

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

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione Illustrativa

Regione Emilia-Romagna

Comune di Monticelli d'Ongina



Regione	Soggetto realizzatore	Data
REGIONE EMILIA-ROMAGNA	Dr.Geol. Gabriele Corbelli	Novembre 2025

1	PREMESSA	2
2	ELABORATI A CORREDO DELLO STUDIO.....	3
3	PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE	5
	3.1 - Inquadramento tettonico	6
	3.2 - Inquadramento sismotettonico.....	8
	3.3 - Zonazione sismogenetica	13
	3.4 - Sorgenti sismogeneriche	14
	3.5 - Sismicità storica	15
	3.6 - Classificazione sismica	20
	3.7 - Pericolosità sismica	20
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO.....	22
5	DATI GEOTECNICI E GEOFISICI.....	27
6	MODELLO DEL SOTTOSUOLO	28
7	INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE	32
8	METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI	33
9	ELABORATI CARTOGRAFICI	35
	9.1 - Carta delle indagini	35
	9.2 - Carta geologico-tecnica	35
	9.3 - Carte delle frequenze naturali dei terreni.....	37
	9.4 - Carte delle microzone omogenee in prospettiva sismica	40
	9.5 - Carta delle velocità delle onde di taglio S.....	42
	9.6 - Carta di Microzonazione Sismica – Livello 2	46
	9.6.1 Valutazione preliminare della suscettibilità alla liquefazione.....	48

1 PREMESSA

Il Comune di Monticelli d'Ongina ha provveduto ad aggiornare lo studio di microzonazione sismica già predisposto secondo gli standard richiesti dalla DGR 2193/2015 ed agli standard nazionali di rappresentazione e archiviazione dei dati della Commissione Tecnica per il supporto e monitoraggio degli studi di microzonazione sismica, che aveva ottenuto specifica validazione da parte del Servizio Geologico Regionale in data 08/11/2018.

Lo studio, realizzato con i contributi assegnati con atto dirigenziale n. 9008/2024 della Regione Emilia-Romagna, secondo quanto disposto dalla D.G.R. n 260 del 20/02/2024, è stato pertanto aggiornato sulla base delle indicazioni contenute nelle Delibere 476/2021 e 564/2021 della Giunta della Regione dell'Emilia-Romagna: "Atto di coordinamento tecnico sugli Studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49 L.R. 24/2017)".

Per quanto non specificato nelle delibere regionali citate, si è fatto riferimento ai seguenti documenti :

- "Microzonazione sismica - Standard di rappresentazione e archiviazione informatica versione 4.2", redatto dalla Commissione tecnica per la microzonazione sismica (Commissione tecnica per la microzonazione sismica, dicembre 2020);
- "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);

2 ELABORATI A CORREDO DELLO STUDIO

Gli elaborati dello studio di microzonazione sismica per il Comune di Monticelli d'Ongina 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 (Tavv. 1.1-1.2)
 2. Carta Geologico-Tecnica 1:10.000 (Tavv. 2.1-2.2)
 3. Carta delle Frequenze naturali dei Terreni 1:10.000 (Tavv. 3.1-3.2)
 4. Carta delle MOPS 1:10.000 (Tavv. 4.1-4.2)
 5. Carta delle Velocità delle Onde di Taglio – Vs 1:5.000 (Tavv. 5.1-5.2)
 6. Carta dei Fattori di Amplificazione: PGA 1:5.000 (Tavv. 6.1-6.2)
 7. Carta dei Fattori di Amplificazione: SI 0,1-0,5s 1:5.000 (Tavv. 7.1-7.2)
 8. Carta dei Fattori di Amplificazione: SI 0,5-1,0s 1:5.000 (Tavv. 8.1-8.2)
 9. Carta dei Fattori di Amplificazione: SI 0,5-1,5s 1:5.000 (Tavv. 9.1-9.2)
 10. Carta dei Fattori di Amplificazione: SA1 0,1-0,5s 1:5.000 (Tavv. 10.1-10.2)
 11. Carta dei Fattori di Amplificazione: SA2 0,4-0,8s 1:5.000 (Tavv. 11.1-11.2)
 12. Carta dei Fattori di Amplificazione: SA3 0,7-1,1s 1:5.000 (Tavv..12.1-12.2)
 13. Carta dei Fattori di Amplificazione: SA4 0,5-1,5s 1:5.000 (Tavv. 13.1-13.2)
 14. Carta dei valori di HSM 1:5.000 (Tavv. 14.1-14.2)
- Indagini eseguite per aggiornamento studio MS
- Verifiche liquefazione

Gli elaborati cartografici sono stati realizzati secondo le specifiche indicate nelle DGR 476/2021 e 564/2021 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, 2020), 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 4.2.

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 2020 (Rovida et al., 2020; <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 vr. 4.0- 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 1000-2020 (Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli, B., Gasperini P., Antonucci A., 2022. Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 4.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/cpti/cpti15.4> Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli, B., Gasperini P., 2020. The Italian earthquake catalogue CPTI15. Bulletin of Earthquake Engineering 18, 2953-2984. <https://doi.org/10.1007/s10518-020-00818-y>);
- 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 (ag) 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 3.3.1 (DISS Working Group, 2025 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

Il territorio in esame ricade nell'ambito della "bassa pianura" padana immediatamente a ridosso del corso del F.Po, per cui i depositi alluvionali in cui risulta impostato, sono prevalentemente legati all'attività deposizionale del grande corso d'acqua padano, distinta in fasce di meandreggiamento di epoche diverse.

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.

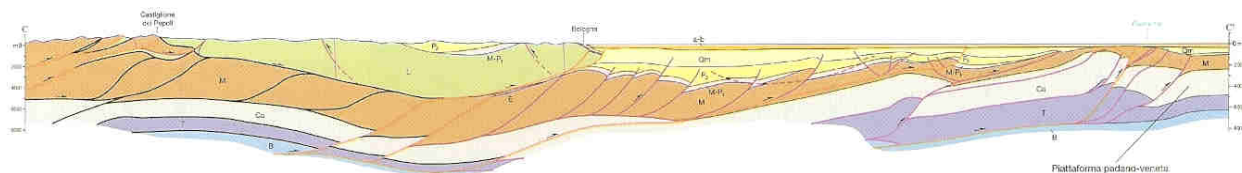


Figura 1 - Sezione dello schema tettonico dei thrust appenninici.

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 Pedepenninic Thrust Front (PTF).

- l'alto strutturale più esterno che si trova in chiusura periclinale, frutto dell'involgimento delle rampe frontali dei thrust sepolti, che rappresenta la zona di confine tra la Monoclinale pedealpina 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.

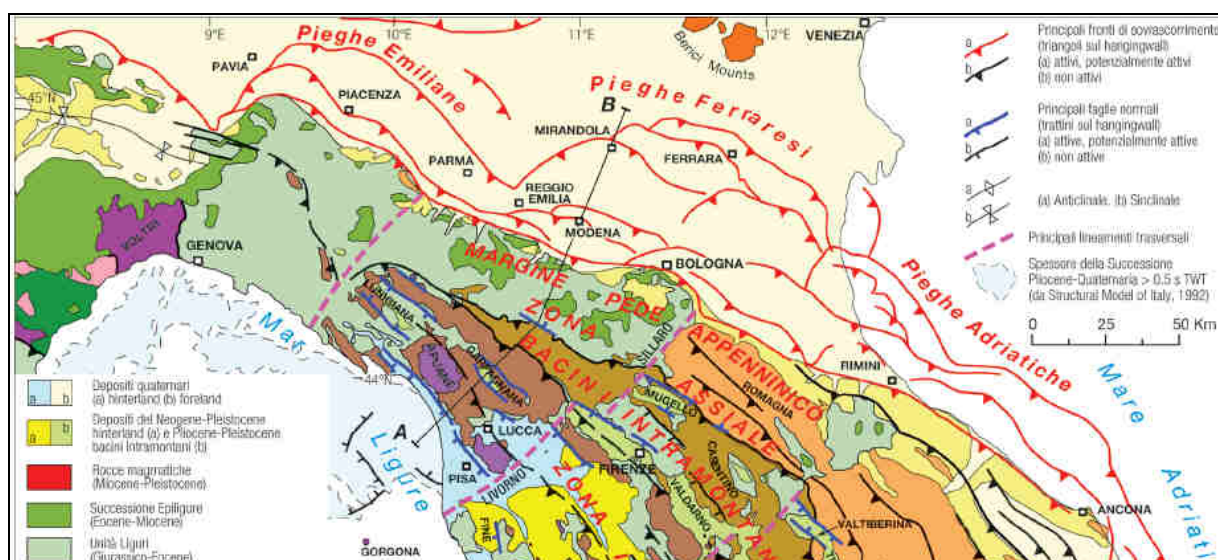


Figura 2 - Estratto dello schema tettonico dell'Appennino settentrionale e della Pianura Padana

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 neogena 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.

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).

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 compreso tra sovrascorrimenti profondi del fronte appenninico classificati attivi e sovrascorrimenti profondi potenzialmente attivi; negli affioramenti lungo il margine piacentino, non sono presenti chiare evidenze di deformazioni recenti, per cui; i depositi della successione del margine si presentano pressoché indeformati e si immergono blandamente sotto i depositi alluvionali padani.

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

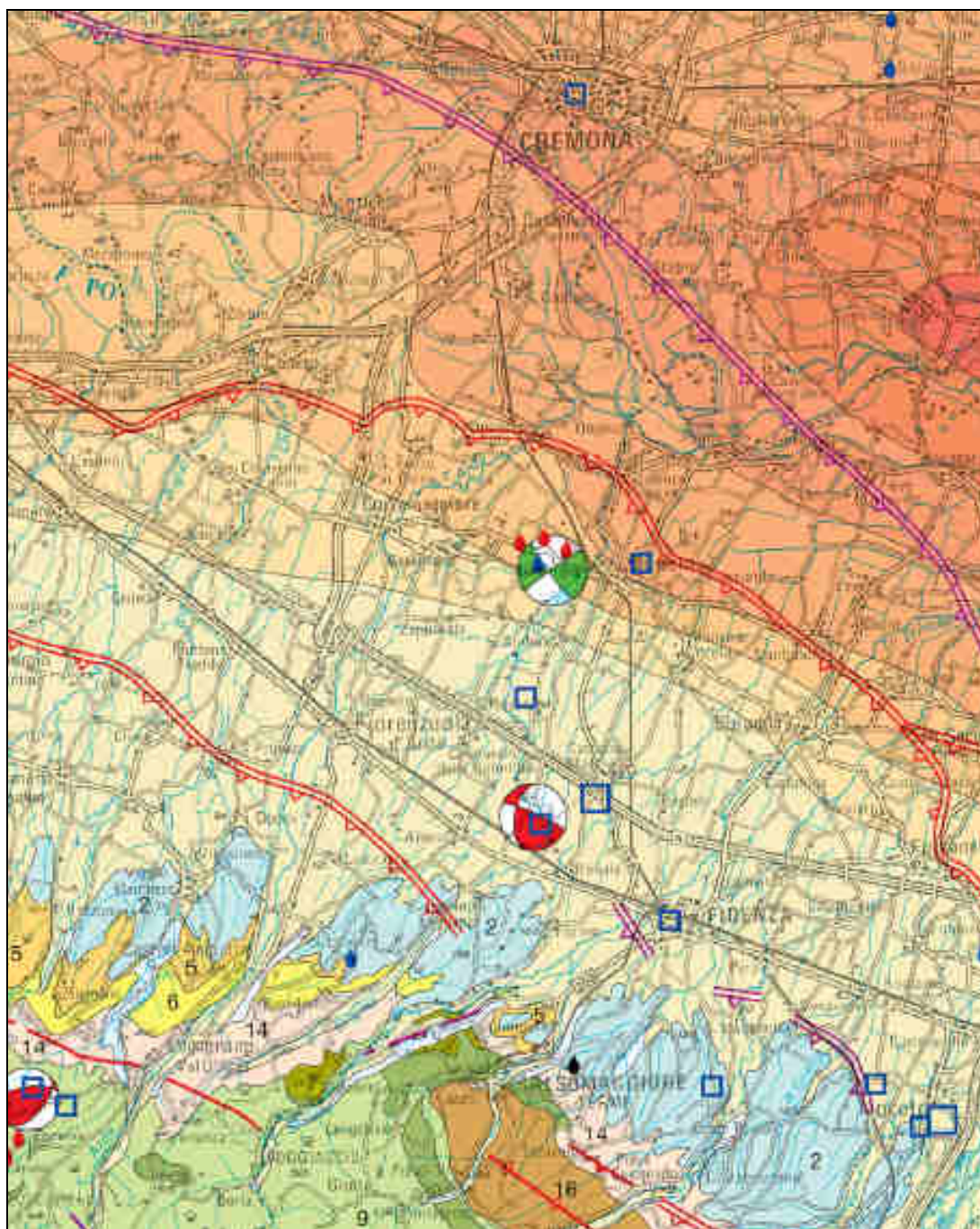


Figura 3 - Estratto Carta Sismotettonica della Regione E.R. – Servizio Geologico Regionale - 2017

