

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

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione illustrativa

Regione Emilia–Romagna

Comune di Castel San Giovanni



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

1	PREMESSA	2
2	ELABORATI A CORREDO DELLO STUDIO.....	3
3	PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE.....	4
	3.1 - Inquadramento tettonico	4
	3.2 - Inquadramento sismotettonico.....	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	27
6	MODELLO DEL SOTTOSUOLO.....	29
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	39
	9.5 - Carta delle velocità delle onde di taglio S.....	41
	9.6 - Carta di Microzonazione Sismica – Livello 2	46
	9.6.1 Valutazione preliminare della suscettibilità alla liquefazione.....	48

1 PREMESSA

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

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

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

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

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

2 ELABORATI A CORREDO DELLO STUDIO

Gli elaborati dello studio di microzonazione sismica per il Comune di Castel San Giovanni 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: PGA1:10.000 (Tav. 6)
 7. Carta dei Fattori di Amplificazione: SI 0,1-0,5s 1:10.000 (Tav. 7)
 8. Carta dei Fattori di Amplificazione: SI 0,5-1,0s 1:10.000 (Tav. 8)
 9. Carta dei Fattori di Amplificazione: SI 0,5-1,5s 1:10.000 (Tav. 9)
- Indagini sismiche eseguite per studio MS

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

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

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

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

3 PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

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

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

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

3.1 - Inquadramento tettonico

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.

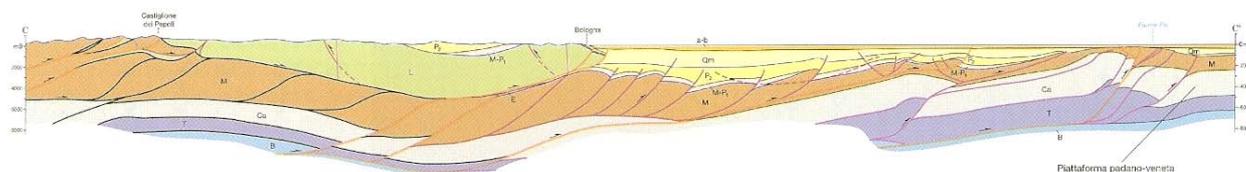


Figura 1 - Sezione dello schema tettonico dei thrust appenninici.

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 il F. Panaro e il F. Reno.

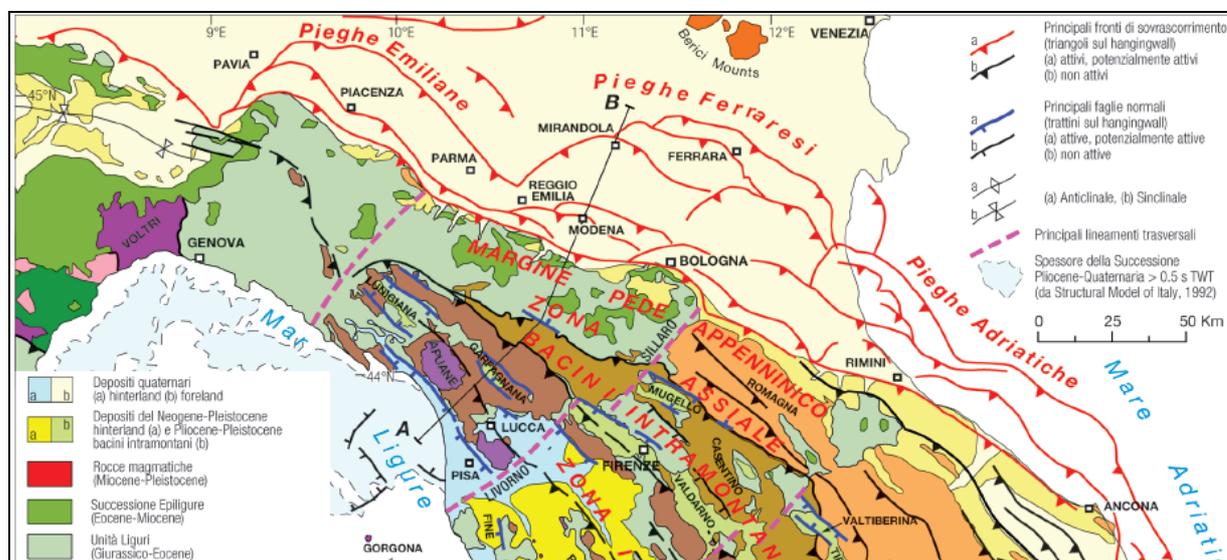


Figura 2 - Estratto dello schema tettonico dell'Appennino settentrionale e della Pianura Padana

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.

