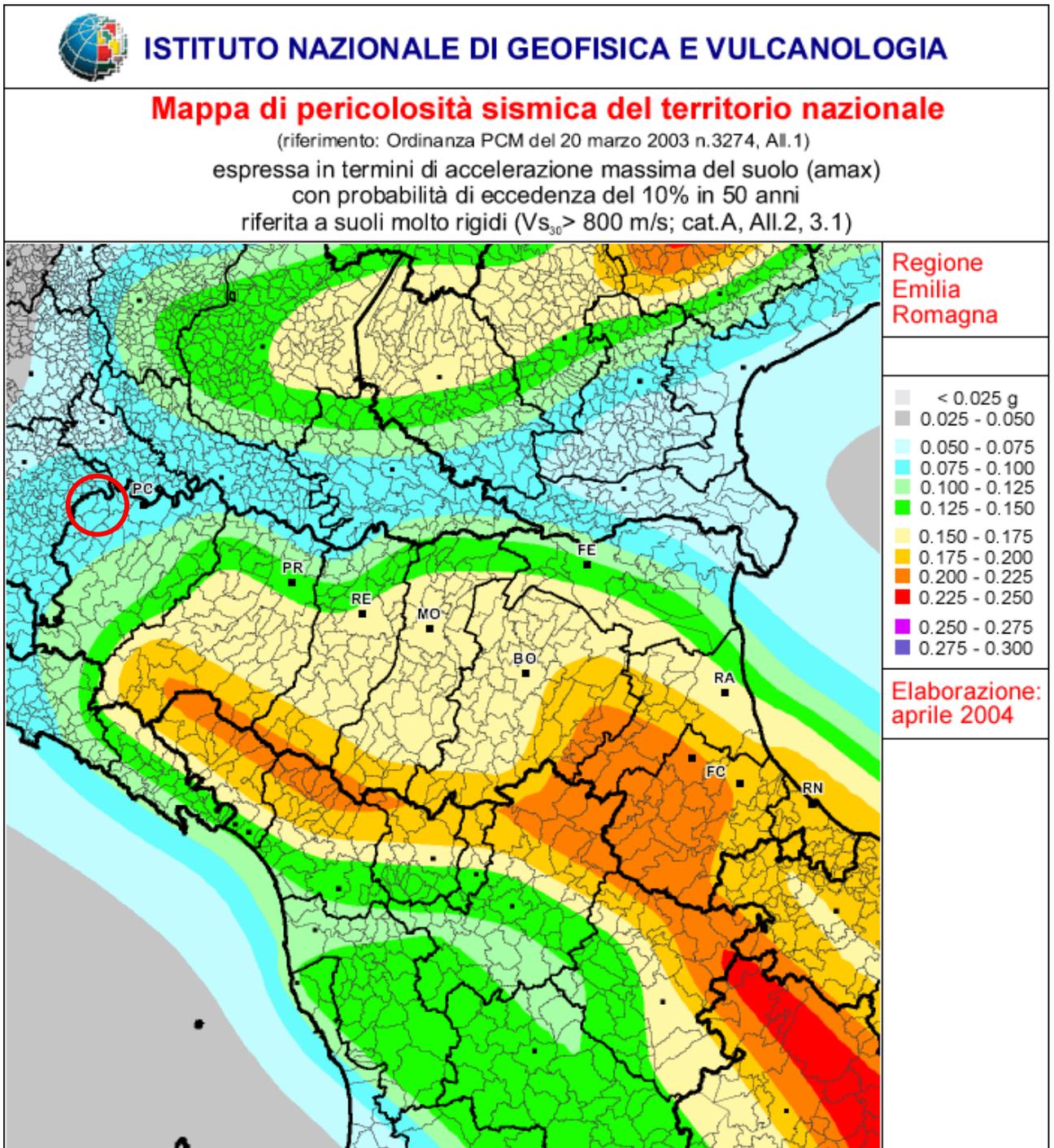


Figura 13 - Mapa di pericolosità sismica in termini di a_{max} (INGV 2004)

4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

Il territorio comunale di Sarmato è sommariamente suddivisibile, sotto il profilo geologico, nella fascia di alta pianura, interessante la porzione centro-meridionale, associata alla deposizione di sedimenti alluvionali di origine appenninica e nella fascia di bassa pianura, a nord, riferibile all'attività deposizionale ed erosiva del Fiume Po.

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 paralic 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

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 riferibili al territorio comunale di Sarmato è descritta di seguito .

AES8a - Unità di Modena

Sabbie prevalenti e subordinate ghiaie e ghiaie sabbiose, ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua, riferibile ad ambiente di piana fluviale meandriforme del Fiume Po; alla stessa unità appartengono i depositi dei terrazzi alluvionali della valle del Torrente Tidone, costituiti da sabbie limose e ghiaie in lenti irregolari.

Lo spessore massimo dell'unità è di alcuni metri; ambiente di piana fluviale meandriforme. Olocene; post IV-VII sec. d.C.

AES8 - Subsistema di Ravenna

Ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati con copertura discontinua di limi argillosi e limi e limi sabbiosi. Depositi di conoide ghiaiosa e depositi di interconoide rispettivamente. Lo spessore massimo dell'unità è inferiore a 20 metri. Pleistocene superiore - Olocene; post circa 18.000 anni B.P.

AES7a - Unità di Niviano

Unità costituita da ghiaie e ghiaie sabbiose di colore grigio-nocciola, giallo-rossastro all'alterazione (depositi di conoide alluvionale) e da depositi fini dati da limi stratificati, grigio-nocciola, giallo-ocracei all'alterazione, con subordinati livelli di ghiaie e sabbie (depositi di interconoide). L'unità presenta una copertura fine, composta, dello spessore massimo di 4 m, costituita da limi e limi argillosi giallastri contenenti manufatti del Paleolitico medio. Spessore massimo di circa 25-30 metri. Pleistocene superiore

Dal punto di vista geomorfologico, nel territorio comunale di Sarmato si distinguono due macro unità, rappresentate dall'ambiente della zona pedecollinare appenninica nel settore meridionale e dall'ambiente di pianura alluvionale a nord.

L'ambiente di piana alluvionale si differenzia in :

aree dell'alta pianura, caratterizzate dai paesaggi morfologici delle conoidi più antiche e dai paesaggi perifluviali dell'alta pianura emiliana; .il limite settentrionale della fascia di alta

pianura è rappresentato da un'evidente scarpata morfologica, che nella zona ad ovest di Sarmato raggiunge un'altezza di circa 10 m. rispetto alla piana sottostante.

aree della bassa pianura, in cui si individua un'antica depressione morfologica compresa tra la pianura pedemontana e la fascia a meandri del Fiume Po, che occupa il settore nord-orientale prossimo al corso d'acqua.

Tra le forme paleofluviali rinvenibili nel territorio comunale, rientrano le tracce di idrografia abbandonata individuabili sia nelle zone pianeggianti (in questo scarsamente visibili) sia in rilievo (dossi fluviali), probabilmente attribuibili o ad antichi percorsi fluviali, con caratteristiche geometriche sovradimensionate rispetto a quelle attuali, o ad idrografia secondaria di età più recente.

In particolare nella fascia di meandreaggiamento del Fiume Po, si individuano alcuni tracciati di paleomeandri, che caratterizzano con tipico andamento arcuato il settore di bassa pianura a sud del corso d'acqua.

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° 22 misurazioni di rumore sismico a stazione singola distribuite nell'ambito del territorio urbanizzato e urbanizzabile.
- n° 10 prospezioni sismiche Masw (Multichannel Analysis Surface Waves) e ReMi (Refraction Microtremor) finalizzate alla definizione dei profili di Vs.

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	Archivio ISPRA	Totale
Prove penetrometriche pesante	13				13
Prove penetrometriche superpesante	18				18
Prove penetrometriche a punta meccanica	43				43
Sondaggi geognostici a carotaggio continuo	17				17
Trincee esplorative	15				15
Pozzi idrici	7	38		18	63
Prove REMI	1		1		2
Prove MASW	11		9		20
Prove HVSR	2		22		24

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. 14).