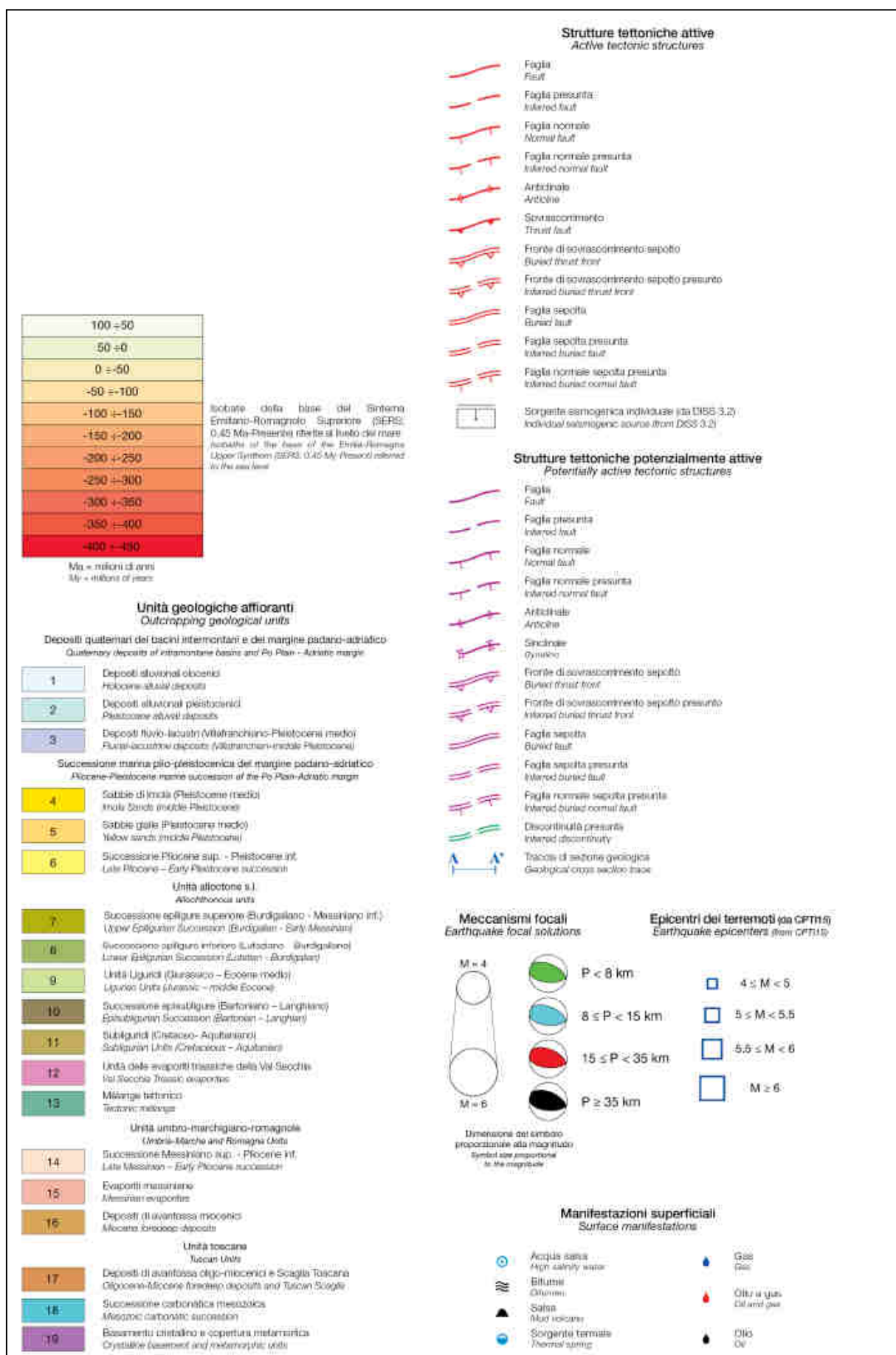


Figura 4 - Legenda Carta Sismotettonica della Regione E.R. – Servizio Geologico Regionale - 2017

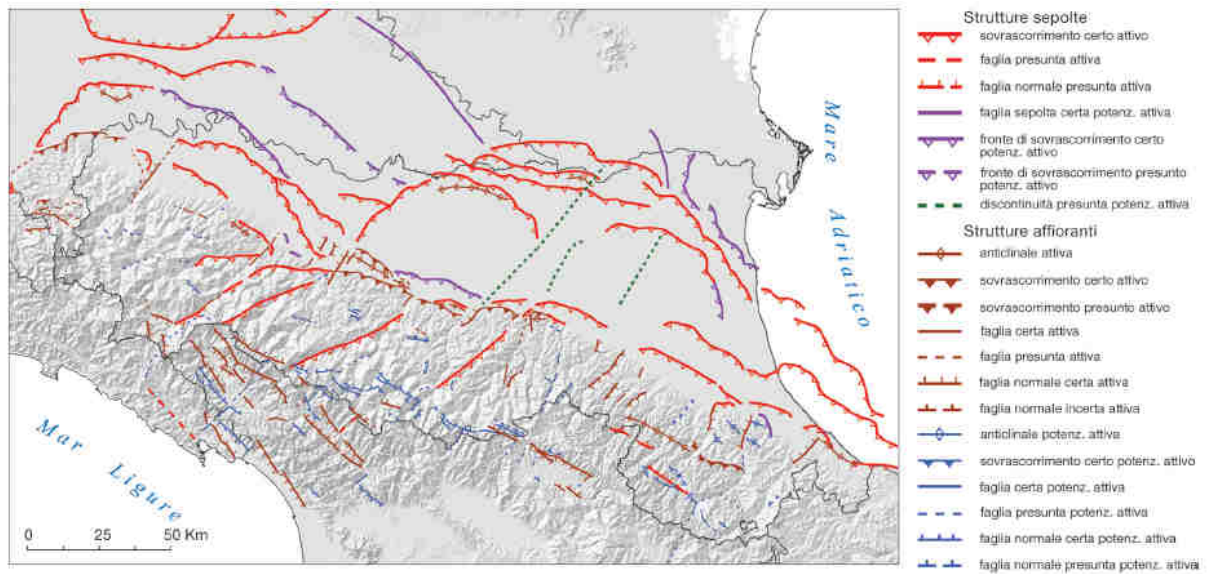


Figura 5 - Sintesi regionale delle principali strutture attive e potenzialmente attive (fonte Carta Sismotettonica della Regione E.R. – Servizio Geologico Regionale – 2017)

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.; per ogni zona viene fornita una stima della profondità efficace dei terremoti (ovvero l’intervallo di profondità nel quale viene rilasciato il maggior numero di terremoti) e un meccanismo di fagliazione prevalente attraverso l’analisi cinematica di eventi geologici importanti che interessano la crosta superficiale e anche strutture profonde

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 Monticelli d’Ongina, 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.

La Magnitudo momento Mw massima riferibile alla zona sismogenetica 911, con riferimento alla Tab. 6, contenuta nel Rapporto conclusivo sopracitato riportata di seguito, viene indicata paria Mw = 6,14.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
nome ZS	N ZS	DISS2 MwMax	CPTI2 MwMax	CPTI2 MwMax (classe)	CPTI2 completo 04.2	Az1	Mw Max1	Az2	Mw Max2
Savoia	901		5.79	5.68	5.68	+1(a)	5.91	+2(d)	6.14
Vallese	902		6.10	6.14	6.14		6.14		6.14
Grigioni-Valtellina	903		5.79	5.68	5.22	+3(b)	5.91	+4(d)	6.14
Trieste -Monte Nevoso	904		5.71	5.68	5.68		5.68	+2(d)	6.14
Friuli -Veneto Orientale	905	6.4	6.66	6.60	6.60		6.60		6.60
Garda-Veronese	906	6.2	6.49	6.60	6.60		6.60		6.60
Bergamasco	907	5.9	5.67	5.68	5.68	G	5.91	+2(d)	6.14
Piemonte	908		5.67	5.68	5.68		5.68	+2(d)	6.14
Alpi Occidentali	909		5.54	5.45	5.45	+1(a)	5.68	+3(d)	6.14
Nizza-Sanremo	910	6.3	6.29	6.37	6.37		6.37		6.37
Tortona-Bobbio	911		5.67	5.68	5.68		5.68	+2(d)	6.14
Dorsale Ferrarese	912	6.2	5.88	5.91	5.91	G	6.14	G	6.14
Appennino Emiliano-Romagn.	913		5.85	5.91	5.91		5.91	+1(d)	6.14
Forlivese	914		5.97	5.91	5.91		5.91	+1(d)	6.14

Figura 6 - Valori di Mvmax da Rapporto conclusivo - Gruppo di lavoro per la redazione della mappa sismica, aprile 2004 – INGV

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 $M_{wmax2} = 6,14$.

3.4 - Sorgenti sismogeneriche

L'Istituto Nazionale di Geofisica e di Vulcanologia ha diffuso, nell'ambito del Progetto DISS (Database of Individual Seismogenic Sources), le informazioni riguardanti la distribuzione spaziale e le caratteristiche sismico-tettoniche delle Sorgenti Sismogenetiche presenti sul territorio nazionale; la figura 8 evidenzia la distribuzione delle sorgenti sismogenetiche contenute nel database più aggiornato e disponibile DISS 3.3.1 (Database of Individual Seismogenic Sources a cura dell'INGV), da cui si evidenzia che l'area indagata si colloca in corrispondenza di due "sorgenti sismogenetiche composite":

- ITCS044 Portalbera-Cremona
- ITCS018 Rivanazzano-Stradella

La sorgente sismogenetica composita CSS è essenzialmente una struttura identificata sulla base dell'analisi di dati geologici di superficie e sotterranei, ed in particolare sulla base dell'identificazione delle tracce e delle caratteristiche delle faglie attive. La lunghezza della rottura attesa in conseguenza del terremoto, tuttavia, è scarsamente definibile in quanto, normalmente, le sorgenti sismogenetiche composite derivano da un numero imprecisato di singole fonti vicine tra loro ma sostanzialmente discontinue. Ad una CSS non è possibile attribuire una specifica dimensione del terremoto atteso per il futuro, ma il loro potenziale sismico è stimato dai cataloghi terremoto esistenti.

Gli autori individuano una sorgente sismogenetica ITCS044 estesa da Portalbera (Pv), a Cremona, comprendente tutto il fronte esterno delle strutture appenniniche sepolte. Questo fronte consiste in un sistema di faglie N-NE vergente posta all'estremità nord-ovest della catena Appenninica settentrionale.

Questa Sorgente Composita si estende a cavallo tra le città di Pavia (a ovest) e Cremona (a est), tra le valli del Ticino e dell'Adda, e appartiene al fronte di sovrascorrimento esterno dell'Appennino settentrionale. Questo fronte è un sistema di faglie vergente da N a NE all'estremità nord-occidentale della catena appenninica settentrionale, ben addentrandosi nella Pianura Padana.

I cataloghi storici e strumentali 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 ($M_w 5.2$). Questa sorgente rappresenta l'ipotizzato arco attivo in cui il sovrascorrimento alpino meridionale e gli Appennini si avvicinano, e potrebbe spiegare la sismicità intermedia della regione e il suo potenziale sismogenetico. La sismicità massima calcolata con metodi empirici (Leonard – 2014) viene indicata pari a $M_w 7,1$.

3.5 - 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 2020 a cura dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Servizio Sismico Nazionale (Catalogo CPTI15 ver. 4. ovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P., Antonucci A. (2022). Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 4.0 [Data set]. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/cpti/cpti15.4> - Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (2020). The Italian earthquake catalogue CPTI15. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 18(7), 2953-2984. <https://doi.org/10.1007/s10518-020-00818-y>), 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 4,43 – epicentro Ferrarese), al 1991 (magnitudo 4,33 – epicentro Emilia occidentale) ed al 2000 (magnitudo 4,0 – epicentro Pianura emiliana).