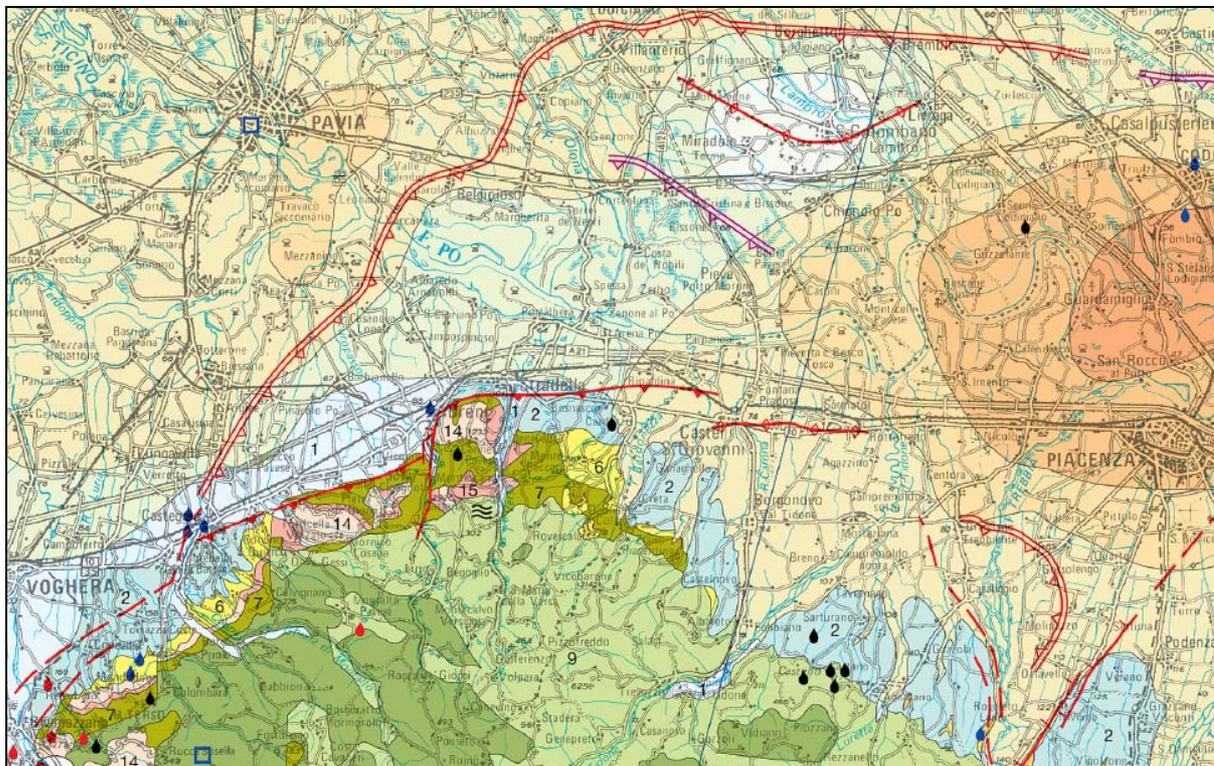


Figura 3 - Estratto Carta Sismotettonica della Regione E.R. – Servizio Geologico Regionale - 2017

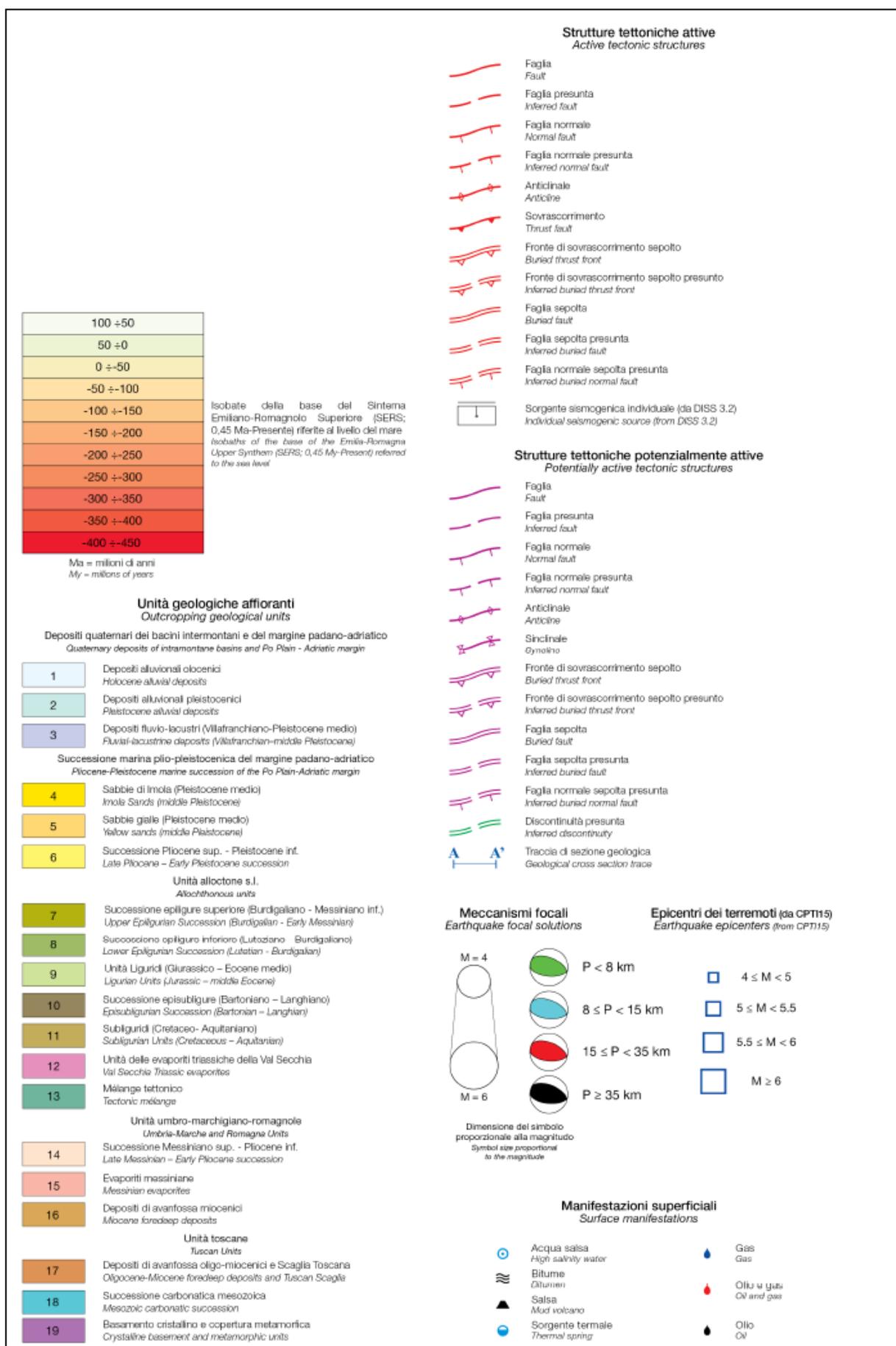


Figura 4 - Legenda Carta Sismotettonica della Regione E.R. – Servizio Geologico Regionale - 2017