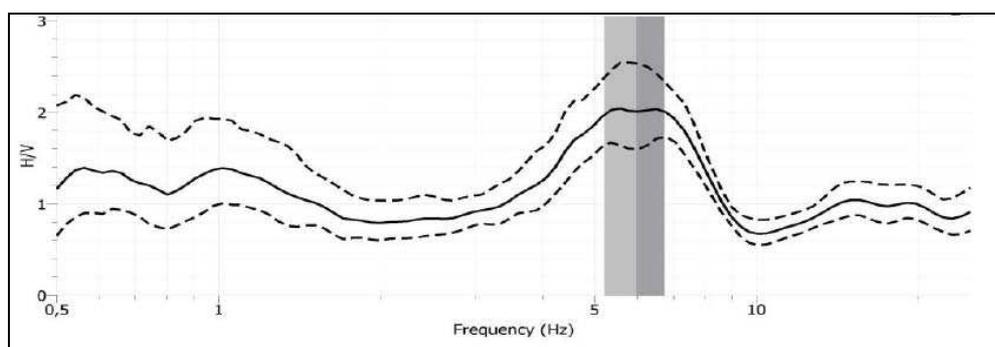


Figura 14 - Esempio di curva H/V della prova 033013P5

Ad integrazione delle indagini geofisiche disponibili sono state effettuate n°10 prospezioni sismiche impiegando la tecnica MASW (n°9) e REMI (n°1), 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 Sarmato è caratterizzato dalla presenza di sedimenti alluvionali la cui deposizione è avvenuta tra la fine del Pleistocene e l'Olocene medio-inferiore, costituiti da argille, limi con intercalazioni di sabbie e sabbie ghiaiose riferibili al Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore, rappresentato dall'Unità di Modena (AES8a), Subsistema di Ravenna (AES8), Unità di Niviano (AES7a) e Subsistema di Agazzano (AES3).

Per una migliore comprensione del modello geologico locale, è stato possibile fare riferimento alle sezioni idrogeologiche (Fig. 16) derivate dal Quadro Conoscitivo del PSC, il

cui tracciato è rappresentato nella figura 15, realizzate impiegando le stratigrafie dei pozzi disponibili.

Anche in riferimento alle informazioni contenute nello studio commissionato dalla Regione Emilia Romagna, ENI - AGIP "Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia Romagna", pubblicato nel 1998, la base del primo ciclo sedimentario (Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore - SERS), si estende in modo degradante da sud-ovest verso nord-est, dal margine collinare verso l'asse padano, passando da profondità di 30-40 m fino a circa 50-60 m. dalla superficie al limite nord-est del territorio comunale .

Lo spessore cumulativo dei livelli permeabili mediamente minore di 20 m. tende ad aumentare procedendo in direzione della valle del Fiume Po, in relazione all'aumento dei sedimenti sabbiosi legati alla sedimentazione del corso d'acqua.

Sulla base dei dati a disposizione il Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore (SERI) non si ritrova nel settore indagato; la struttura dei corpi acquiferi risulta, infatti, condizionata dalla presenza dell'alto strutturare corrispondente all'allineamento " Sperone di Stradella" - Colle di San Colombano, collocato poco a ovest del territorio di Sarmato, dove si verifica un sollevamento della struttura appenninica che determina un assottigliamento del materasso alluvionale della valle padana, come ben si evidenzia nella sezione riportata nella Figura 18 derivata da Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna ed aree limitrofe (2016) – Servizio Geologico RER.

In relazione agli studi idrogeologici condotti da Arpa nell'ambito del Piano di Tutela delle Acque sono distinguibili due complessi idrogeologici connessi a differenti sistemi deposizionali, riferibili alla conoide alluvionali "intermedia" del Tidone ed alla pianura alluvionale padana.

I due complessi trovano separazione in corrispondenza della scarpata morfologica, ben individuabile a nord dell'abitato di Sarmato, che separa i ripiani alluvionali più antichi connessi all'attività deposizionale dei corsi d'acqua appenninici dalla piana alluvionale riferibile all'attività del Fiume Po.

Al di sotto dei depositi alluvionali, costituiti da prevalenti sedimenti fini-limoso argillosi con intercalazioni ghiaiose, 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.

Nell'ambito dei depositi alluvionali meno recenti si segnalano localmente orizzonti ghiaiosi addensati di non elevata potenza, localmente conglomeratici, con moderati contrasti di impedenza.

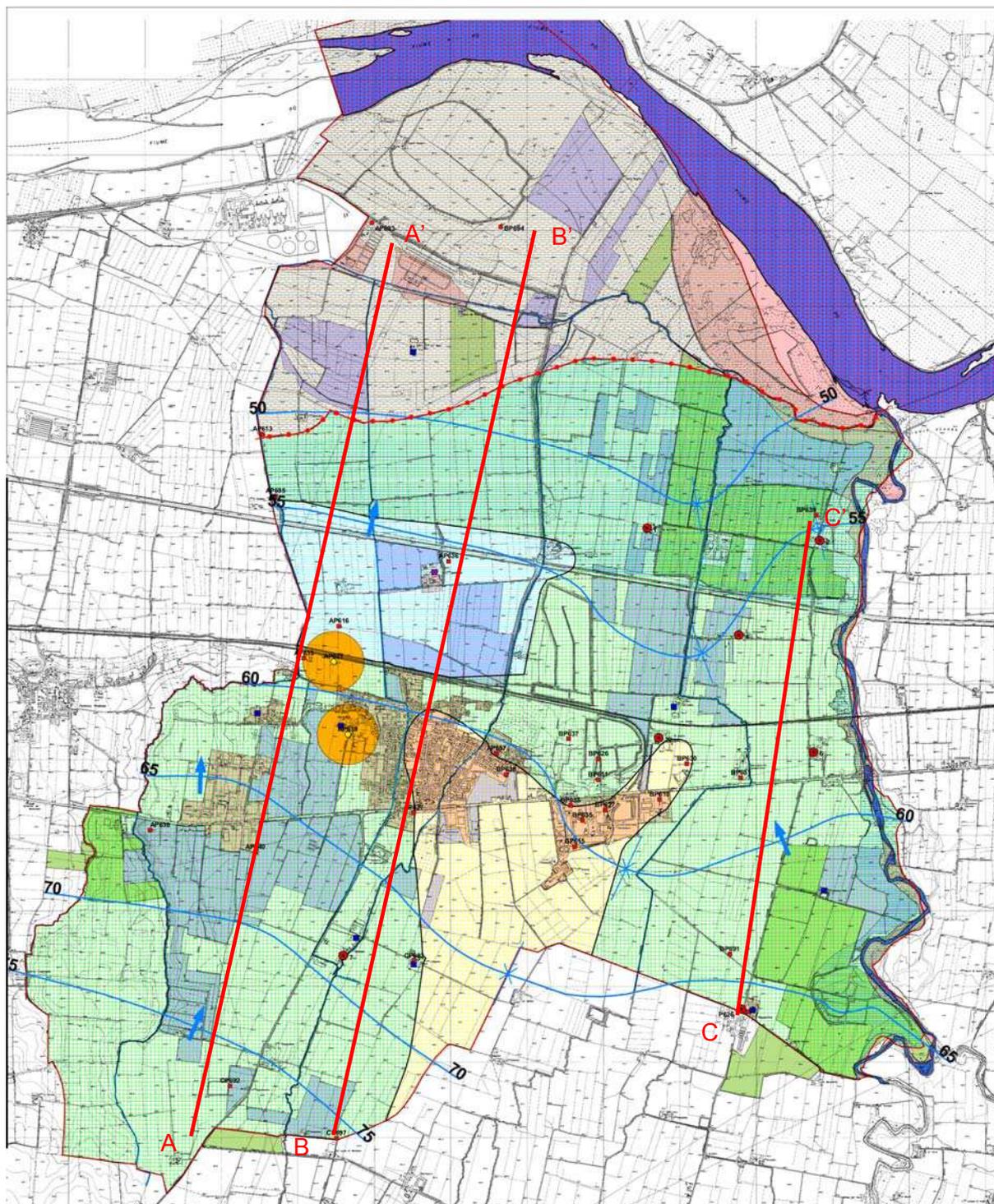


Figura 15 - Estratto Carta idrologica-idrogeologica e della vulnerabilità degli acquiferi – Quadro Conoscitivo PSC