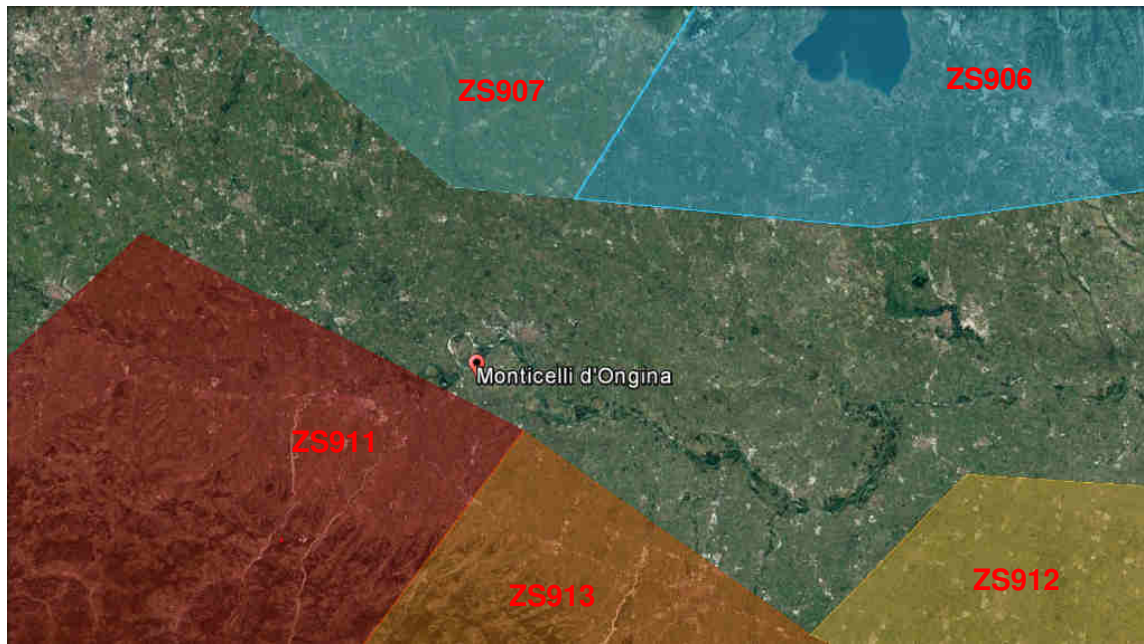


Figura 7 - Zonazione sismogenetica ZS9 – I.N.G.V. 2004

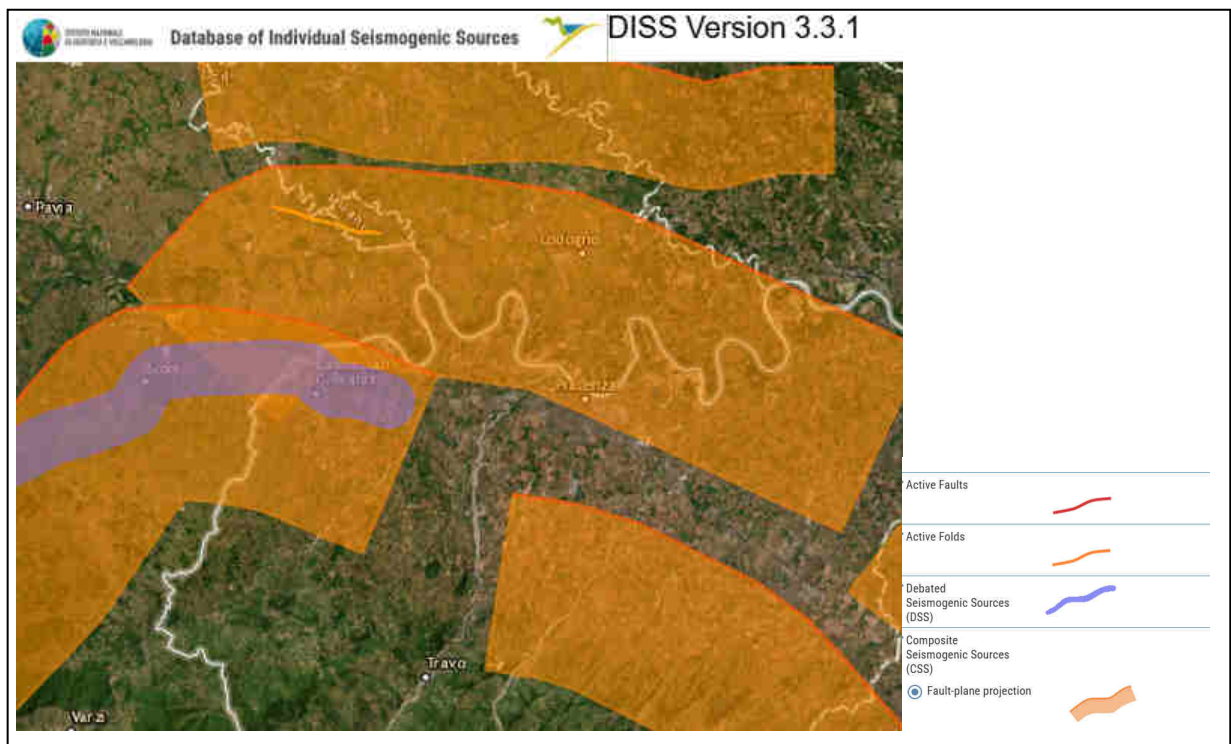


Figura 8 - Distribuzione delle sorgenti sismogenetiche contenute in DISS 3.3.1.

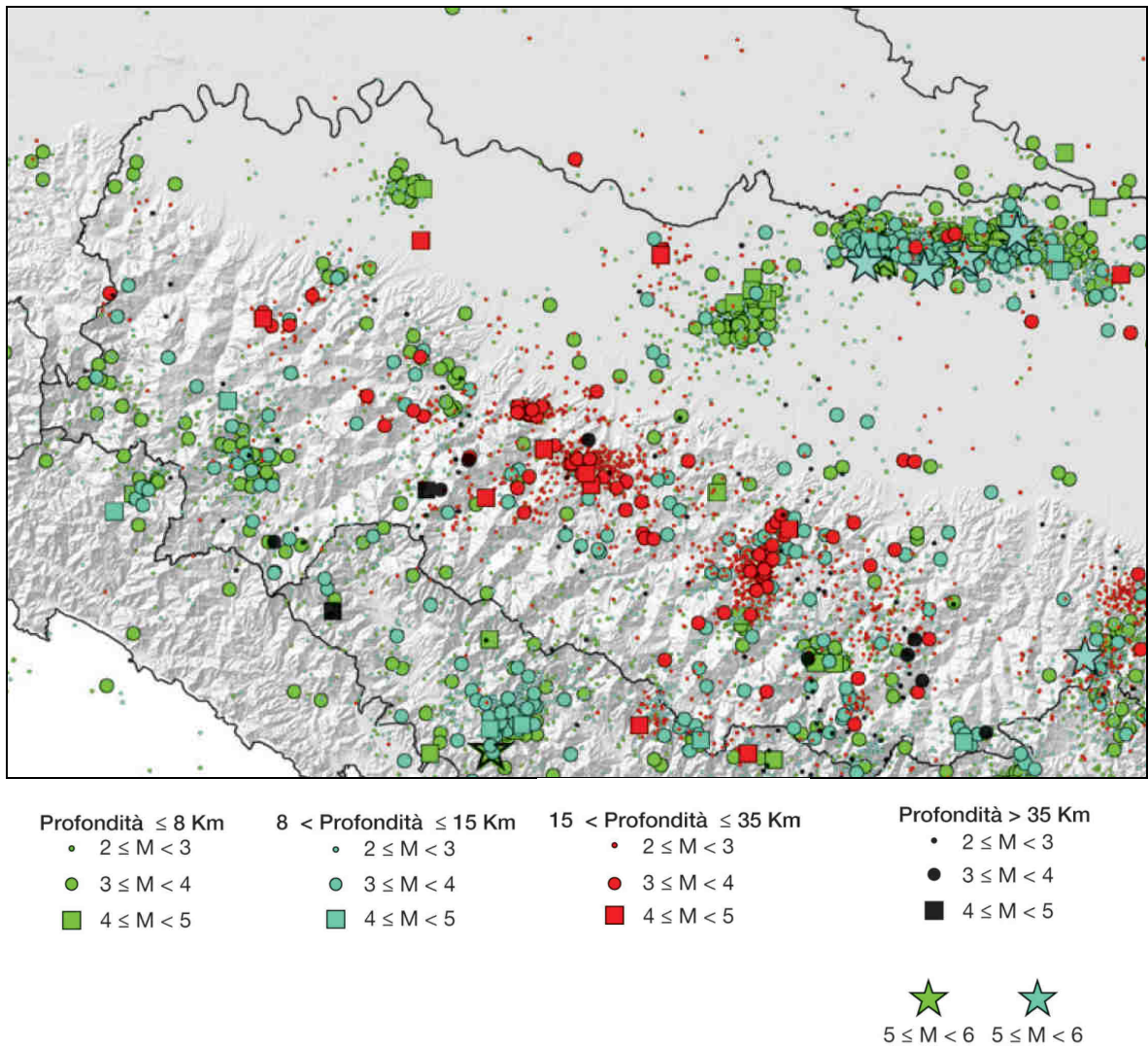


Figura 9 - Mappa dei terremoti strumentali $MW \geq 2$; la dimensione del simbolo e proporzionale alla magnitudo, il colore indica la profondità ipocentrale (fonte Carta Sismotettonica della Regione E.R. – Servizio Geologico Regionale – 2017)

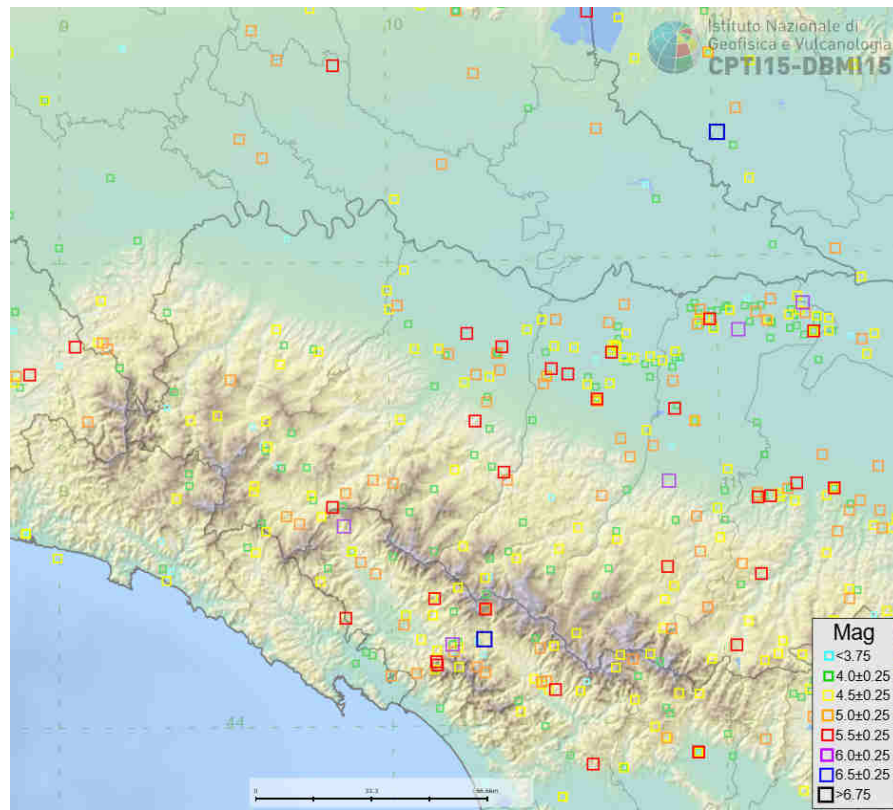


Figura 10 - Distribuzione degli epicentri (anni dal 1000 al 2020) per classi di magnitudo relativa al Catalogo CPTI15 ver. 4. ovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P., Antonucci A. (2022). Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 4.0 [Data set]. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/cpti/cpti15.4> - Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (2020). The Italian earthquake catalogue CPTI15. Bulletin of Earthquake Engineering, 18(7), 2953-2984. <https://doi.org/10.1007/s10518-020-00818-y>