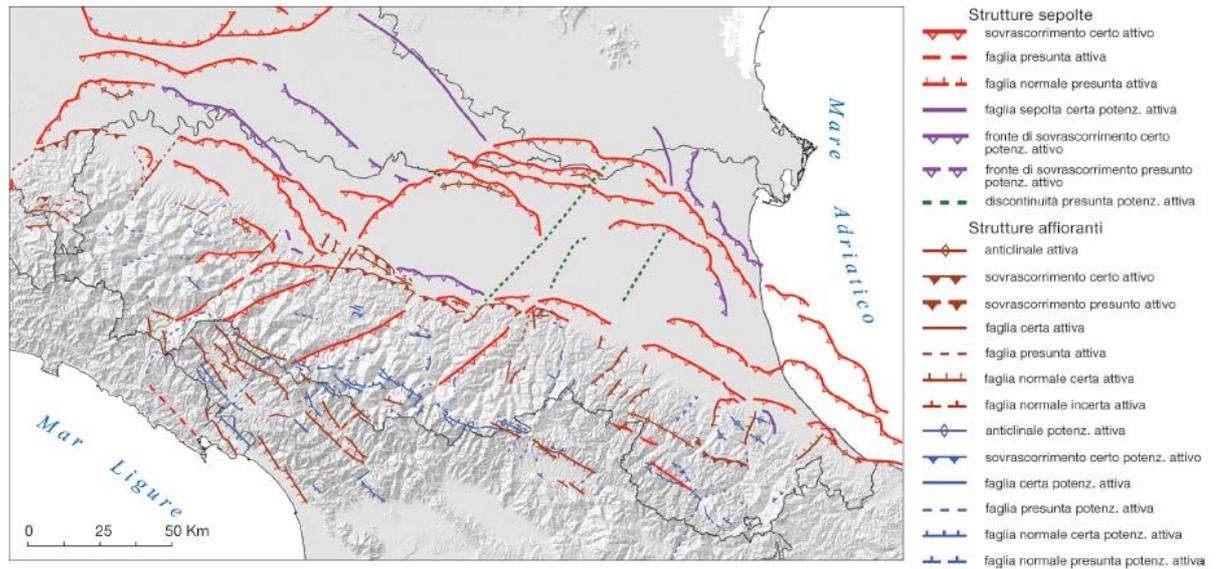


Figura 5 - Sintesi regionale delle principali strutture attive e potenzialmente attive (fonte Carta Sismotettonica della Regione E.R. – Servizio Geologico Regionale – 2017)