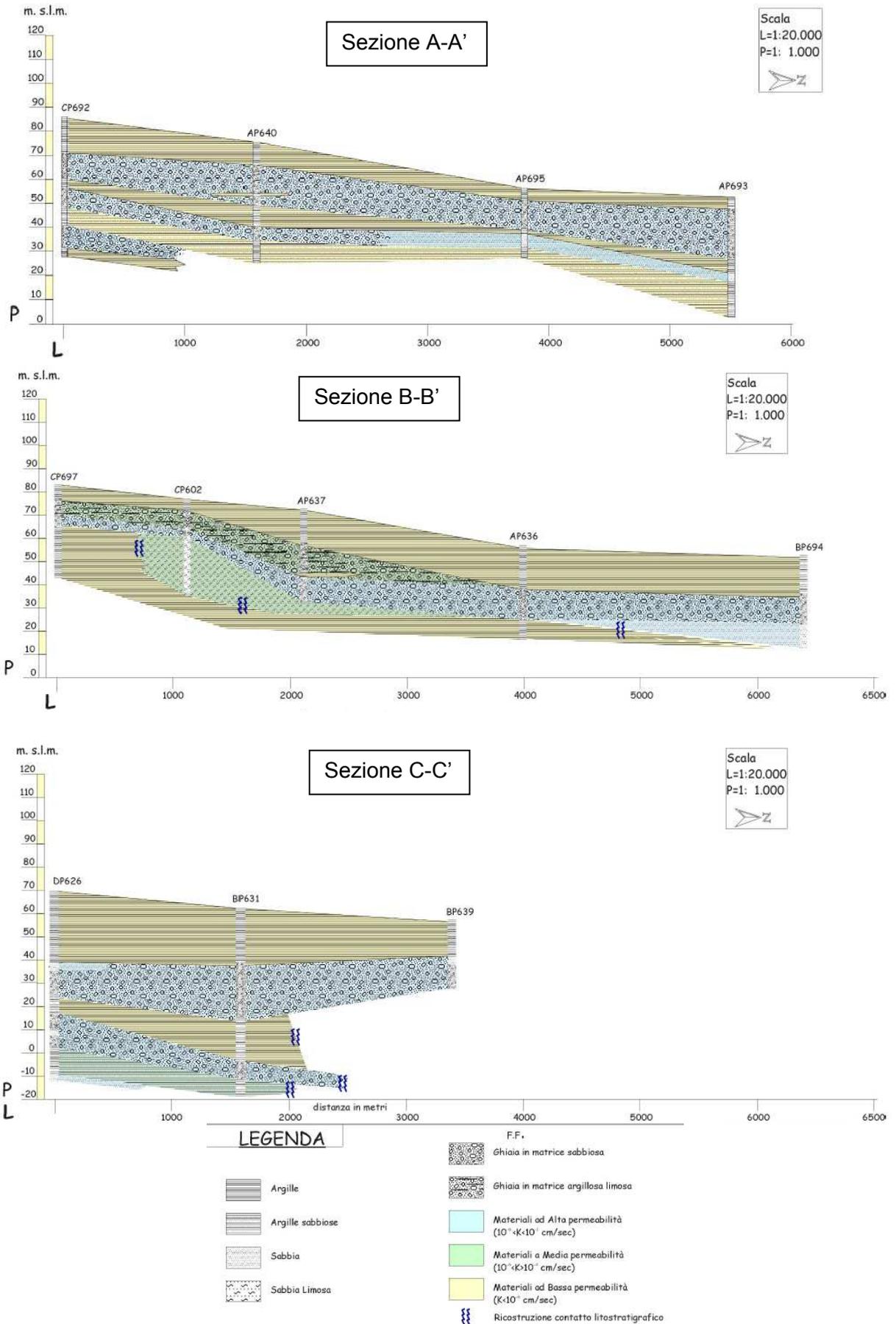


Figura 16 - Sezioni stratigrafiche territorio di Sarmato – da Quadro Conoscitivo PSC

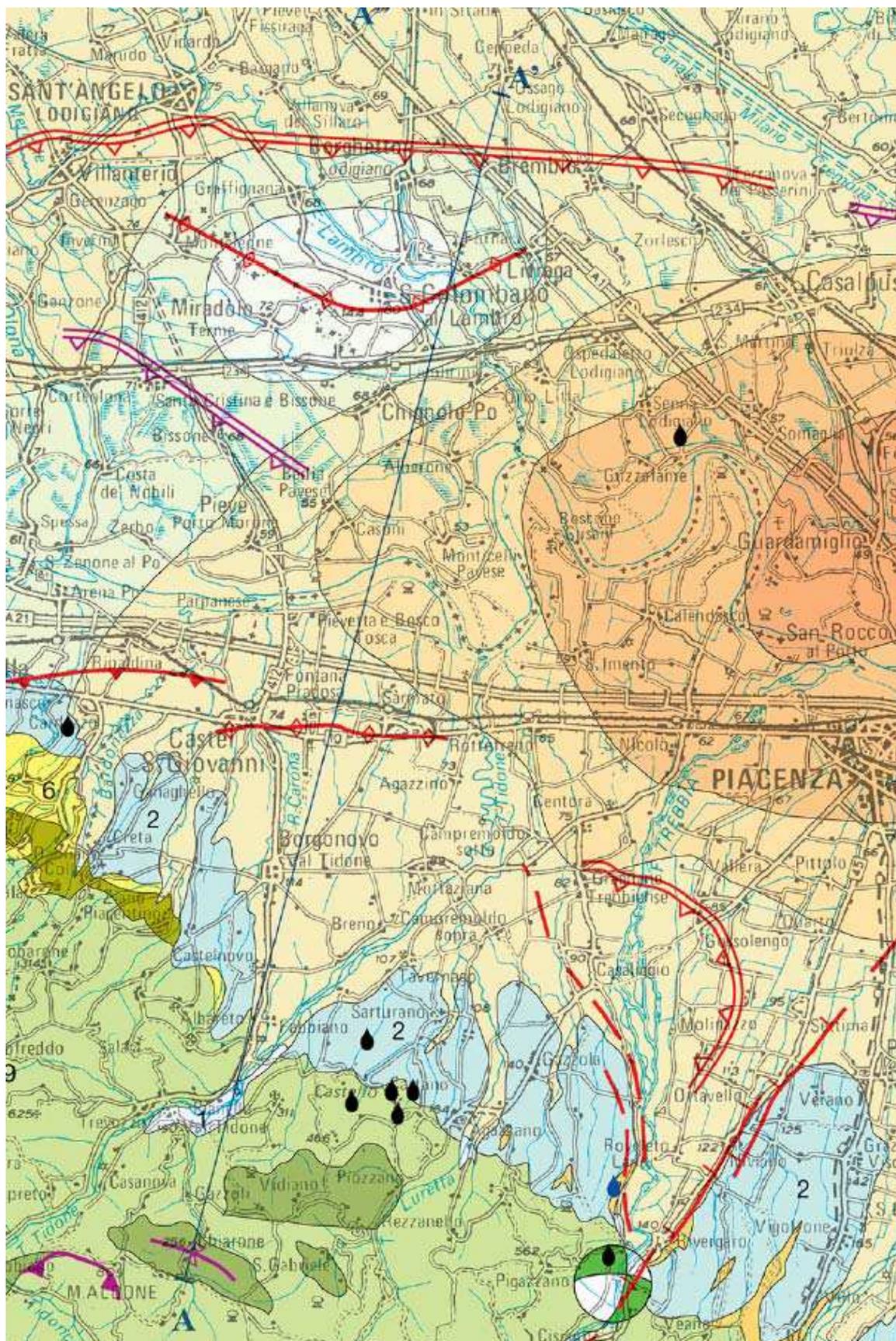


Figura 17 - Estratto Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna ed aree limitrofe (2016) – Servizio Geologico RER