Monticelli d'Ongina

PlaceID IT_35152
 Coordinate (lat, lon) 45.089, 9.930
 Comune (ISTAT 2015) Monticelli d'Ongina
 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	1980	11	23	18	34	5	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.81	
NF	1986	12	06	17	07	1	Ferrarese	604	6	4.43	
NF	1991	10	31	09	31	1	Emilia occidentale	134	5	4.33	
NF	2000	06	18	07	42	0	Pianura emiliana	304	5-6	4.40	

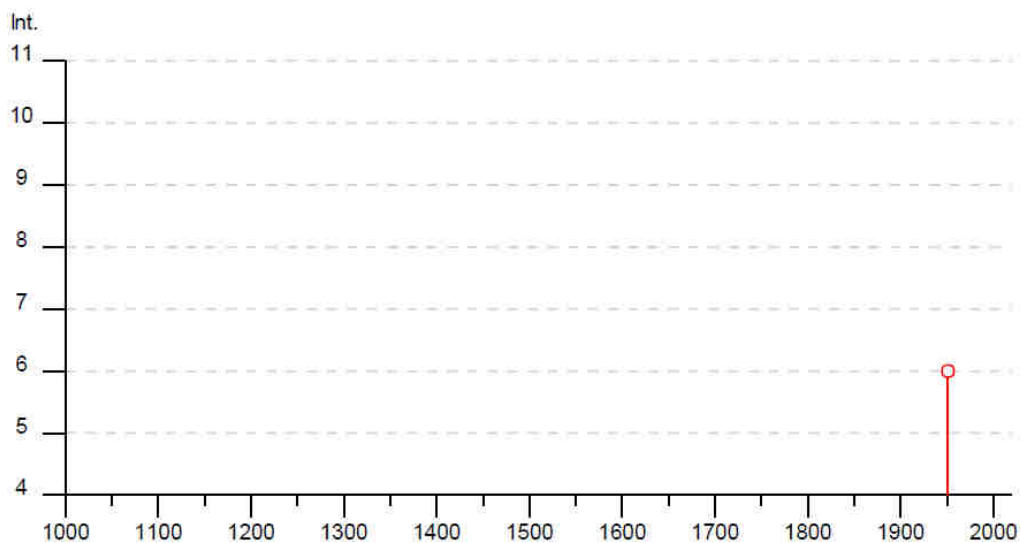


Figura 11 - Principali terremoti storici registrati a Monticelli d'Ongina e relativa intensità macrosismica (fonte INGV).

3.6 - Classificazione sismica

La classificazione sismica del territorio regionale, aggiornata con D.G.R. 1164/2018, fa rientrare il Comune di Monticelli d'Ongina 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.

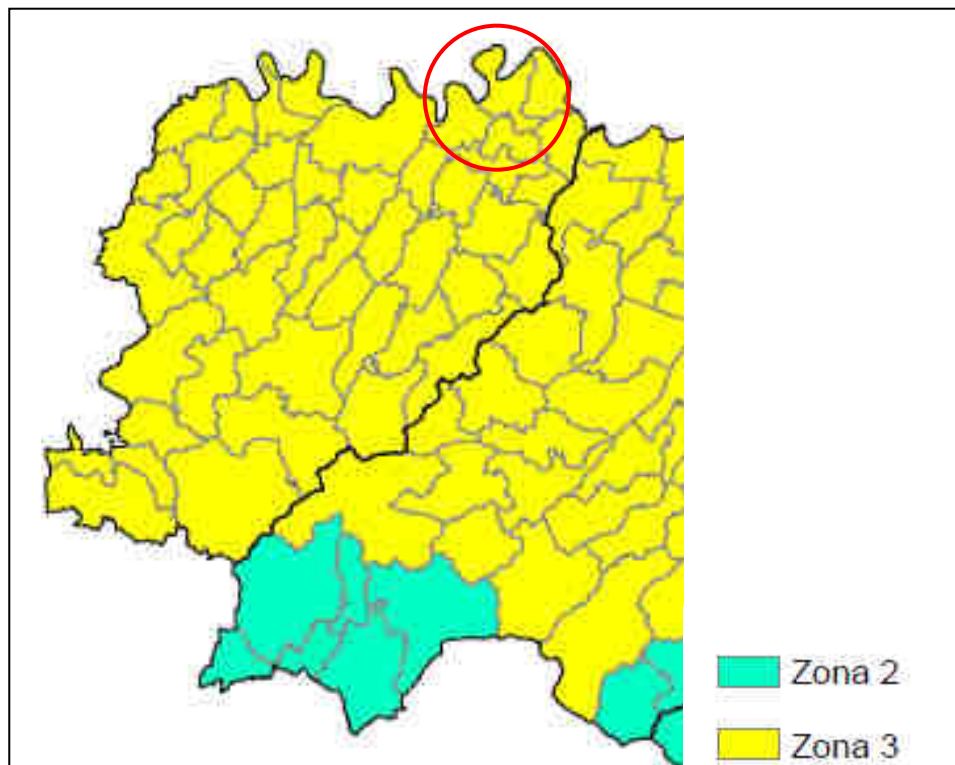


Figura 12 - Classificazione sismica del territorio regionale DGR 1164/2018

3.7 - 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 Monticelli d'Ongina, evidenziato in figura dal cerchio rosso, appartiene alla fascia caratterizzata da valori **0,075-0,100 g**.

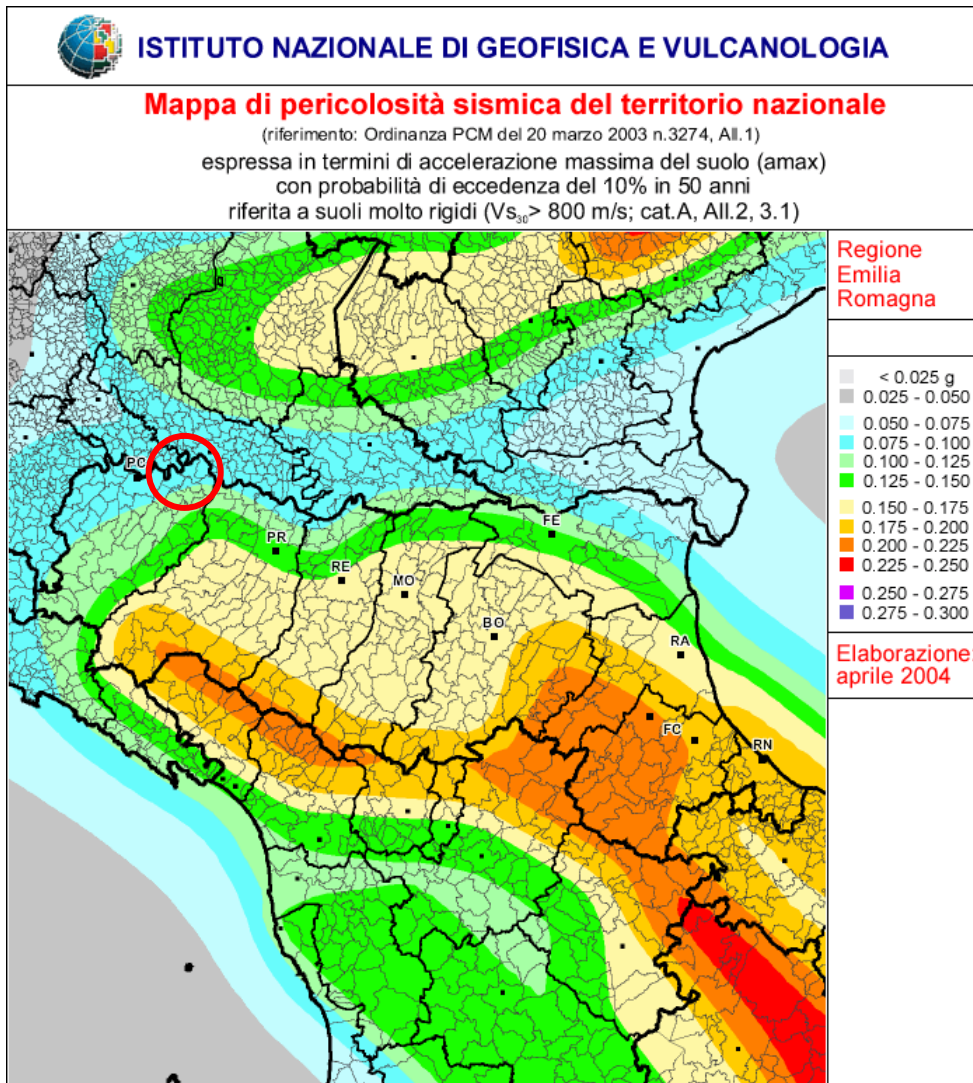


Figura 13 - Mappa di pericolosità sismica in termini di a_{max} (INGV 2004)

4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

Dal punto di vista geologico la porzione di territorio in esame, è legata prevalentemente all'attività deposizionale e di modellamento del fiume F. Po per cui i sedimenti alluvionali in cui risulta impostato, sono prevalentemente legati all'attività deposizionale del grande corso d'acqua padano, distinta in fasce di meandreggiamento di epoche diverse; alla formazione del settore meridionale del territorio comunale hanno contribuito anche, pur in misura minore, i corsi d'acqua di provenienza appenninica (torrenti Arda e Chiavenna).

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 parali 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 che vengono riconosciuti nel territorio comunale è descritta di seguito:

Depositi attuali in evoluzione

Formano l'alveo attivo del Fiume Po e le barre laterali in parte fissate da vegetazione, e soggette ad inondazioni periodiche con tempo di ritorno stagionale o annuale. Sono costituite da prevalenti ghiaietto e sabbie.

AES8a - Unità di Modena

Unità di Modena (AES8a) (Olocene; post IV-VII sec. d.C.): ghiaie prevalenti e sabbie, ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua. Il profilo di alterazione è di esiguo spessore (poche decine di cm). Lo spessore massimo dell'unità è di alcuni metri. Ambiente di piana alluvionale, di argine, canale e rotta fluviale, e di piana a meandri del Po. Olocene; post IV-VII sec. d.C.

Dal punto di vista geomorfologico, il territorio comunale di Monticelli d'Ongina si colloca nella bassa pianura piacentina ed è compreso fra fiume Po ed il torrente Chiavenna, quest'ultimo corso d'acqua segna il confine amministrativo del territorio comunale sul lato occidentale, mentre il fiume Po ne determina il confine settentrionale.

I lineamenti morfologici dell'ambito in esame sono caratterizzati dalla presenza della grande valle del fiume Po e della valle torrentizia del torrente Chiavenna.

Il territorio si presenta nel complesso subpianeggiante, risultando contraddistinto da una modesta acclività blanda ed uniforme da sud-sudovest a nord-nordest, passando da quote topografiche comprese tra 41.5 m s.l.m. e 32.3 m s.l.m.

L'intera zona esaminata si caratterizza anche per la presenza di una fitta rete di canali di scolo e fossi artificiali, frutto degli interventi di miglioramento fondiario, il cui sviluppo è da ricollegare alla scarsa permeabilità dei terreni affioranti.

L'aspetto morfologico del territorio comunale è riconducibile prevalentemente alla dinamica fluviale, nel quale possono essere individuate due unità territoriali morfologicamente distinte:

- unità morfologica golenale
- unità morfologica della pianura

L'unità morfologica golenale si sviluppa nella fascia di meandreggiamento del Fiume Po, delimitata dagli argini maestri, ed è interessata periodicamente dagli eventi di piena che la possono sommergere con battenti idrici di qualche metro.

L'elemento morfogenetico principale è rappresentato dal fiume Po, con la sua ampia ansa meandrica di Isola Serafini, che nei secoli ha modificato lentamente il percorso, come evidenziano le cartografie storiche.

L'unità morfologica della pianura è caratterizzata da una dinamica evolutiva più antica, con morfologia uniformemente pianeggiante in cui si riconoscono tracce di anse meandriche antiche abbandonate del Fiume Po, ad andamento tipicamente arcuato, e di paleoalvei dei corsi d'acqua appenninici.

Dal punto di vista idrogeologico la zona è costituita da depositi alluvionali quaternari contraddistinti da una permeabilità per porosità media che da luogo ad un'attiva circolazione idrica sotterranea a carattere freatico e/o semiconfinato.