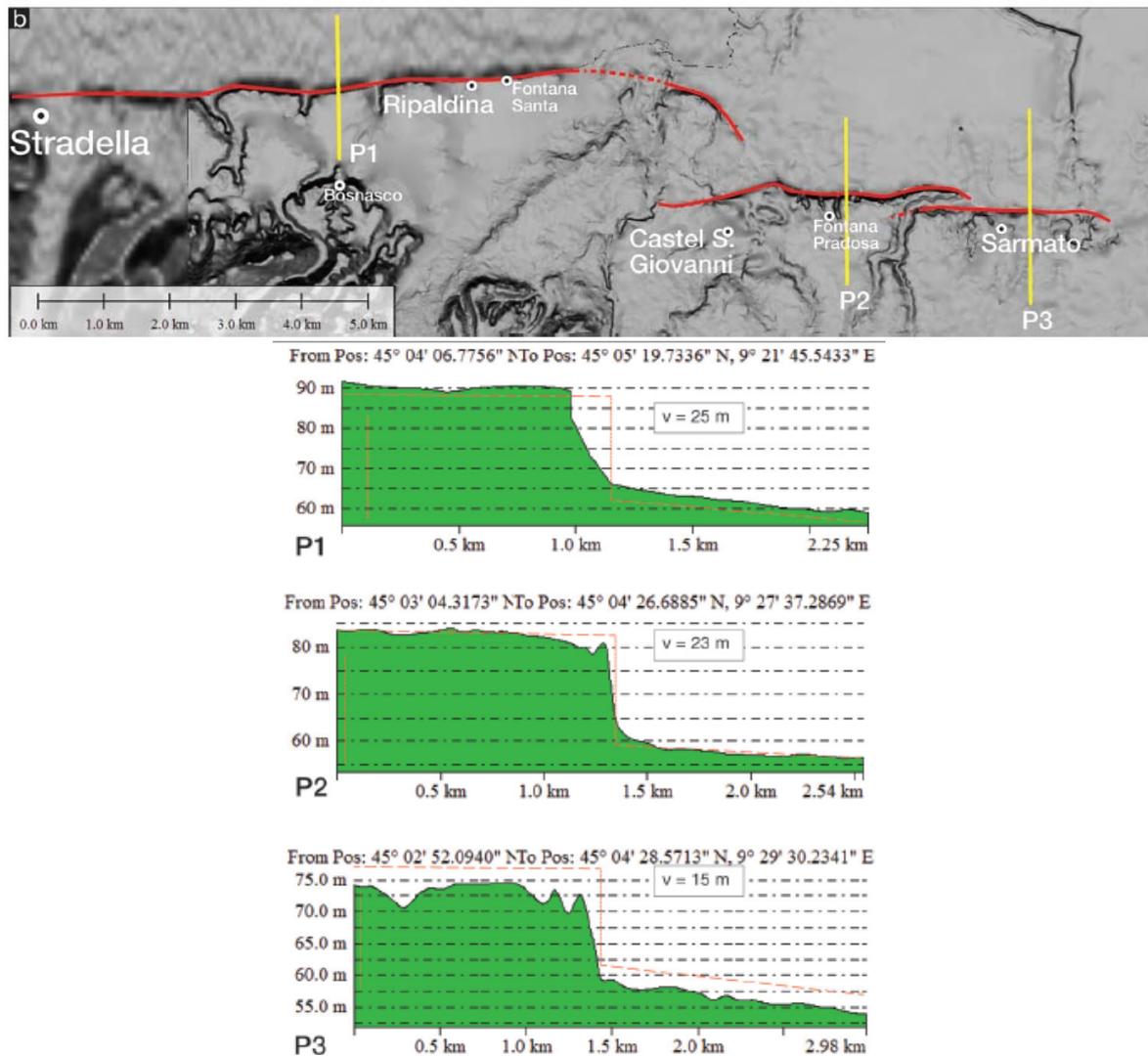


Figura 6 - Dettaglio della struttura tettonica nel tratto Stradella-Sarmato interpretata dagli studi del Servizio Geologico regionale

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 Castel San Giovanni, 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 Castel San Giovanni, 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), di cui la scarpata di Fontana Pradosa ne rappresenta un esempio, come 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).