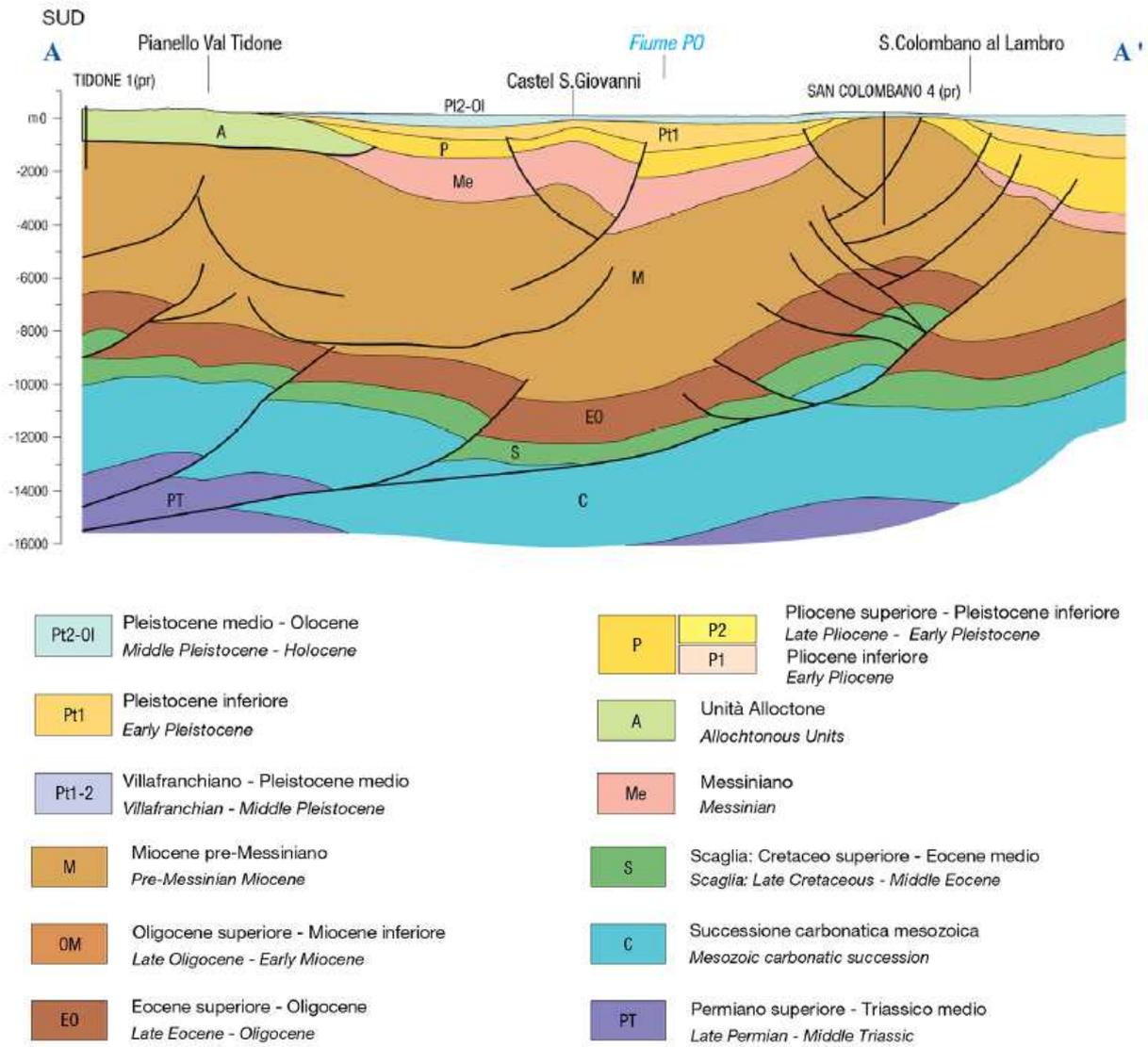


Figura 18 - Sezione strutturale territorio di Sarmato – da Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna ed aree limitrofe (2016) – Servizio Geologico RER

7 INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE

La caratterizzazione sismica del territorio comunale di Sarmato, pur tenendo conto della discreta uniformità dei risultati delle prove geofisiche di archivio e di nuova esecuzione, avrebbe potuto raggiungere una maggiore definizione disponendo di un numero più elevato di dati geofisici.

L'interpretazione delle indagini geofisiche, inoltre, risulta affetta da un grado di soggettività, che, in alcuni casi, in riferimento all'utilizzo delle indagini di archivio, non consente una precisa correlazione tra prove eseguite da tecnici diversi.

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 del rapporto dell'integrale dello spettro di risposta in accelerazione (SA/SA_0) che in velocità (SI/SI_0), per prefissati intervalli di periodi 0,1-0,5 s, 0,4-0,8 s, 0,7-1,1 s e 0,5–1,5 s. Per la definizione dell'amplificazione sono state utilizzate le tabelle e le formule indicate nell'All. 2 degli Indirizzi regionali di cui alla DGR 630/2019.

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 sismiche pregresse	Indagini geognostiche pregresse
 MASW	 Prova penetrometrica statica CPT
 REMI	 Prova penetrometrica dinamica DPSH
 HVSr	 Prova penetrometrica dinamica superpesante DS
Indagini sismiche per Studio MS	 Pozzo idrico
 MASW (identificativo in colore rosso)	 Sondaggio a carotaggio continuo
 REMI (identificativo in colore rosso)	 Stratigrafia zona MS
 HVSr (identificativo in colore rosso)	 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 della 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 Sarmato;
- "Carta Geologica d'Italia" alla scala 1: 100.000;
- "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.

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:

- GW Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaie e sabbie. Depositi delle alluvioni attuali e recenti del Fiume Po.
- GM Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo : depositi degli alvei dei corsi d'acqua appenninici (Torrente Tidone).
- GC Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e limo : corrispondono ad un paleopercorso fluviale del Torrente Tidone.
- SW Sabbie pulite e ben assortite, sabbie ghiaiose, riferibili alla fascia di meandreggiamento del Fiume Po.
- ML Limi inorganici, sabbie fini limose o argillose, limi inorganici di bassa plasticità. Depositi antichi di piana alluvionale caratterizzati da orizzonte superficiale limoso-argilloso di spessore variabile, seguito da orizzonti prevalentemente sabbiosi e sabbioso ghiaiosi.
- CL Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose. Rappresentano buona parte del territorio comunale, riferibile ai depositi di conoide pedemontana e di terrazzo antico, Alternanza di sedimenti limoso argillosi prevalenti con intercalazioni di lenti ghiaioso sabbiose, localmente conglomeratiche

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

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

Nella Carta geologico tecnica sono stati inoltre riportati :

- la profondità in metri della falda misurata negli areali con sabbie e/o ghiaie, relativamente a rilievo freaticometrico disponibile (Amm.Provinciale di Piacenza anno 1977).

9.3 - Carta 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.

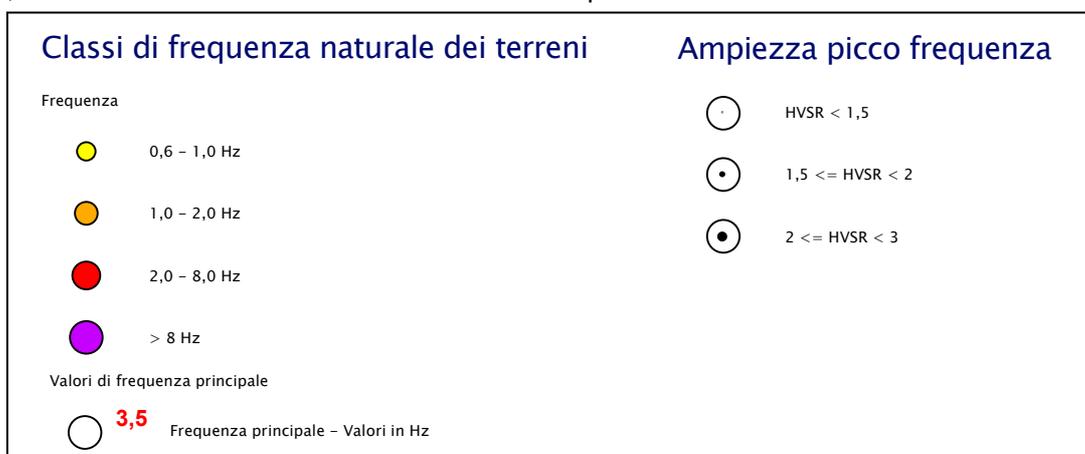
Nella carta sono riportati i punti di misura eseguiti per il presente studio, con associati i risultati delle singole prove. In particolare, sono stati indicati il valore F_0 del picco significativo, corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale (frequenza principale) e, quando presente, di un secondo picco significativo (frequenza secondaria), meno evidente del primo (F_1).

Gli indirizzi tecnici contenuti nella DGR 3690/2019, 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 tomografiche, 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
033042P172	2004	12.47	2.22	SI
033042P173	2004	15.45	2.06	NO
033042P174	2004	6.55	1.90	SI
033042P175	2004	5.60	1.81	NO

033042P176	2004	6.38	2.45	SI
033042P177	2002	3.34	0.84	NO
033042P178	2004	0.79	0.92	NO
033042P179	2004	16.50	1.24	NO
033042P180	2004	15.72	1.01	NO
033042P181	2004	4.43	1.66	NO
033042P182	2004	15.77	1.64	NO
033042P183	2001	5.16	2.71	SI
033042P184	2004	5.12	1.32	NO
033042P185	2004	6.10	2.66	SI
033042P186	2004	5.85	2.40	SI
033042P187	2005	13.91	0.94	NO
033042P188	2004	10.18	1.41	NO
033042P189	2004	19.78	2.59	SI
033042P190	2002	3.35	1.58	NO
033042P191	2004	3.61	1.28	NO
033042P192	2002	9.88	1.61	NO
033042P193	2002	11.16	2.75	SI

L'esame dei risultati delle prove HVSR, nel complesso evidenzia la presenza di picchi H/V significativi, solo parzialmente di buona affidabilità in termini di rispetto dei criteri Sesame (circa 36 %), compresi nell'intervallo di frequenza 0,79-19,78 Hz, attribuibili alla presenza di contrasti di impedenza connessi con orizzonti ghiaiosi più addensati o localmente conglomeratici, che si ritrovano a profondità variabile nell'ambito dei depositi alluvionali dei settori di piana pedemontana e di bassa pianura.

Per quanto riguarda la zona 2001, la prova a disposizione evidenzia un picco significativo da mettere in correlazione a depositi ghiaiosi più addensati nell'ambito dei prevalenti sedimenti sabbiosi della fascia di meandreggiamento del Fiume Po.

Relativamente alla zona 2002, i picchi individuati sono indicativi di basso o moderato contrasto di impedenza, associabili al passaggio tra la copertura limoso-argillosa e gli strati sabbiosi sottostanti.

Nella zona 2003, di limitata estensione non sono disponibili prove.

Nella zona 2004 dove sono ubicate il maggior numero di prove HVSR, sono più frequenti picchi H/V compresi nell'intervallo 4-16 Hz con moderati contrasti di impedenza (ampiezza di picco H/V dell'ordine di 2) attribuibili a livelli ghiaiosi localmente conglomeratici di non elevata potenza, presenti a profondità variabili tra circa 4-10 m ricoperti da materiali prevalentemente fini limoso-argillosi.