In riferimento agli studi contenuti nel Quadro Conoscitivo del PSC, rappresentati nella "Carta Idrogeologica e della profondità dei depositi sabbiosi" riportata in Figura 14, la soggiacenza della prima falda è variabile tra 2 e 10 m. dal p.c., con escursioni, nel settore settentrionale, connesse all'altezza idrometrica del F. Po, alle cui falde di subalveo risulta connessa.

La direzione di deflusso è orientata verso N-NE con gradiente idraulico dello 0,2 %.

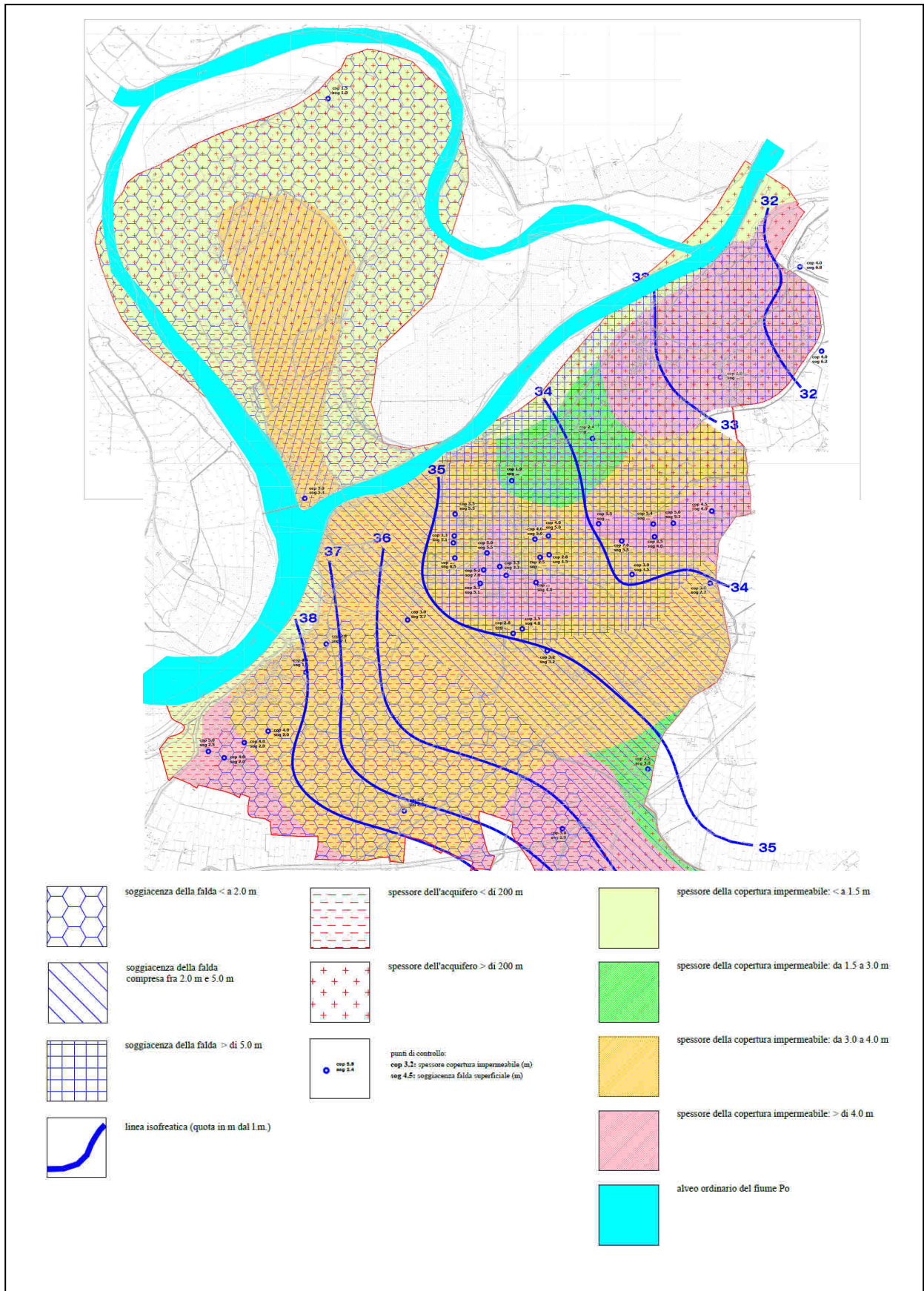


Figura 14 - Carta Idrogeologica e della profondità dei depositi sabbiosi – Tav.QC2.1.3 del PSC

5 DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

Per quanto riguarda le indagini geognostiche e geofisiche, ad integrazione dei dati esistenti raccolti nella Banda dati realizzata per lo Studio MS dell'anno 2018, è stata eseguita una specifica campagna di indagini comprendenti:

- n° 5 prove penetrometriche statiche CPTU spinte alla profondità di 20 m

Le prove sono state distribuite in corrispondenza delle località di Fogarole, Olza, San Nazzaro e Monticelli d'Ongina, dove si rendeva necessaria un'integrazione delle informazioni stratigrafiche e delle caratteristiche geotecniche dei sedimenti per valutarne la predisposizione allo sviluppo di fenomeni di liquefazione, in ragione della natura sabbiosa dei terreni.

Attraverso la collaborazione dell'Ufficio Tecnico comunale, inoltre, è stata aggiornata la banca dati delle indagini geognostiche e geofisiche, che vanno ad implementare l'archivio prove costituito in sede di redazione dello Studio di Microzonazione sismica più recente (anno 2018).

I dati a disposizione, rappresentati nella cartografia in scala 1:10.000 allegata (Tavv. 1.1-1.2) risultano concentrati nelle aree urbanizzate del territorio comunale.

Tabella 1 - Indagini geognostiche e geofisiche disponibili

Tipologia	Archivio comunale	Database RER	Indagini MS	Indagini MS (agg)	Totale
Prove penetrometriche leggere DL	35				35
Prove penetrometriche pesante	33				33
Prove penetrometriche superpesante SCPT	17	1			18
Prove penetrometriche CPT	76	9			85
Prove penetrometriche CPTU				5	5
Prove pressiometriche	17				17
Sondaggi geognostici a carotaggio continuo	4	8			12
Sondaggi geognostici a carotaggio continuo con prelievo di campioni	3				3
Pozzetti esplorativi		27			27
Pozzi idrici		50			50
Prove REMI	2		7		9
Prove MASW	13				13
Prove SASW	1				1
Prove HVSR6	7		29		36

Tutte le indagini sono state trasformate in formato digitale con modalità georiferita, al fine di consentirne l'elaborazione in ambiente GIS.

6 MODELLO DEL SOTTOSUOLO

Il comune di Monticelli d'Ongina 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), ed alle alluvioni attuali e recenti dell'alveo del Fiume Po, costituiti da prevalenti sabbie e ghiaietto.

I terreni presenti nel Comune di Monticelli D'Ongina sono caratterizzati da una discreta variabilità granulometrica, in relazione all'ambiente deposizionale che caratterizza questo ambito di pianura; il territorio comunale si caratterizza da due distinti ambienti deposizionali:

- il settore nord occidentale caratterizzato dalla prevalenza di sedimenti di natura sabbioso-ghiaiosa, riferibile ad ambiente deposizionale di canale.
- il settore sud orientale caratterizzato dalla prevalenza di sedimenti di natura sabbioso-limoso, caratteristici di ambienti deposizionali di bassa energia, in cui le fasi di sedimentazione avvengono per sola decantazione o per correnti trattive molto deboli.

Per una migliore comprensione del modello geologico locale, è stato possibile fare riferimento alle sezioni geologiche e sismiche interpretate, orientate trasversalmente e longitudinalmente ai principali elementi strutturali (cfr. rappresentazione planimetrica della traccia riportata in Fig. 15), derivate dalle elaborazioni del Servizio Geologico RER (riportate nelle figure Fig. 16-17).

L'esame delle stesse consente di valutare come la base del primo ciclo sedimentario (Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore - AES), che segna il passaggio al substrato geologico, si collochi a profondità comprese tra 170-200 m. da p.c.; il secondo ciclo sedimentario (Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore- AEI) si riscontra fino a si riscontra a profondità comprese tra 290 m e oltre 340 m da p.c. passando da sud-ovest verso nord-est.

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

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.

Per quanto riguarda il bedrock sismico, le indagini geofisiche disponibili e le risultanze delle indagini tomografiche eseguite non evidenziando picchi significativi attribuibili a marcati contrasti di impedenza, portano ad affermare che il contesto geologico che caratterizza il territorio di Monticelli d'Ongina non consenta una chiara individuazione dell'orizzonte che possa rappresentare il substrato rigido.

Indicazioni in merito possono essere desunte da studio di Mascandola et al., 2019: Mapping the Seismic Bedrock of the Po Plain (Italy) through Ambient-Vibration Monitoring, che sulla base del confronto delle frequenze di risonanza con stratigrafia, profili di VS e strutture tettoniche à stata proposta una mappa del «bedrock sismico», di cui si riporta una rielaborazione in Figura 19 a cura del Servizio Geologico RER, che indica per il settore indagato un profondità assimilabile alla base dell'AES, cioè comprese tra 170-200 m. da p.c

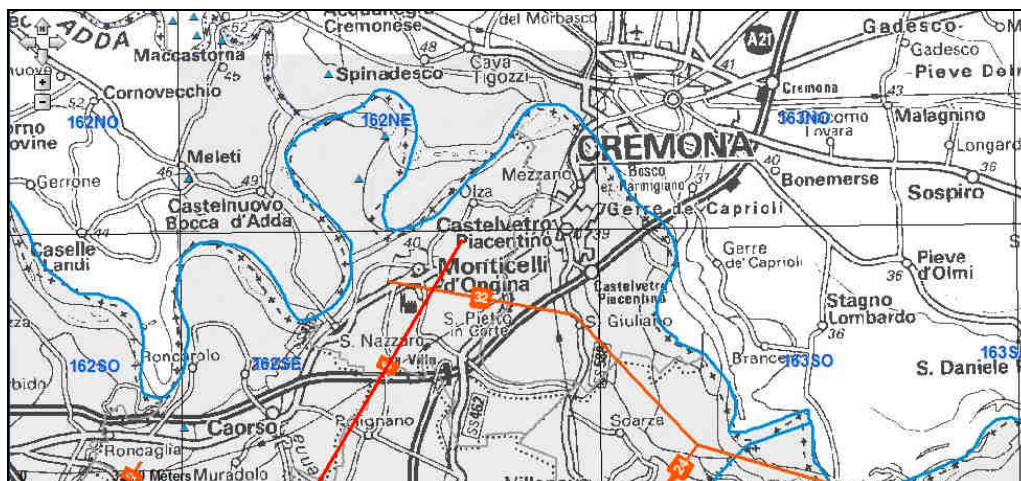


Figura 15 - Cartografia delle sezioni geologiche (da Servizio Geologico RER)