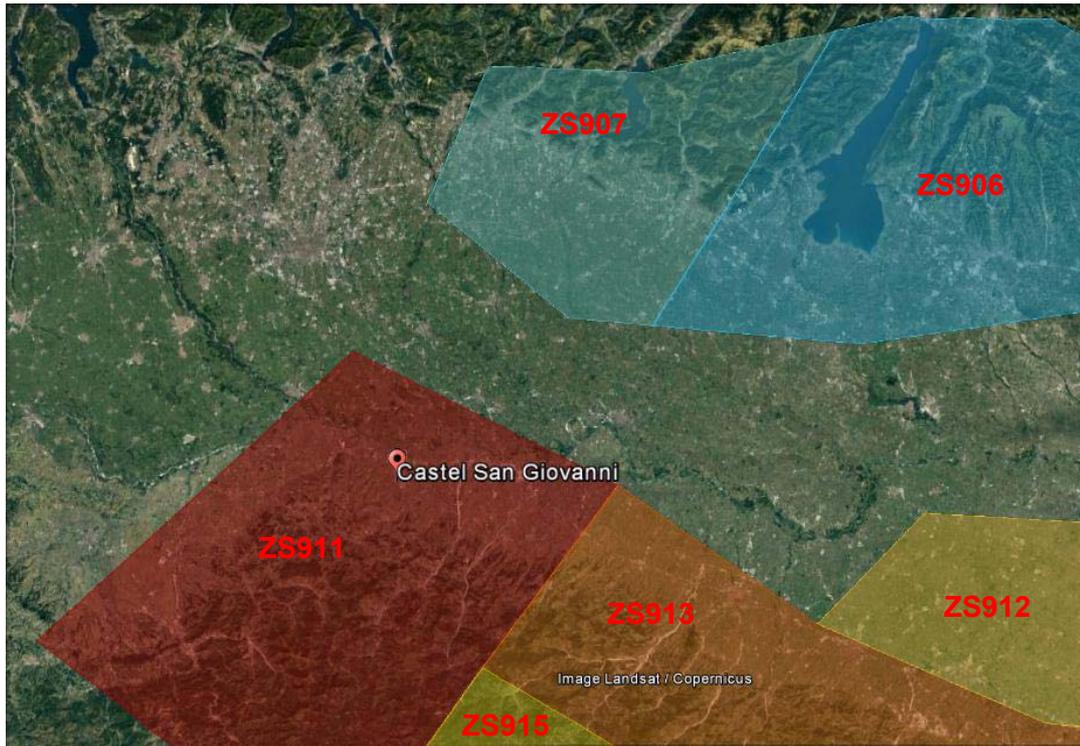


Figura 7 - Zonazione sismogenetica ZS9 – I.N.G.V. 2004

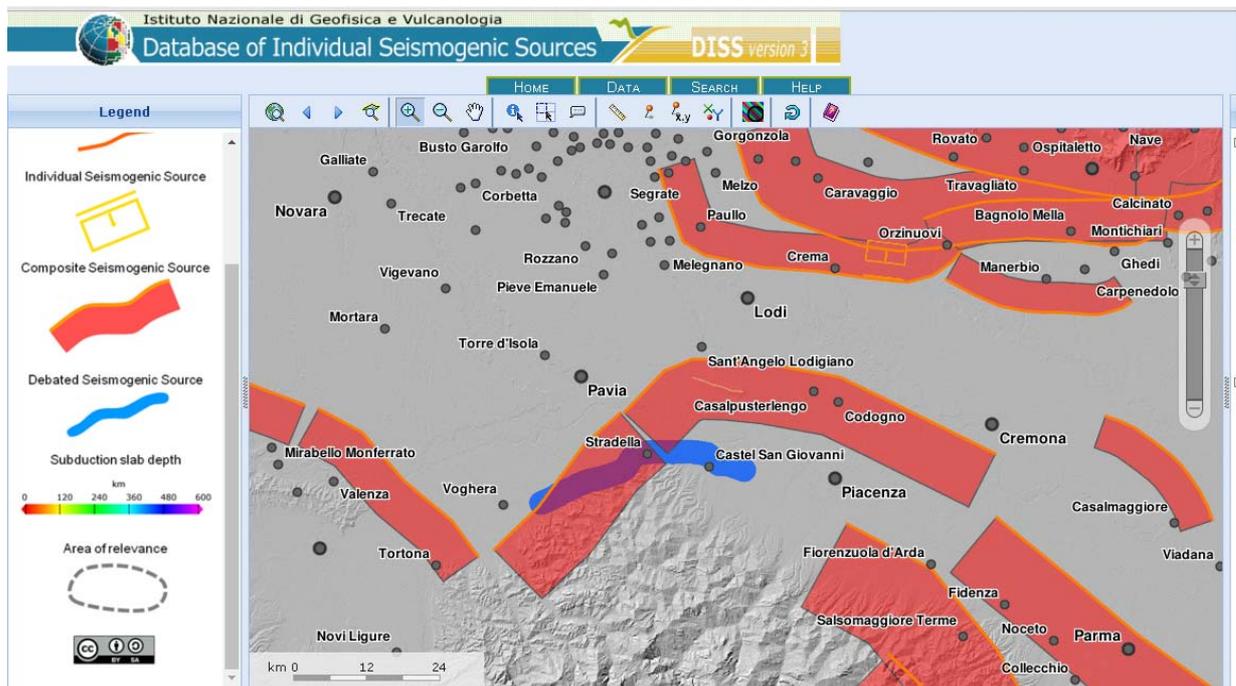


Figura 8 - Distribuzione delle sorgenti sismogenetiche contenute in DISS 3.2.1, rappresentate in colore arancione; in colore blu sono rappresentate le sorgenti

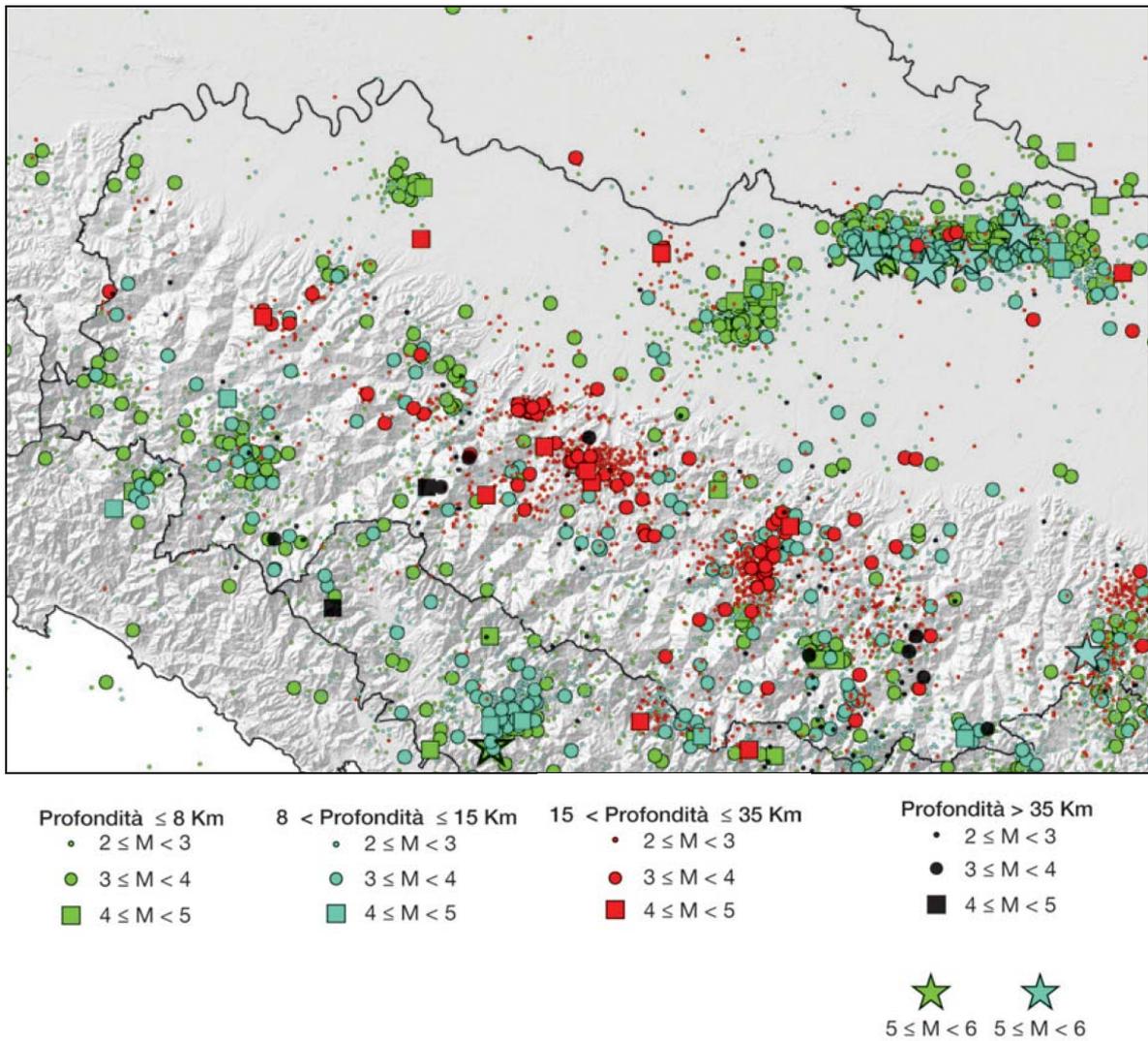


Figura 9 - Mappa dei terremoti strumentali $MW \geq 2$; la dimensione del simbolo e proporzionale alla magnitudo, il colore indica la profondità ipocentrale (fonte Carta Sismotettonica della Regione E.R. – Servizio Geologico Regionale – 2017)