La prova disponibile per la zona 2005 indica un picco indicativo di basso contrasto di impedenza (ampiezza H/V 0,94), attribuibile ad orizzonti ghiaiosi più addensati.

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.

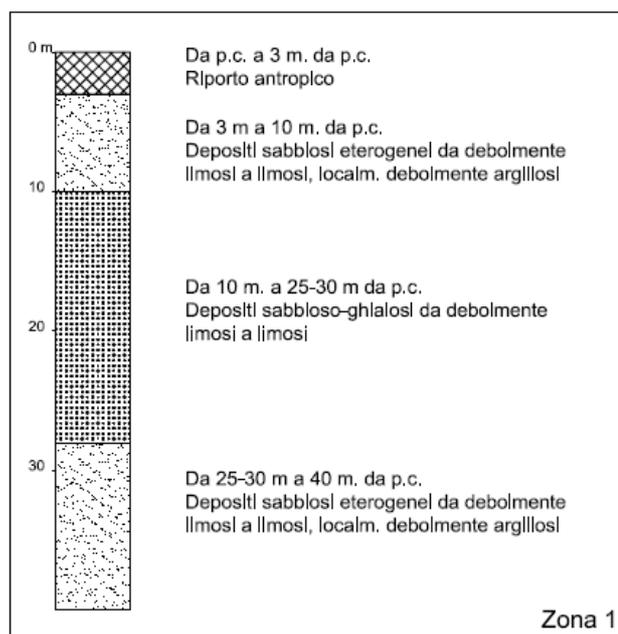
2. zone stabili suscettibili di amplificazioni locali. Si tratta di aree in cui sono attese amplificazioni del moto sismico, causate dall'assetto litostratigrafico e/o morfologico locale. In queste zone sono richiesti approfondimenti di secondo livello.

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.

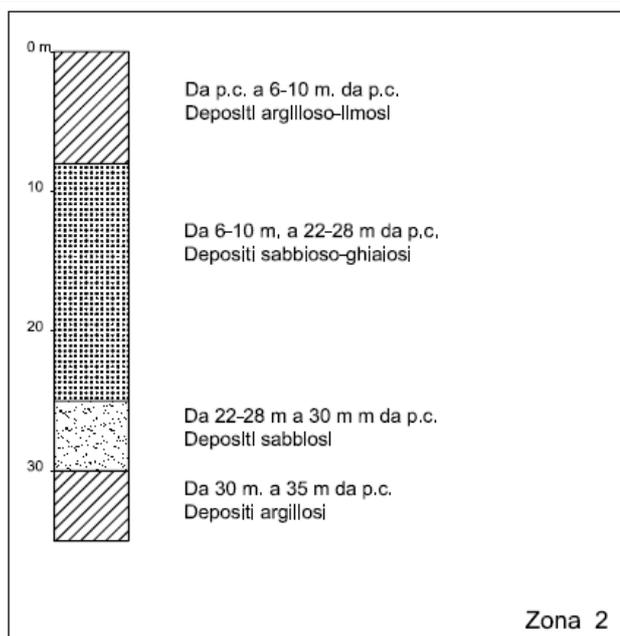
Dalla lettura delle Carte delle microzone omogenee in prospettiva sismica si osserva che, in corrispondenza delle aree esaminate in Comune di Sarmato, non è mai presente la categoria 1 – zone stabili.

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 litostratigrafiche, sono state identificate le seguenti 4 microzone omogenee, ognuna con un proprio profilo stratigrafico tipo riferito ai primi 40 m di sottosuolo :

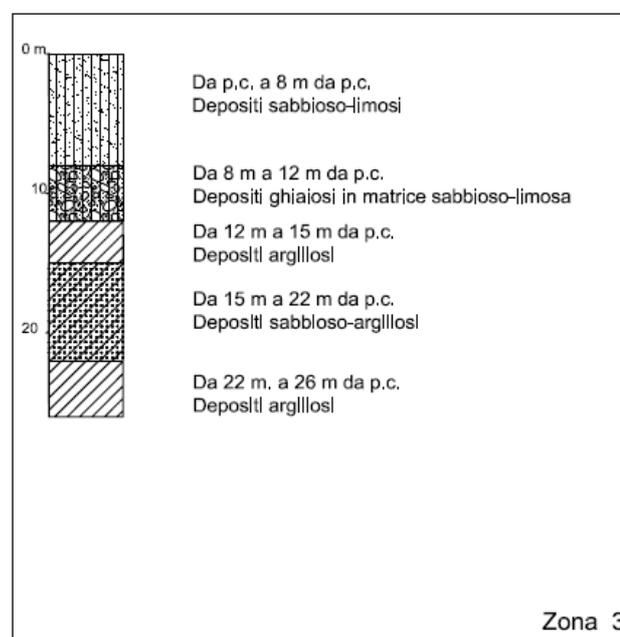
Zona 1 – Depositi della fascia di meandreggiamento del Fiume Po costituiti da sabbie ghiaiose e sabbie limose con copertura limoso-argillosa di potenza variabile.



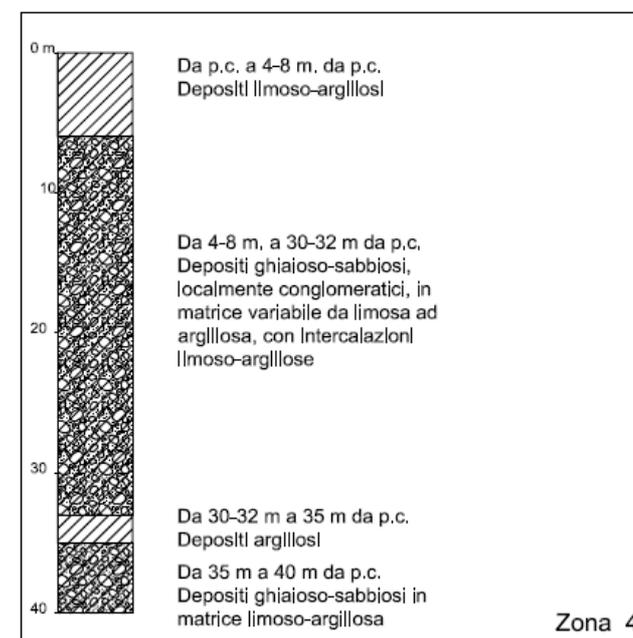
Zona 2 – Depositi di piana alluvionale costituiti da alternanze di argille limose e limi-sabbiosi, fino alla profondità di circa 8-15 m passanti a sabbie localmente ghiaiose, fino a profondità di circa 20-31 m, a cui seguono prevalenti argille.



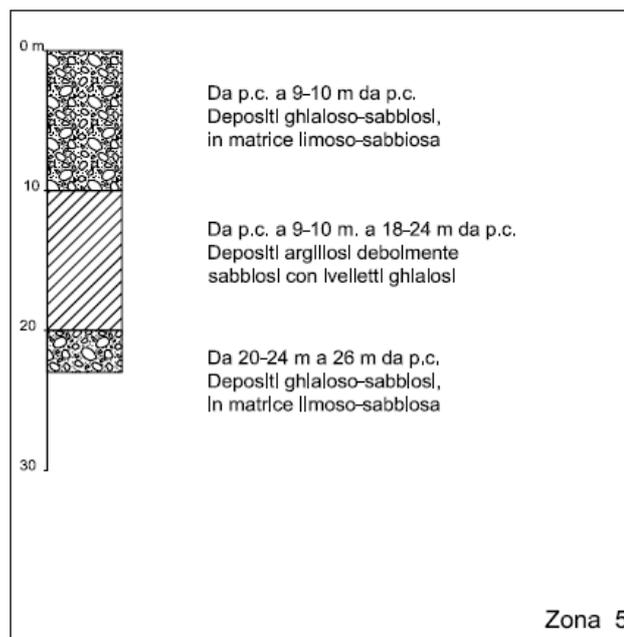
Zona 3 – Depositi di conoide pedemontana costituiti da limi-argillosi di potenza variabile (compresa tra 4-8 m), seguiti da strati ghiaioso-sabbiosi, localmente conglomeratici, in matrice variabile da limosa ad argillosa, estesi fino a profondità variabili tra 25-33 m, a cui seguono argille prevalenti.



Zona 4 – Depositi di terrazzo medio-recente costituiti da prevalenti sabbie limose, passanti ad alternanze di ghiaie argillose ed argille.



Zona 5 – Depositi di conoide pedemontana costituiti da ghiaia sabbiosa di potenza variabile (compresa tra 5-10 m) seguita da argilla sabbiosa estesa fino a profondità variabili tra 19-24 m, passanti a ghiaie grossolane in matrice argillosa.