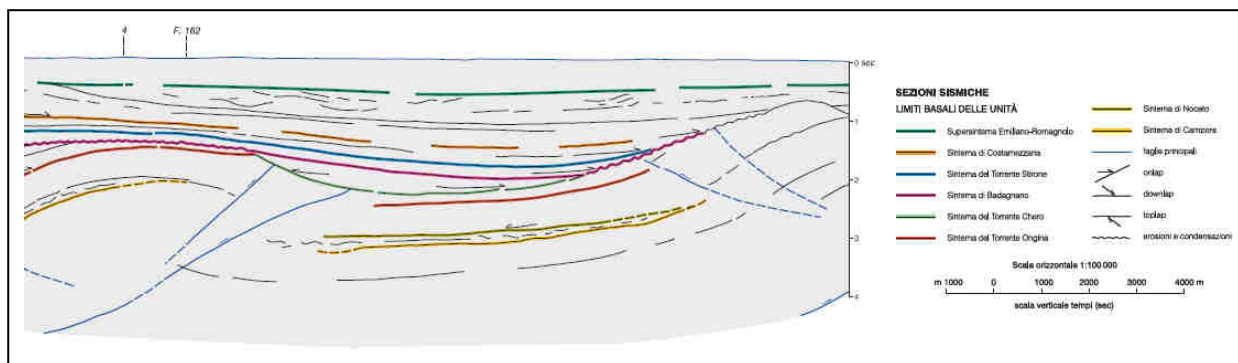


Figura 16 - Sezione sismica interpretata n. 6 – Servizio Geologico RER

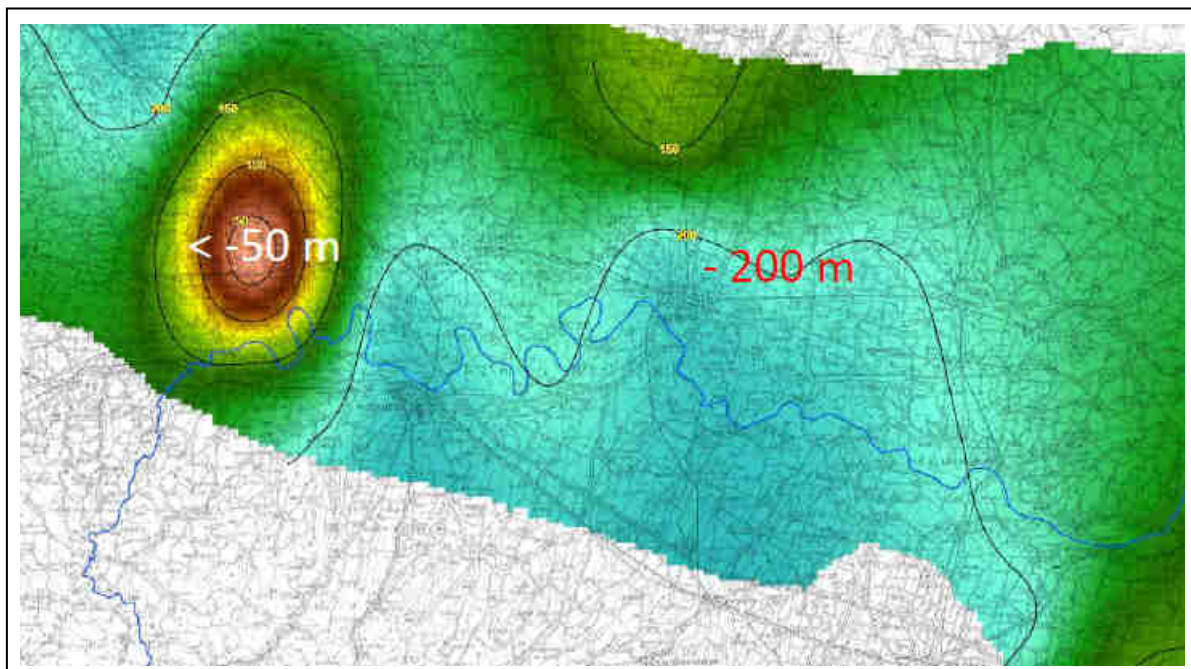


Figura 18 - Mappa del bedrock sismico derivata da Mascandola et al., (2019 - Rielaborazione grafica Servizio Geologico RER

7 INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE

La caratterizzazione sismica del territorio comunale di Monticelli d'Ongina, 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.

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 $0,2 \div 20$ 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 VS_{30} (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 alle DGR 476/2021 e 564/2021.

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 puntuali	Indagini lineari
 Prova penetrometrica statica CPT	 MASW
 Prova penetrometrica statica con piezocono CPTU	 REMI
 Prova penetrometrica dinamica leggera DL	 SASW
 Prova penetrometrica dinamica DPSH	
 Prova penetrometrica dinamica superpesante	
 Pozzo idrico	
 Prova pressiometrica	
 Sondaggio a carotaggio continuo	
 Sondaggio a carotaggio continuo con prelievo di campioni	
 Stratigrafia zona MS	
 Pozzetto esplorativo	
 Rwgistrazione rumore sismico a stazione sisngola HVSR	

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 Monticelli d'Ongina;
- "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 dell'Emilia-Romagna;
- indagini geognostiche puntuali.

Nell'ambito del territorio comunale sono distinguibili varie unità litologiche di seguito descritte:

Alluvioni attuali compresi nella fascia di meandreaggiamento recente del Fiume Po, ed esondabili in caso di piena, corrispondenti all'alveo di piena ed ai depositi fissati dalla vegetazione dell'area golenale: sabbie e limi sabbiosi

Depositi alluvionali recenti e medio recenti, sabbie e sabbie limose ricoperte da uno strato limoso argilloso più o meno continuo e potente. Aree della zona golenale sopraelevate di 1-2 rispetto l'alveo attivo del fiume Po.

Depositi alluvionali medio antichi, costituiti da alternanze di sabbie e/o ghiaie e argille o limi argillosi, a geometria lenticolare e modesto grado di alterazione; alla sommità della successione è presente una coltre di copertura argillo-limosa ("limi di stanca"). Riferibili al dominio alluvionale del fiume Po, sono composti in prevalenza da depositi da limosi e argillosi frammisti a sabbie limose, passanti a sabbie e sabbie limose con lenti di argilla e torba.

Depositi alluvionali antichi costituiti da alternanze di sabbie, sabbie ghiaiose e argille con limi argillosi, a geometria lenticolare; ricoperti da una coltre di copertura argillo-limosa potente alcuni metri. Costituiscono il ripiano principale della pianura a sud del Po - Riferibili al dominio alluvionale della pianura vera e propria: sono costituite in superficie da orizzonti prevalentemente fini limoso-argillosi a cui fanno seguito sequenze di sabbie e ghiaie minute in genere mediamente alterati. Formano superfici pianeggianti e sopraelevate rispetto all'alveo attivo dei corsi d'acqua e sono cartografati nella porzione centrale dell'area comunale.

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

SM Sabbie limose, miscela di sabbia e limo

MH Limi inorganici e sabbie fini.

CL Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose.

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

es – argini, barre, canali;
pi – piana inondabile;
tf – terrazzo fluviale.

Nella Carta geologico tecnica sono rappresentati anche i principali tracciati di paleopercorsi fluviali della piana a meandri del Fiume Po; inoltre è riportata la profondità in metri della falda misurata negli areali con sabbie e/o ghiaie, relativamente a rilievo freaticometrico disponibile derivato dal Quadro Conoscitivo del PSC.

9.3 - Carte delle frequenze naturali dei terreni

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

Nella carta sono riportati i punti di misura (36), 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.

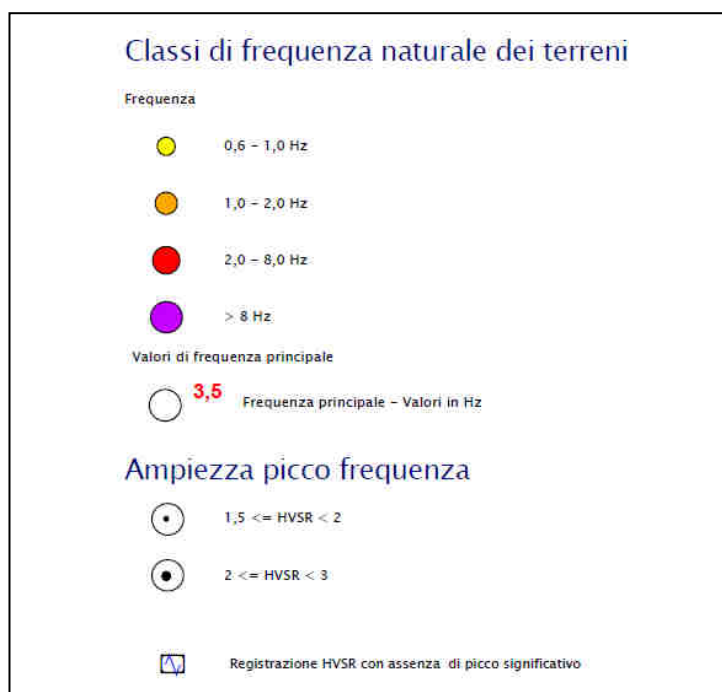
Gli indirizzi tecnici contenuti nelle DGR 476/2021 e 564/2021, per rendere graficamente più evidenti le variazioni in relazione alla posizione, di utilizzare colorazioni differenti per distinguere le prove a seconda della frequenza principale ottenuta, definendo le seguenti classi:

- $F_0 \leq 1$ 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

Le prove con picco di frequenza HVSR inferiore a 1,5, indicative di assenza di contrasto di impedenza, sono state rappresentate senza indicazione del valore di picco di frequenza.



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 HVSAR

Prova HVSAR	MOPS	Frequenza (Hz)	Ampiezza H/V	Affidabilità picco Sesame
033027P1	30502002	3,25	1,73	NO
033027P2	30502002	3,71	1,57	NO
033027P3	30502002	1,32	1,73	NO
033027P4	30502002	3,59	1,59	NO
033027P5	30502002	5,20	1,56	NO
033027P6	30502002	3,66	1,40	NO
033027P7	30502002	3,87	1,78	NO
033027P8	30502002	0,89	1,22	NO
033027P9	30502002	1,46	1,51	NO
033027P10	30502002	4,75	1,43	NO
033027P11	30502002	0,93	1,75	NO
033027P12	30502002	1,13	1,44	NO
033027P13	30502002	3,88	1,41	NO
033027P14	30502002	1,12	1,99	NO
033027P15	30502002	6,10	1,99	SI
033027P16	30502003	0,98	1,35	NO
033027P17	30502003	4,96	1,72	NO
033027P18	30502002	4,96	1,51	NO

033027P19	30502002	0,94	1,17	NO
033027P20	30502002	1,04	1,19	NO
033027P21	30502002	1,69	1,09	NO
033027P22	30502001	13,40	1,31	NO
033027P23	30502002	1,18	2,10	NO
033027P24	30502002	12,26	2,34	SI
033027P25	30502002	11,53	1,52	NO
033027P26	30502002	16,27	1,34	NO
033027P27	30502001	13,62	1,52	NO
033027P28	30502002	1,89	1,45	NO
033027P29	30502003	3,85	1,98	NO
033027P219	30502002	16.4	1.7	NO
033027P220	30502002	1.4	1.5	NO
033027P221	30502002	0.85	1.65	NO
033027P222	30502002	0.7	2.7	NO
033027P223	30502002	3.62	1.47	SI
033027P235	30502002	3.47	1.77	NO
033027P300	30502002	0.85	2.08	NO

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 alternati 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.

Per quanto riguarda la zona 30502001, le poche prove a disposizione evidenziano esclusivamente picchi senza sostanziale contrasto di impedenza ($H/V < 1,5$).

Nella zona 30502002, dove sono ubicate il maggior numero di prove HVSR, sono più frequenti picchi H/V compresi nell'intervallo 0,9-16 Hz con moderati contrasti di impedenza (ampiezza di picco H/V dell'ordine di 1,5-2,5) attribuibili a livelli sabbioso-ghiaiosi più addensati che si riscontrano a profondità variabile (stimabile tra 5-60 m da p.c.) ricoperti generalmente da alternanze di sedimenti prevalentemente fini limoso-argillosi e sabbiosi.

Le prove disponibili per la zona 30502003 presentano picchi nell'intervallo 3,5-5,0 Hz indicativi di moderati contrasti di impedenza (ampiezza H/V compresa tra circa 1,5-2,0), associabili al passaggio tra la copertura limoso-argillosa e gli strati sabbiosi sottostanti entro profondità valutabili dell'ordine 10-15 m da p.c.

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.