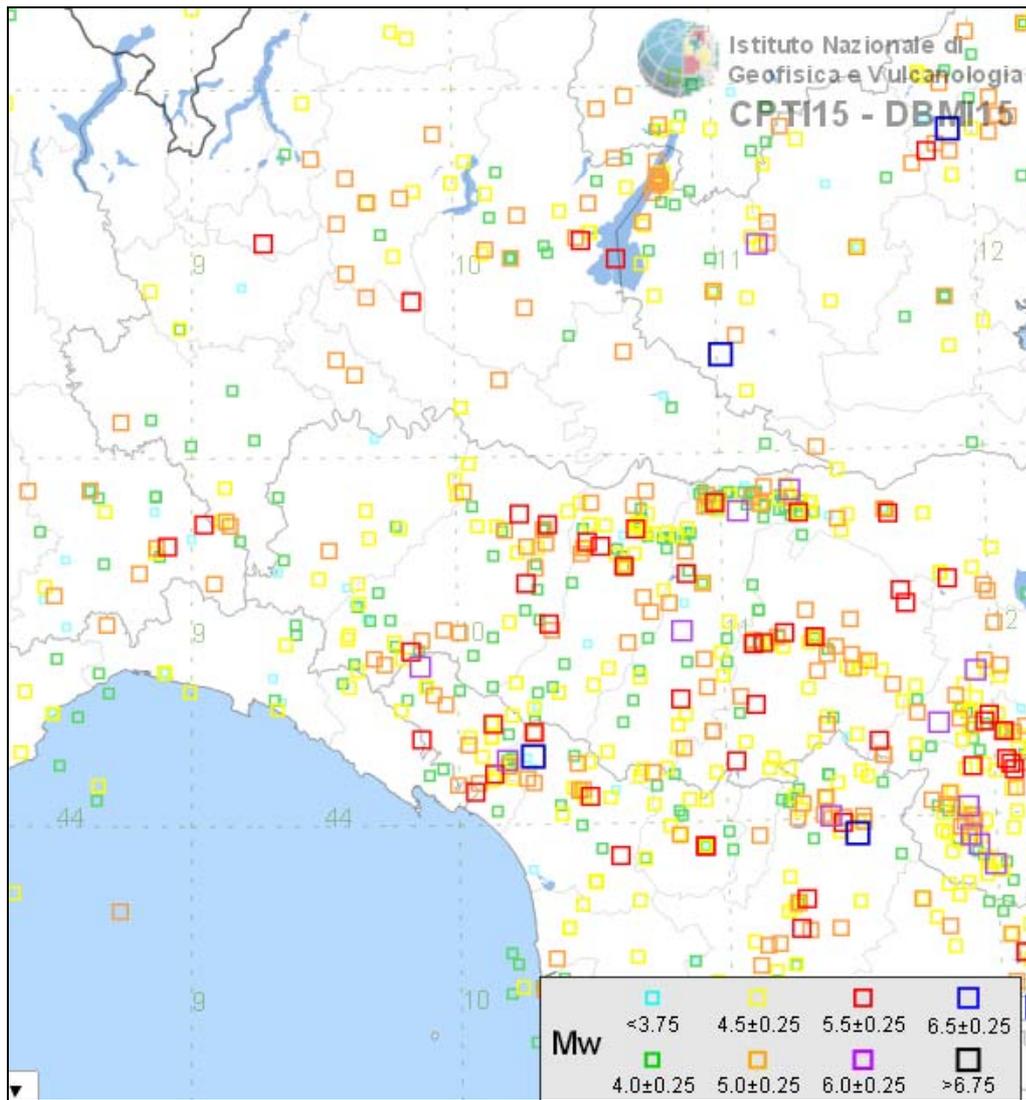


Figura 10 - Distribuzione degli epicentri (anni dal 1000 al 2014) per classi di magnitudo relativa al Catalogo CPT15. Rovida A., Locati M., Camassi R., Loli B., Gasperini P. (eds), 2016. CPT15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.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

Castel San Giovanni

PlaceID IT_34733
 Coordinate (lat, lon) 45.059, 9.433
 Comune (ISTAT 2015) Castel San Giovanni
 Provincia Piacenza
 Regione Emilia-Romagna
 Numero di eventi riportati 8

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
3-4	1901	01	23	00	17	1	Oltrepò Pavese	90	5	4.2
6	1951	05	15	22	54		Lodigiano	179	6-7	5.1
2	1960	03	23	23	10		Vallese	178	7	5.0
3	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.0
NF	1986	12	06	17	07	1	Ferrarese	604	6	4.4
4	2003	04	11	09	26	5	Valle Scrivia	78	6-7	4.8
NF	2005	04	13	18	46	0	Valle del Trebbia	163	4	3.6
3	2005	04	18	10	59	1	Valle del Trebbia	284	4	3.9