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 di :

- spessore del deposito di copertura o profondità del substrato rigido (H);
- velocità equivalente delle onde di taglio per lo spessore considerato (V_{sH} e V_{s30}) del deposito di copertura

$$V_{sH} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N h_i / V_{s_i}}$$

dove N è il numero di strati del profilo sismico corrispondenti alla copertura, H è lo spessore totale (in m) dei terreni di copertura o profondità del tetto del substrato rigido,

h_i = spessore (in m) dello strato i -esimo (fino al substrato rigido),

V_{s_i} = velocità (in m/s) dello strato i -esimo (fino al substrato rigido);

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

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

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

V_{s_i} = 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 REMI.

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	Zona MOPS	Tipo indagine	Vs30 (m/s)
033042L1	2004	MASW	295
033042L2	2004	MASW	309
033042L3	2004	REMI	312
033042L4	2004	MASW	400
033042L5	2004	MASW	318
033042L6	2002	MASW	220
033042L7	2004	MASW	388
033042L8	2004	MASW	370
033042L9	2004	MASW	367
033042L10	2004	MASW	297
033042L11	2004	MASW	270
033042L12	2001	MASW	256
033042L13	2004	MASW	462
033042L14	2004	MASW	270
033042L15	2002	MASW	196
033042L16	2004	MASW	457
033042L17	2005	MASW	293
033042L18	2005	MASW	358
033042L19	2002	REMI	238
033042L20	2004	MASW	244
033042L21	2004	MASW	272
033042L22	2004	MASW	294

Nel complesso la zona 2001 risulta contraddistinta da sedimenti prevalentemente sabbiosi e sabbioso-limosi, con profili di velocità caratterizzati prevalentemente da valori di Vs30 dell'ordine di 256 m/s.

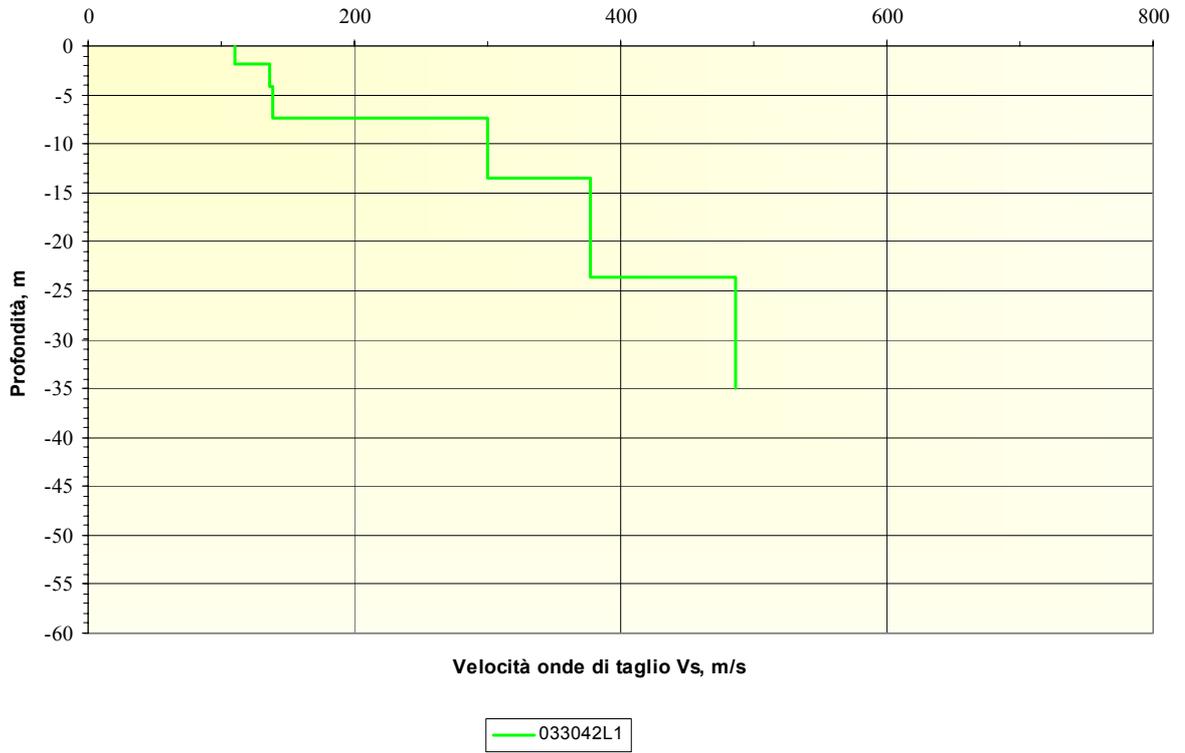
La zona 2002 è caratterizzata da profili di velocità con valori di Vs30 compresi mediamente tra 196-202 m/s, coerenti con la natura del sottosuolo di bassa pianura, costituito da prevalenti sedimenti limoso-argillosi con intercalazioni sabbiose, localmente ghiaiose.

Per la zona 2004 i valori di Vs30 variano mediamente tra 244-462 m/s con aumenti di velocità Vs determinata da orizzonti ghiaiosi addensati.

Per la zona 2005, i valori di Vs30 variano mediamente tra 293-358 m/s connessa alla presenza di orizzonti ghiaiosi ed argillosi di buona consistenza.

I profili di velocità delle onde di taglio per le zone MOPS di cui si dispongono profili di Vs sono rappresentati nei diagrammi di figure 18-19.