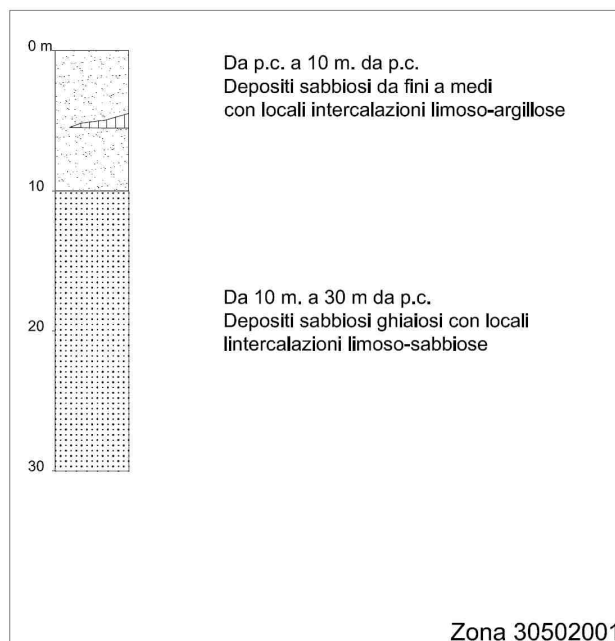
3. zone suscettibili di instabilità. Si tratta di zone nelle quali effetti sismici attesi e predominanti, oltre i fenomeni di amplificazione, sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio, quali instabilità di versante (frane attive e quiescenti), liquefazioni e densificazione. In queste zone sono richiesti approfondimenti di terzo livello. In particolare devono essere considerate come zone di attenzione per instabilità da liquefazione, le aree caratterizzate dalla presenza di importanti spessori di terreni granulari saturi nei primi 20 metri dal piano campagna:

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

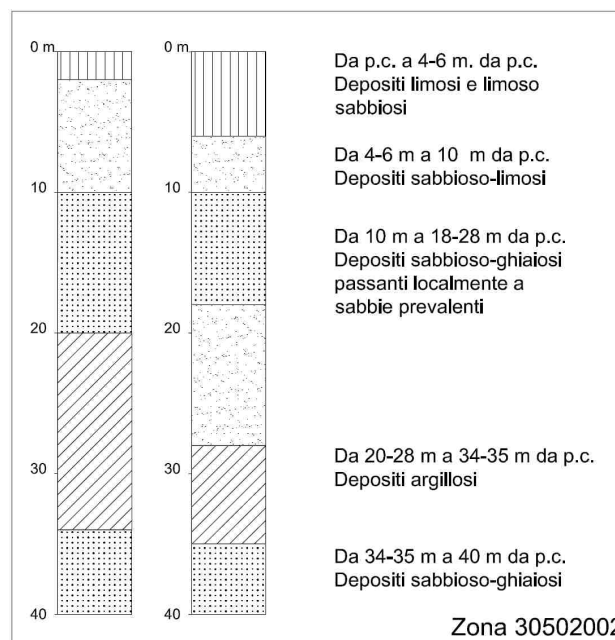
Tutte le aree oggetto di studio sono state inserite nella categoria 3 - zone suscettibili di instabilità per liquefazione, in ragione della presenza di condizioni predisponenti, riferibili a significativi spessori di terreni sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi immersi in falda entro i primi 20 m di profondità dal p.c.

Sulla base delle caratteristiche litostratigrafiche, sono state identificate le seguenti 3 microzone omogenee, ognuna con un proprio profilo stratigrafico tipo riferito ai primi 30-40 m di sottosuolo:

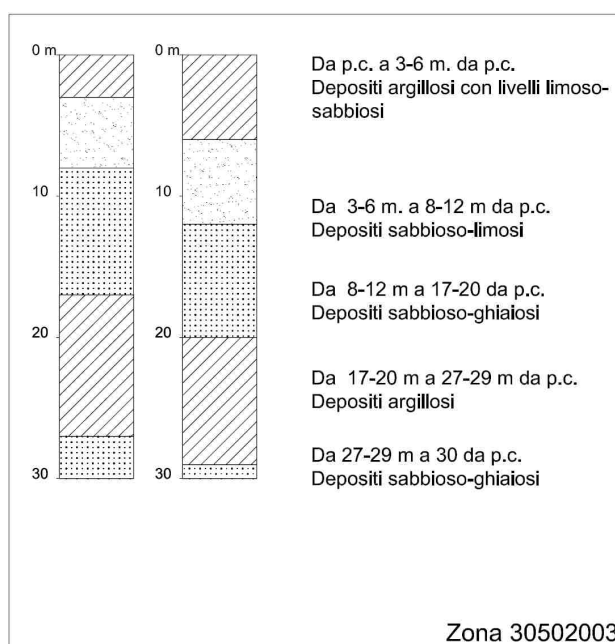
Zona 30502001 – Depositi della fascia di meandreggiamento recente e medio recente del Fiume Po costituiti da sabbie e sabbie limose con intercalazioni limoso-argillose, passanti a circa 10 m di profondità a sabbie ghiaiose prevalenti.



Zona 30502002 – Depositi della piana di meandreggiamento antico del Fiume Po, costituiti da copertura argilloso limosa di spessore variabile tra 4-6 m, passanti a sabbie, sabbie limose e sabbie ghiaiose, fino a prof. di 20-28 m, seguiti da argille fino a 30.34 m da p.c., sovrastanti sabbie ghiaiose.



Zona 30502003 – Depositi di piana alluvionale costituiti da copertura argilloso-limosa di spessore 3-6 m, passanti a sabbie limose e sabbie ghiaiose fino alla prof. di circa 17-20 m, seguite da argille fino a 27-30 m da p.c. sovrastanti sabbie ghiaiose.



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	MOPS	Tipo indagine	Vs30 (m/s)
033027L1	30502002	REMI	226
033027L4	30502002	REMI	207
033027L5	30502002	REMI	217
033027L2	30502002	REMI	257
033027L6	30502002	REMI	257
033027L3	30502002	REMI	223
033027L7	30502003	REMI	242
033027L8	30502003	MASW	250
033027L9	30502002	MASW	241
033027L10	30502002	MASW	244
033027L11	30502002	MASW	243
033027L12	30502002	MASW	181
033027L13	30502001	MASW	208
033027L14	30502001	MASW	343
033027L15	30502002	REMI	213
033027L16	30502002	REMI	270
033027L17	30502003	MASW	302
033027L18	30502001	MASW	195
033027L19	30502002	SASW	321
033027L20	30502002	MASW	322
033027L21	30502002	REMI	213
033027L22	30502002	MASW	262
033027L23	30502003	MASW	228

Nel complesso la zona 30502001 risulta contraddistinta da sedimenti prevalentemente sabbiosi e sabbioso-limosi, con profili di velocità caratterizzati prevalentemente da valori di V_{s30} dell'ordine di 195-210 m/s.

Per la zona 30502002 i valori di V_{s30} variano mediamente tra 180-270 m/s con aumenti di velocità V_s determinata da orizzonti sabbioso-ghiaiosi più addensati.

Per la zona 30502003 i valori di V_{s30} variano mediamente 240-300 m/s coerentemente alla composizione del sottosuolo, rappresentato da alternanze di sabbie e argille con copertura argilloso-limosa.

I profili di velocità delle onde di taglio per i principali centri abitati sono rappresentati nei diagrammi di figure 20-21.

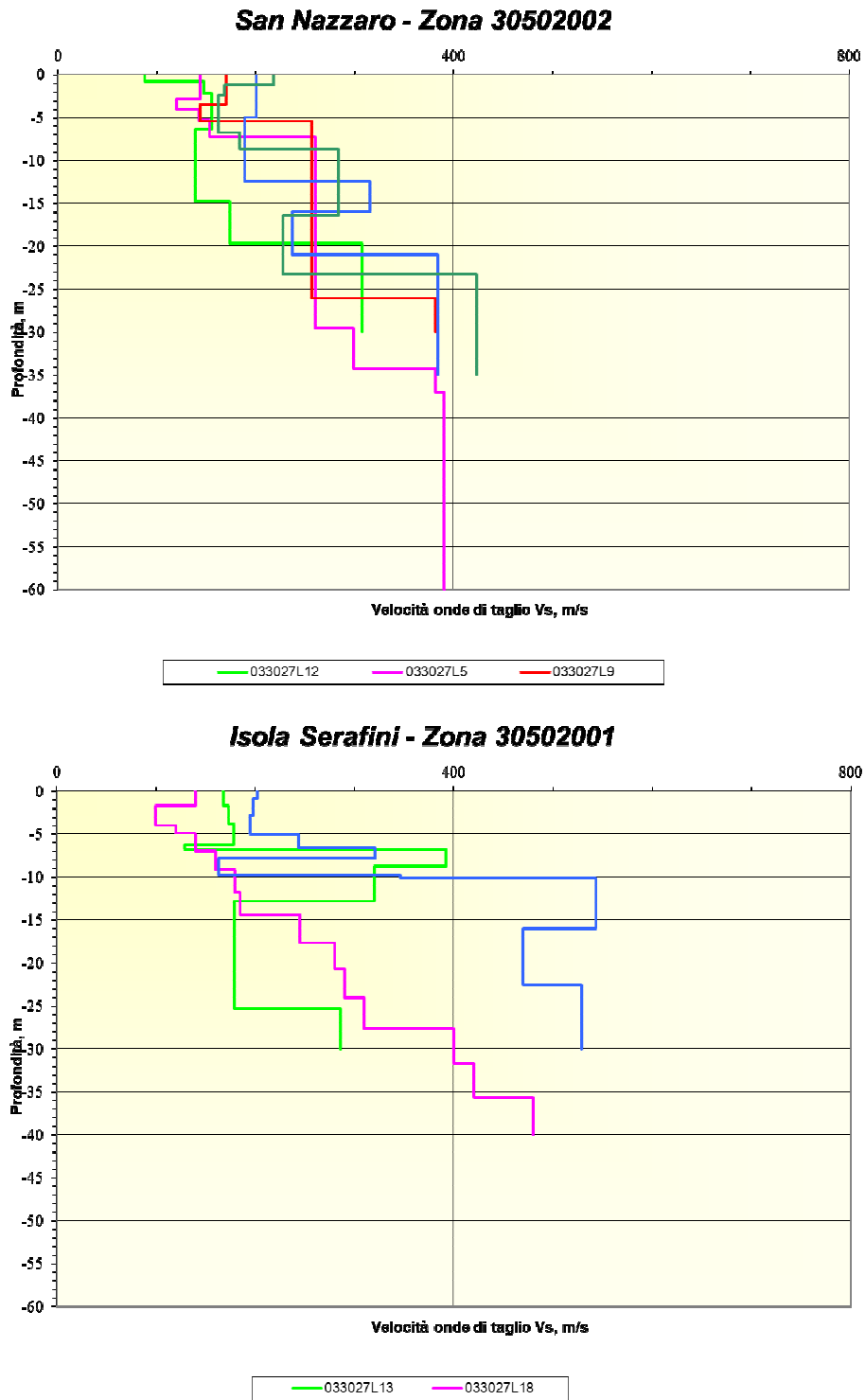


Figura 19 - Andamento profilo Vs in corrispondenza dei centri abitati principali

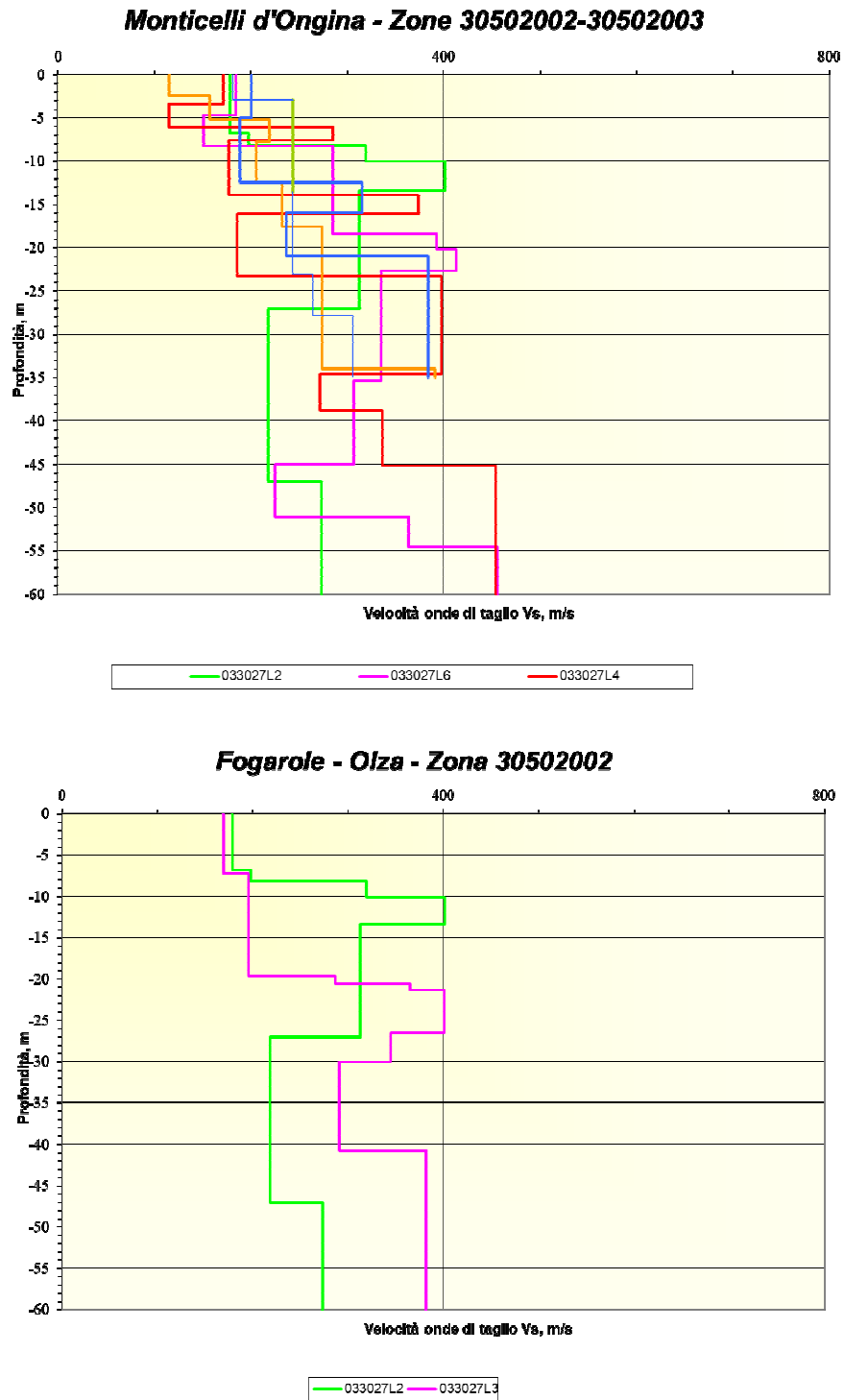


Figura 20 - Andamento profilo V_s in corrispondenza dei centri abitati principali

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.