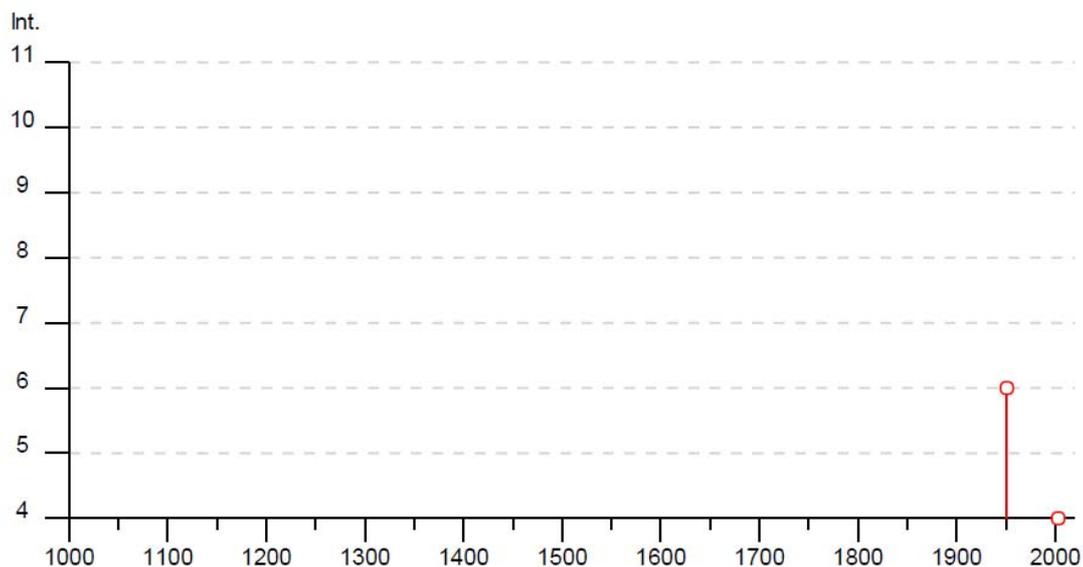


Figura 11 - Principali terremoti storici registrati a Castel San Giovanni e relativa intensità macrosismica (fonte INGV).

3.5 - Classificazione sismica

La classificazione sismica del territorio regionale, aggiornata con D.G.R. 1164/2018, fa rientrare il Comune di Castel San Giovanni 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.