Sarmato - Zona 2001



Sarmato - Zona 2002

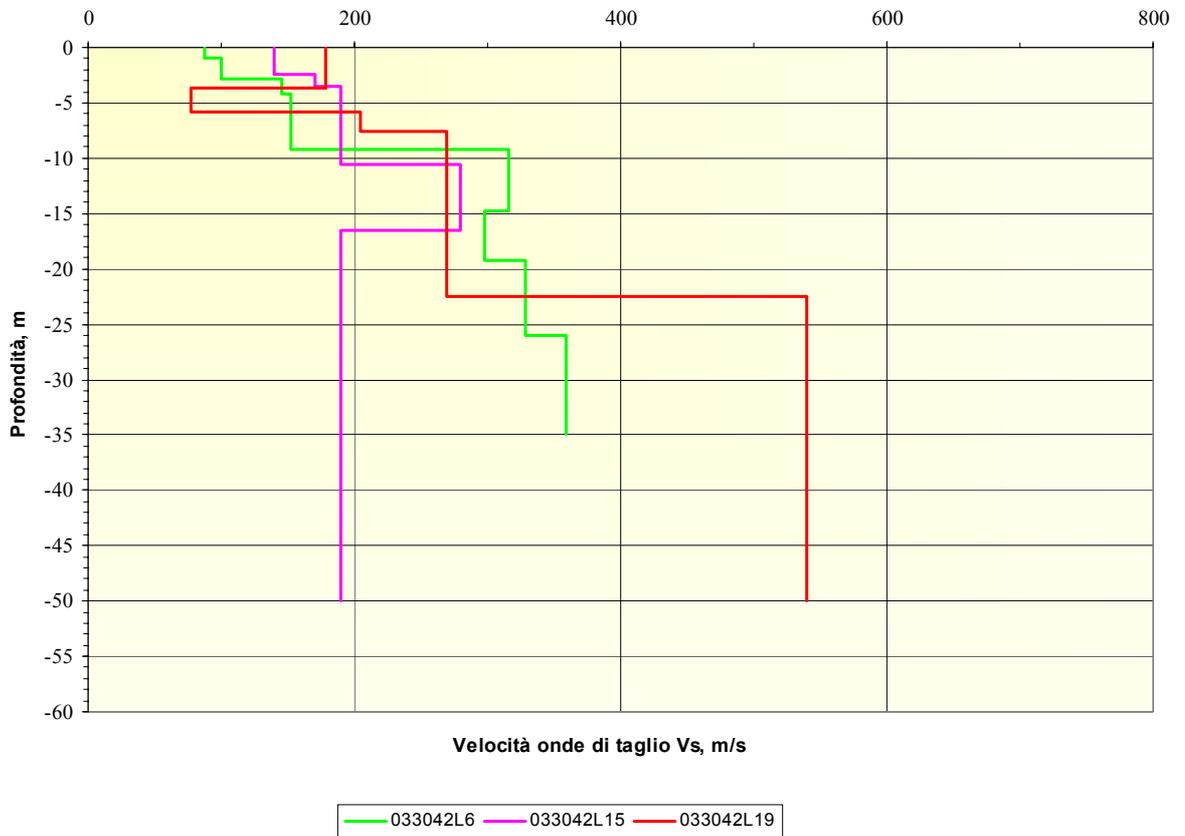


Figura 19 - Andamento profilo Vs per zone MOPS 2001 - 2002

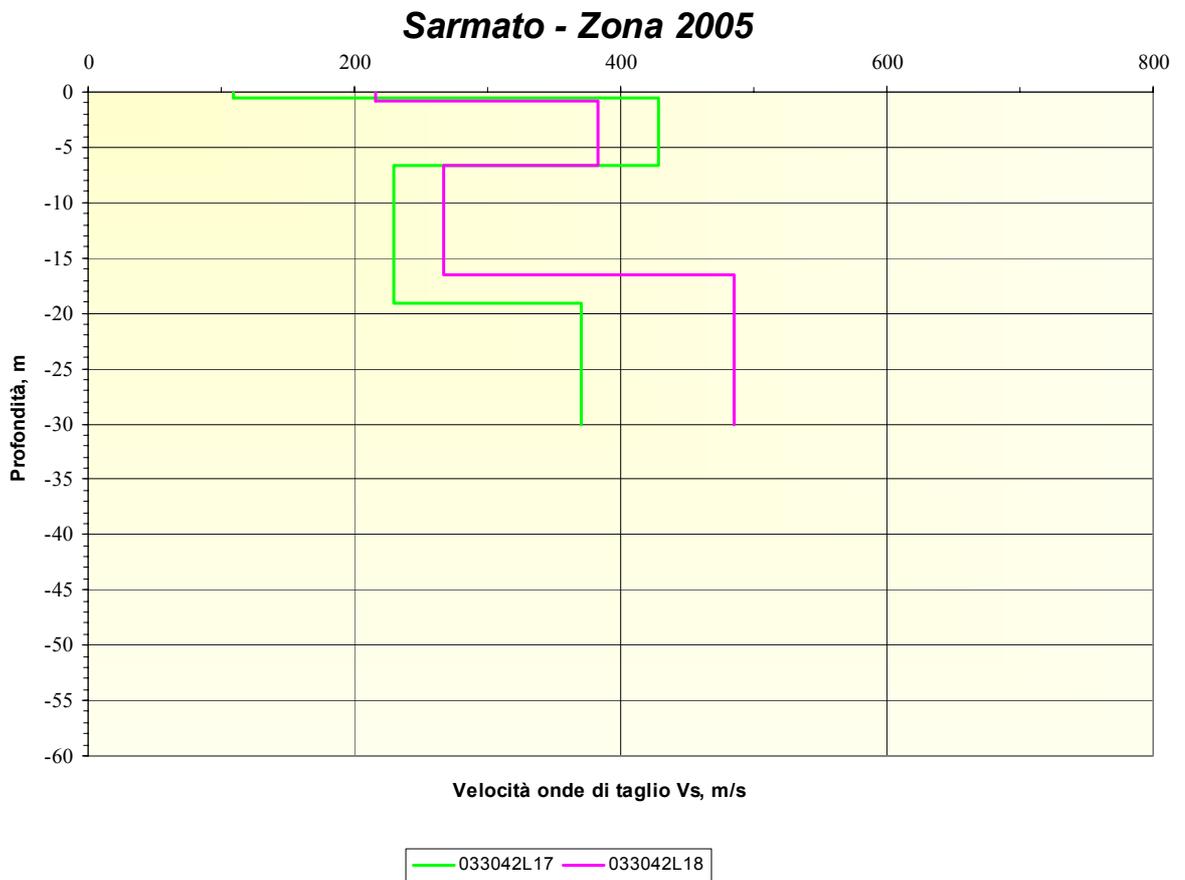
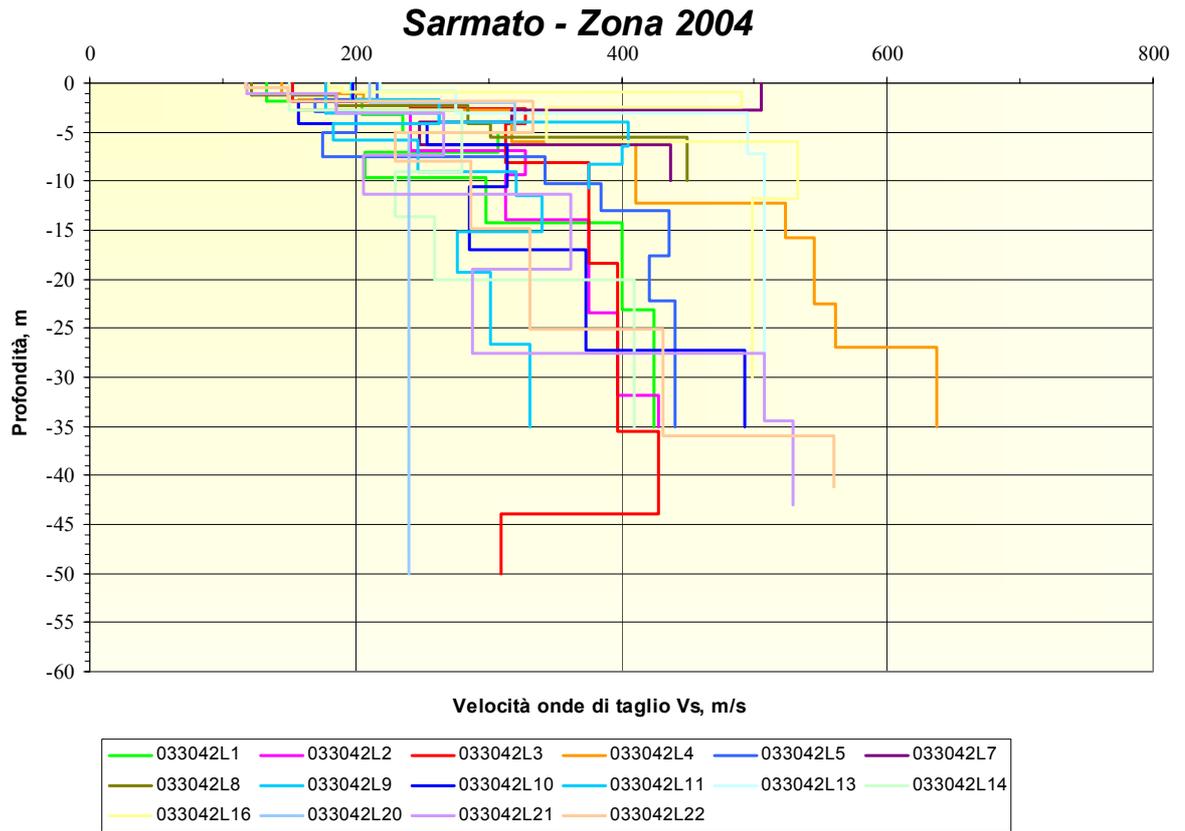


Figura 20 - Andamento profilo Vs per zone MOPS 2004 -2005

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.

I fattori di amplificazione calcolati per le aree oggetto di studio di approfondimento di 2° livello sono rappresentati nelle varie cartografie allegare allo studio (Tavole 7-13), secondo gli intervalli indicati negli Standard di rappresentazione, considerando le classi di quantificazione indicati dalla DGR 630/2019, comprendenti :

- FA PGA relativa all'accelerazione massima al tempo T_0
- FA SA1 - FA SA2 - FA SA3 – FA SA4 relativi ai quattro intervalli di integrazione dello spettro in accelerazione (0,1-0,5 s), (0,4-0,8 s), (0,7-1,1 s) e (0,5–1,5 s)
- FA SI1 – FA SI2 – FA SI3 relativi ai tre intervalli di integrazione dello spettro in velocità (0,1-0,5 s), (0,5-1,0 s) e (0,5–1,5 s).

I coefficienti di amplificazione sono stati stimati impiegando le tabelle e le formule dell'Allegato A2 (punti A2.1 e A2.2) della DGR 630/2019; gli ambienti geo-litologici definiti dall'Allegato A2 degli indirizzi regionali 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).

Come previsto dalla DGR 630/2019 è stata redatta la Carta della distribuzione sul territorio dei valori di H_{SM} , che esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2) secondo la seguente espressione :

$$H_{SM} = \frac{ASl_{UHS}}{\Delta T} \cdot FA$$

ove :

ASl_{UHS} : integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato per l'intervallo di periodi $0,1s \leq T \leq 0,5s$

$\Delta T = 0,4s$

FA = fattore di amplificazione in accelerazione nell'intervallo 0,1-0,5 s

Per i settori indagati nello studio di microzonazione sismica di livello 2 per il territorio di Sarmato, gli ambiti geo-litologici individuati sono quelli di Pianura 1 (riferibile al settore di bassa pianura), Margine di tipo B (comprendente il settore di alta pianura), di seguito elencati con i relativi abachi per la determinazione del fattore di amplificazione :

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.