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 6-14), secondo gli intervalli indicati negli Standard di rappresentazione, considerando le classi di quantificazione indicati dalla DGR 476/2021 e 564/2021; l'amplificazione per motivi stratigrafici, eventualmente incrementati con il fattore di amplificazione per cause topografiche S_T , comprendono :

- FA PGA relativa all'accelerazione massima al tempo T_0
- FA SA1 - FA SA2 - FA SA 3 – 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) delle DGR 476/2021 e 564/2021; gli ambienti geolitologici 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 padana e costa adriatica che comprende anche il settore di transizione Appennino-Pianura (Margine).

Per i settori indagati nello studio di microzonazione sismica di livello 2 per il territorio di Monticelli d'Ongina, l'ambito geo-litologico individuato è quello di Pianura 2, di seguito descritto con il relativo abaco per la determinazione dei fattori di amplificazione :

PIANURA 2: settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m da p.c. e dal tetto del substrato rigido a circa 150 m da p.c.;

V _{s30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
PGA	1,7	1,7	1,7	1,6	1,5	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	2,7	2,7	2,4	2,1	1,9	1,8
SA3	3,3	3,2	2,8	2,5	2,3	2,1
SA4	3,3	3,1	2,7	2,4	2,1	1,9

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

V _{s30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SI1	2,0	2,0	1,9	1,8	1,7	1,6
SI2	3,1	3,0	2,7	2,4	2,1	2,0
SI3	3,6	3,3	2,9	2,5	2,2	2,0

Fattori di Amplificazione **SI1** (0,1s ≤ T ≤ 0,5s), **SI2** (0,5s ≤ T ≤ 1,0s), **SI3** (0,5s ≤ T ≤ 1,5s)

Per quanto riguarda gli effetti di amplificazione topografica non si prefigurano situazioni in cui valutare tale condizione sulla base delle procedure di all'Allegato A.2.2 della DGR 476/2021. Come previsto dalle DGR 476/2021 e 564/2021 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 g) secondo la seguente espressione :

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

ove :

AS_{I_{UHS}} : integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato per l'intervallo di periodi 0,1s ≤ T ≤ 0,5s

ΔT = 0,4s

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

Gli esiti della microzonazione in termini di amplificazione, ricavati con l'approccio semplificato, rappresentati nelle Carte di microzonazione sismica allegate (Tavole 6-14), sono raccolti nella tabella seguente.

Tabella 4 - Fattori di amplificazione stratigrafica per microzonazione sismica

Zona	V _{s30} (m/s)	F _{PGA}	F _{A0105}	F _{A0408}	F _{A0711}	F _{A0515}	F _{H0105}	F _{H0510}	F _{H0515}	H _{SM} (g)
30502001	195-210	1,7	1,8	2,7	3,2	3,1	2,0	3,0	3,2-3,3	0,35
30502002	180-225	1,7	1,8	2,4-2,7	2,9-3,2	2,8-3,2	1,9-2,0	2,8-3,0	3,1-3,4	0,35-0,37
30502002	240-270	1,7	1,8	2,3-2,4	2,7-2,9	2,6-2,8	1,9	2,6-2,8	2,7-3,0	0,35-0,37
30502003	240-300	1,6-1,7	1,8	2,1-2,5	2,5-2,9	2,4-2,8	1,8-1,9	2,4-2,7	2,5-3,0	0,36-0,37

9.6.1 Valutazione preliminare della suscettibilità alla liquefazione

Al fine di una valutazione preliminare della suscettibilità alla liquefazione, sono state impiegati i risultati delle prove CPTU eseguite per il presente studio in località Fogarole (P289), Olza (P290), San Nazzaro (P291), Monticelli Campo Sportivo (P292) e Monticelli Municipio (P293), utilizzando correlazioni empiriche impiegando l'approccio di Boulanger e Idriss (2014), per valutare il Potenziale di liquefazione IL .

$$I_L = \int_0^{z_{crit}} F(z) \cdot w(z) \cdot dz \quad w(z) = \frac{200}{z_{crit}} \cdot \left(1 - \frac{z}{z_{crit}}\right)$$

in cui

z_{crit} è la profondità massima alla quale strati liquefatti producono effetti in superficie che di norma si assuma pari a 20 m

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

La variabile $F(z)$ vale (Sonmez, 2003):

$$F(z) = 0 \text{ per } FL \geq 1.2$$

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

$$F(z) = 1 - FL \text{ per } FL \leq 0.95$$

In base al valore stimato del Potenziale di liquefazione IL vengono definite le seguenti classi di pericolosità di liquefazione secondo la classificazione di Sonmez (2003) :

Tabella 5 - Classi di pericolosità di liquefazione in funzione di IL

IL	PERICOLOSITA' LIQUEFAZIONE
IL = 0	Non liquefacibile
0 < IL ≤ 2	Potenziale basso
2 < IL ≤ 5	Potenziale medio
5 < IL ≤ 15	Potenziale alto
IL > 15	Potenziale molto alto

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

$$MSF = 6,9 \cdot \exp\left(-\frac{M}{4}\right) - 0,058 \leq 1,8$$

- 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).

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 $M_w = 6,14$ (pari alla magnitudo momento massima attesa, M_{wmax} , per la zona 911, vedi zonazione sismogenetica ZS9, come indicato in ICMS, 2024);
- ag_{max} suolo = 0,15 g per il sito San Nazzaro P291 e pari a 0,14 g per le restanti verticali tenendo conto di un'accelerazione ag rispettivamente pari a 0,089 g e 0,083/0,085 g, moltiplicata per amplificazione F_a PGA pari a 1,7 per il settore in esame con riferimento ad un tempo di ritorno di 475 anni;
- quota piezometrica in condizioni di sisma pari a 1,00 m. dal p.c. per il sito San Nazzaro P293, e pari a 5,00 m per le restanti verticali
- verifica fino alla profondità di 20 m dal p.c.

Le elaborazioni eseguite, riportate in Allegato 2, comprendenti le valutazioni litologiche e l'andamento del fattore di sicurezza con la profondità, forniscono valori del potenziale di liquefazione IL, sinteticamente rappresentati nella figura 21, pari a 0 (pericolosità nulla) per quattro verticali indagate mentre per la verticale P293 San Nazzaro IL assume valore di 1,344, cioè pericolosità bassa secondo la classificazione di Sonmez (2003):

Prova CPTU	IL	Pericolosità liquefazione
033027P291	0.000	Nulla
033027P292	0.000	Nulla
033027P293	1,344	Bassa
033027P294	0.000	Nulla
033027P295	0.000	Nulla

Ribadendo il carattere preliminare delle valutazioni eseguite, gli ambiti di studio, come illustrato nel capitolo 9.4, sono stati inseriti nelle Zone di attenzione per liquefazione in relazione alla presenza di significativi spessori di sedimenti sabbiosi immersi in falda ed al limitato numero delle verticali indagate rispetto al territorio investigato.

Fiorenzuola d'Arda, novembre 2025

Studio Geologico Ambientale

Dr. Geo. Gabriele Corbelli



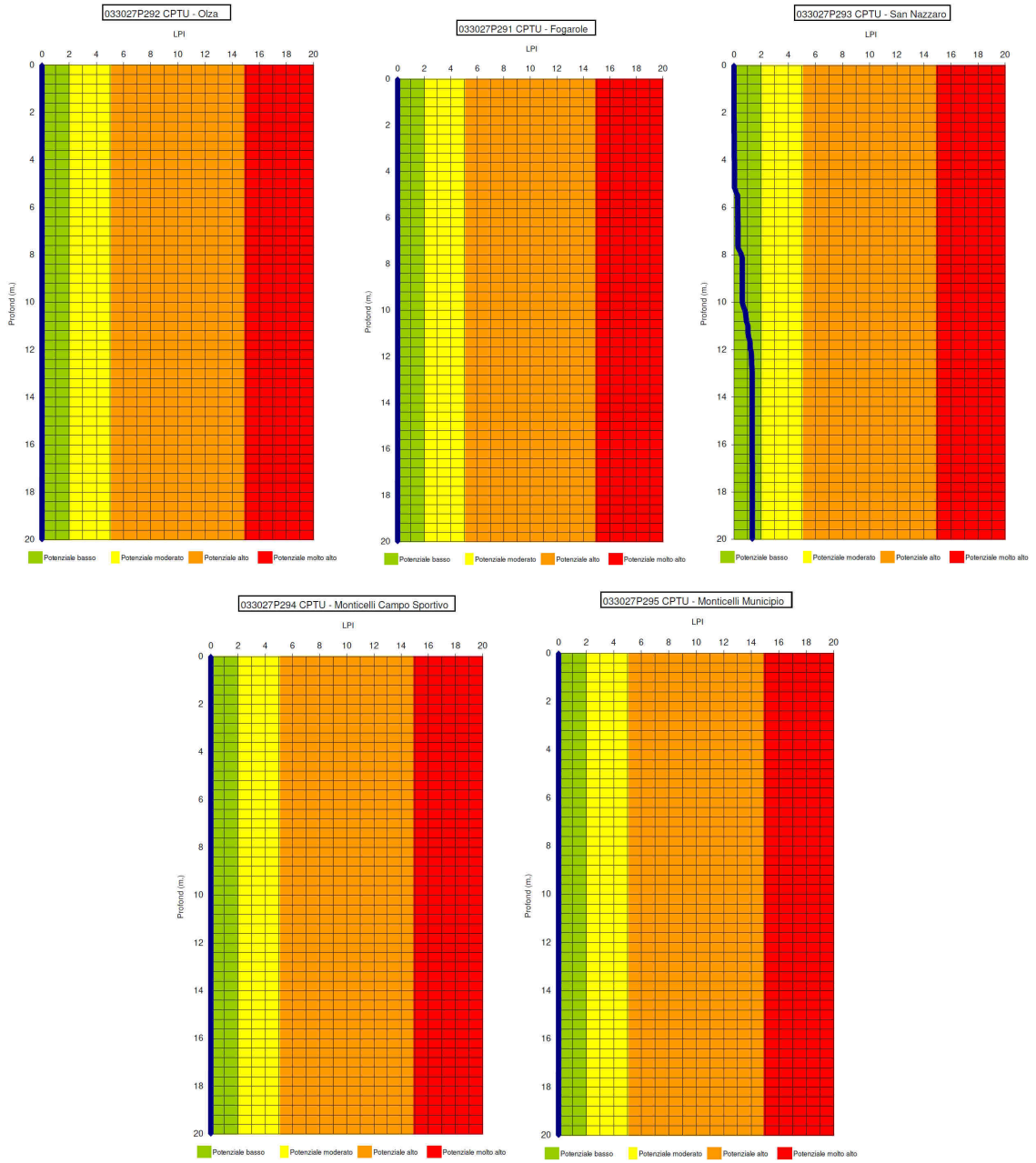


Figura 21 - Diagramma indice potenziale di liquefazione IL (Sonmez) sulla base delle prove CPTU-