V_{S30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
PGA	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6	1,5

Fattore di Amplificazione **PGA**

V_{S30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SA1	1,8	1,8	1,8	1,7	1,6	1,5
SA2	2,6	2,5	2,4	2,2	2,0	1,9
SA3	3,2	3,2	3,0	2,7	2,5	2,2
SA4	3,1	3,0	2,7	2,4	2,2	2,0

Fattori di Amplificazione **SA1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$), **SA2** ($0,4s \leq T \leq 0,8s$), **SA3** ($0,7s \leq T \leq 1,1s$), **SA4** ($0,5s \leq T \leq 1,5s$)

V_{S30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SI1	1,9	1,9	1,9	1,8	1,6	1,5
SI2	3,0	2,9	2,7	2,5	2,3	2,1
SI3	3,4	3,2	2,8	2,5	2,2	2,0

Fattori di Amplificazione **SI1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$), **SI2** ($0,5s \leq T \leq 1,0s$), **SI3** ($0,5s \leq T \leq 1,5s$)

MARGINE di tipo B: caratterizzato da spessore dei terreni superficiali fini o grossolani poco consolidati superiore a 30 m; la successione sottostante è costituita da alternanze di orizzonti grossolani e orizzonti fini;

V_{S30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
PGA	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,5

Fattore di Amplificazione **PGA**

V_{S30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SA1	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7	1,5
SA2	2,6	2,6	2,3	2,1	1,9	1,7
SA3	3,1	2,9	2,7	2,4	2,3	2,1
SA4	3,0	2,9	2,6	2,3	2,1	1,9

Fattori di Amplificazione **SA1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$), **SA2** ($0,4s \leq T \leq 0,8s$), **SA3** ($0,7s \leq T \leq 1,1s$) e **SA4** ($0,5s \leq T \leq 1,5s$)

V_{S30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SI1	1,9	1,9	1,9	1,8	1,7	1,6
SI2	2,9	2,8	2,5	2,3	2,1	2,0
SI3	3,3	3,1	2,7	2,4	2,2	2,0

Fattori di Amplificazione **SI1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$), **SI2** ($0,5s \leq T \leq 1,0s$), **SI3** ($0,5s \leq T \leq 1,5s$)

Per quanto riguarda gli effetti di amplificazione topografica non si prefigurano situazioni in cui valutare tale condizione sulla base delle procedure di cui all'Allegato A.2.2 della DGR 630/2019.

L'attribuzione dei fattori di amplificazione alla microzona omogenea sprovvista di profilo di velocità (Zona 2003) è stata eseguita in base a similarità litostratigrafiche e geologiche con microzone omogenee prossime.

Gli esiti della microzonazione in termini di amplificazione, ricavati con l'approccio semplificato (DGR 630/2019), 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

Zona	Ambiente geologico	FAPGA	FA0105	FA0408	FA0711	FA0515	FH0105	FH0510	FH0515	HSM
2001	Pianura 1	1,7	1,8	2,4	3,0	2,7	1,9	2,7	2,8	351
2002	Pianura 1	1,7	1,8	2,4-2,5	3,1-3,2	2,8-3,0	1,9	2,8-2,9	2,9-3,2	356-360
2003	Pianura 1	1,6-1,7	1,6-1,8	1,8-2,4	2,2-3,1	2,0-2,8	1,7-1,9	2,1-2,8	2,1-2,9	320-356
2004	Margine B	1,5-1,6	1,5-1,8	1,7-2,3	2,1-2,7	1,9-2,6	1,6-1,9	2,0-2,5	2,0-2,7	300-361
2005	Margine B	1.6	1.7	2.1	2.4	2.3	1.8	2.3	2.4	345

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

$$MSF = 6,9 - \exp\left(-\frac{M}{4}\right) - 0,038 \leq 1,8$$

- 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 Sarmato le verifiche di suscettibilità alla liquefazione sono state eseguite sfruttando prove penetrometriche a punta elettrica CPTe e piezocono CPTU, raccolte nell'archivio prove dell'adiacente settore della Centrale Elettrica La Casella ricadente in Comune di Castel San Giovanni (sigle 033013P418-430 della banca dati geognostica dello studio di Microzonazione Sismica), che garantiscono un elevato grado di affidabilità per la tipologia di verifica in oggetto; in particolare la verifica è stata eseguita impiegando la prova che risultava la più cautelativa (033013P420).

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 $M_w = 5.68$ (pari alla magnitudo momento massima attesa, M_{wmax} , per la zona 911, vedi zonazione sismogenetica ZS9, come indicato in ICMS, 2008);
- a_{gmax} suolo = 0,15 g tenendo conto di un'accelerazione pari a 0,091 per la zona 1 MOPS, moltiplicata per amplificazione F_a PGA pari a 1,7 per il settore in esame;
- quota piezometrica in condizioni di sisma saliente fino a -0,0 m dal piano campagna (per il sito di cui si dispongono le prove CPTe, il piano campagna risulta sopraelevato di 5 m dal p.c. originario);
- verifica fino alla quota raggiunta dalle prove penetrometriche.

Dal'elaborazione della verifica eseguita, si verificano solo localmente condizioni per il verificarsi di fenomeni di liquefazione, in quanto il fattore di sicurezza F_s risulta generalmente complessivamente superiore a 1,0; 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 pari a 0,175, 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 21, anche in riferimento alle linee guida di cui alla DGR 630/2019, non si ritiene necessario individuare zone di attenzione per liquefazione nel territorio oggetto del presente studio di microzonazione sismica di 2° livello.

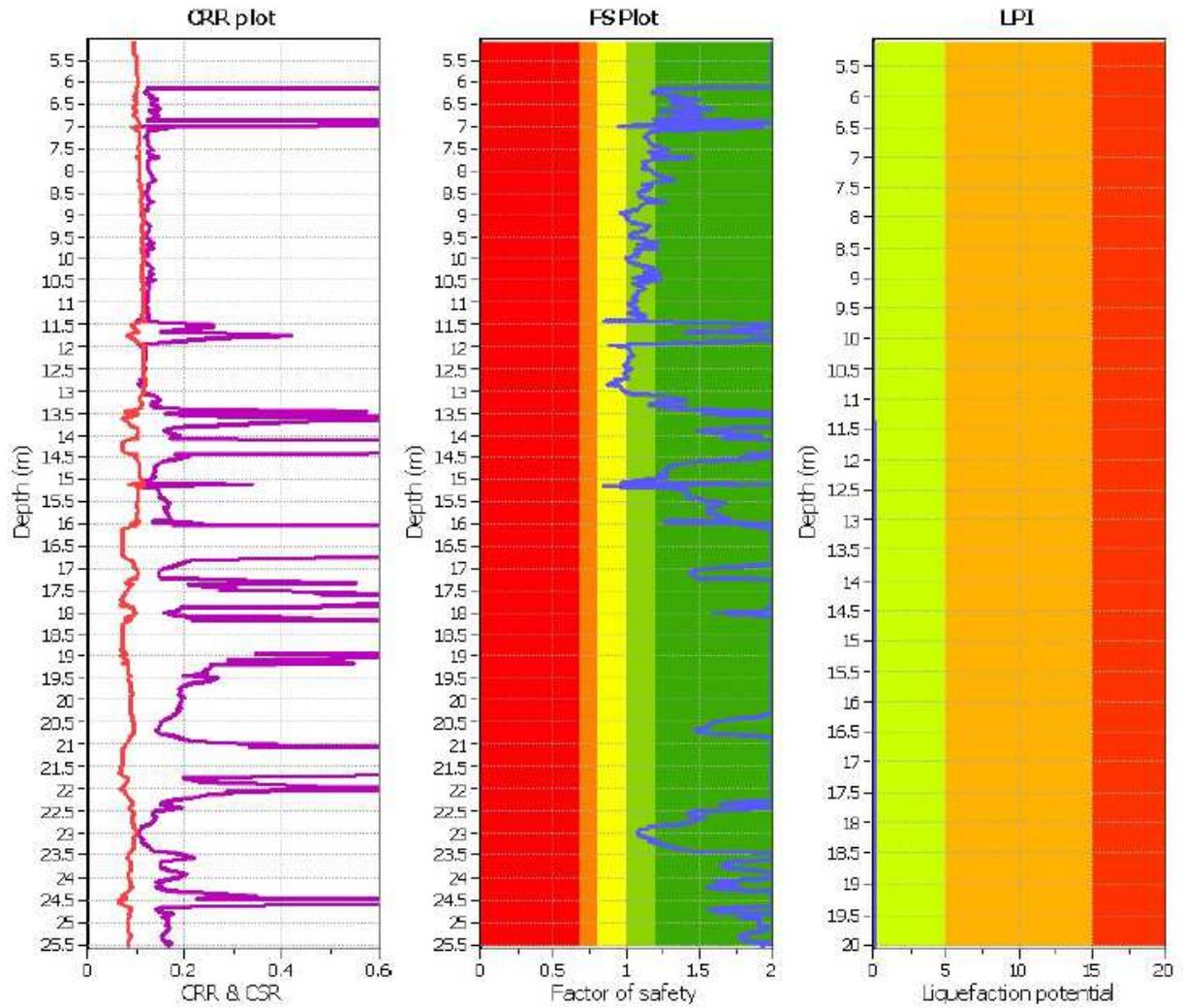


Figura 21 - Diagramma sintetico verifiche rischio di liquefazione sulla base delle prove CPTE

Fiorenzuola d'Arda, 18 febbraio 2020

Studio Geologico Ambientale
Dr. Geol. Gabriele Corbelli