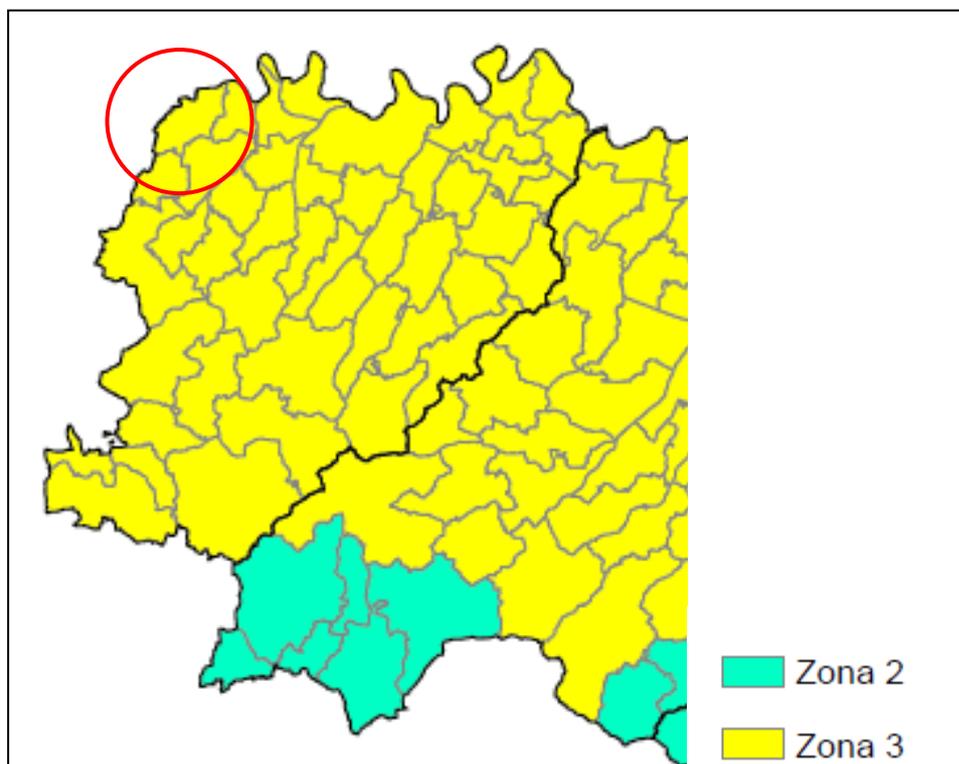


Figura 12 - Classificazione sismica del territorio regionale DGR 1164/2018

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

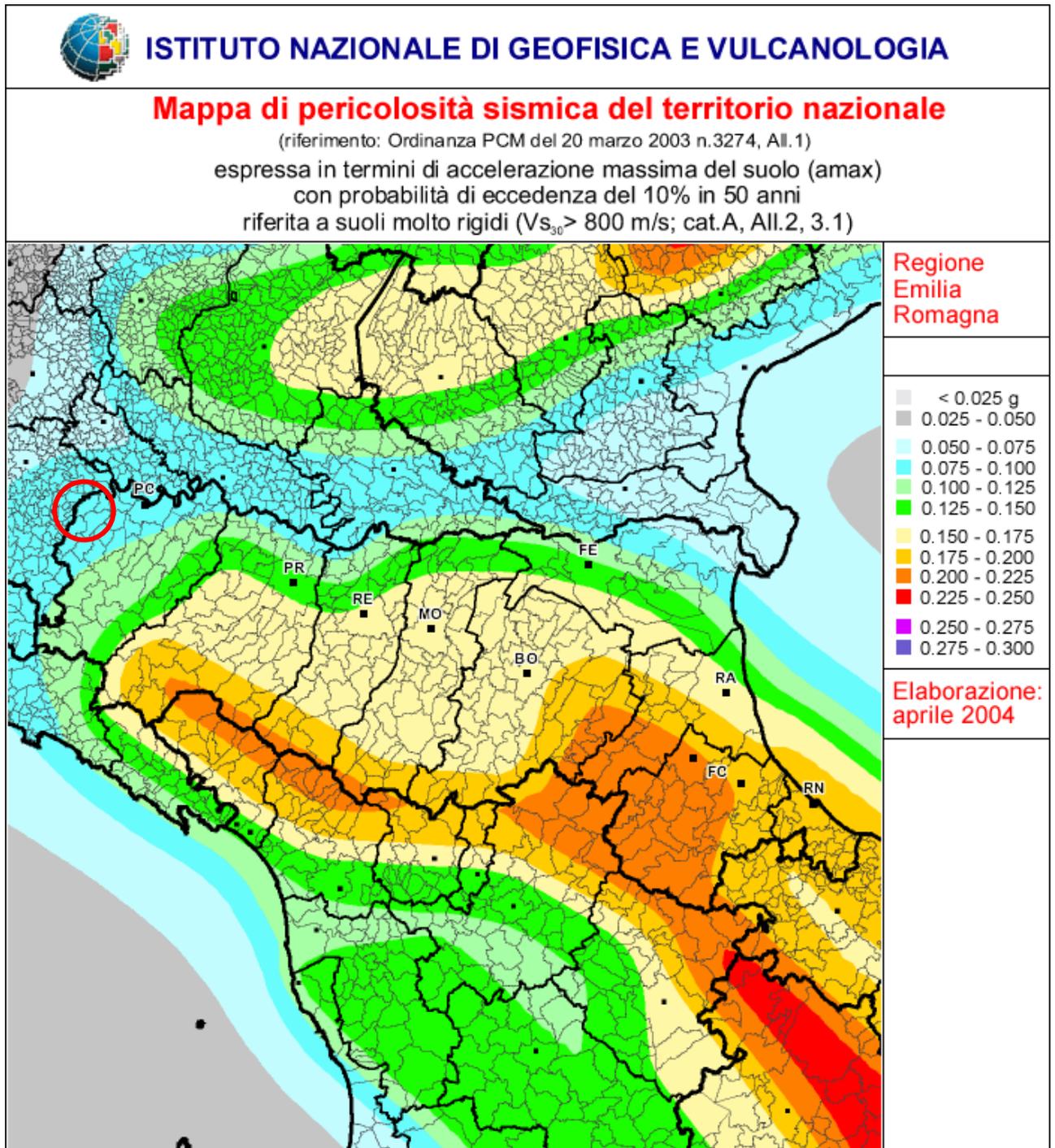


Figura 13 - Mapa di pericolosità sismica in termini di a_{max} (INGV 2004)

4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

Il territorio comunale di Castel San Giovanni, esteso dal margine collinare appenninico fino alla fascia di bassa pianura limitata a nord dal Fiume Po, è sommariamente suddivisibile, sotto il profilo geologico, nella fascia di pianura a nord e nella fascia pedecollinare a sud.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ALLOGRUPPO EMILIANO ROMAGNOLO

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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 intravallivi terrazzati e depositi di interconoide rispettivamente. Il profilo di alterazione varia da qualche decina di cm fino ad 1 m ed è di tipo A/Bw/Bk(C). Il contatto di base è discontinuo, spesso erosivo e discordante, sul substrato pliocenico e su AES2, AES3 e AES7. La differenziazione del colore dell'unità, indica l'ambiente deposizionale prevalente nei primi 1.5 - 2.0 m dal piano campagna : (g) ambiente di conoide a ghiaie da grossolane a fini con matrice sabbiosa o, più raramente argillosa; (it) ambiente di canale-argine-tracimazione indifferenziati in zona intravalliva incastonati in livelli terrazzati;(pi) ambiente di piana inondabile a limi ed argille finemente stratificati con possibili livelli di materiale organico;Lo spessore massimo dell'unità è inferiore a 20 metri. Pleistocene superiore - Olocene; post circa 18.000 anni B.P.

AES8a - Unità di Modena

Sabbie prevalenti e subordinate ghiaie e ghiaie sabbiose, ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua. Il profilo di alterazione è di esiguo spessore (poche decine di cm) e di tipo A/C, localmente A/Bw/C. Lo spessore massimo dell'unità è di alcuni metri; ambiente di piana fluviale meandriforme. Olocene; post IV-VII sec. d.C.

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). I depositi intravallivi sono spesso terrazzati. Il profilo di alterazione dell'unità è

molto evoluto, raggiunge i 6-7 m di profondità ed è di tipo Btb/Btcb/BCb/Ckb/Cb sulle litofacies grossolane e di tipo A/Bw/Bkss sulle litofacies fini. L'unità presenta una copertura fine, composita, dello spessore massimo di 4 m, costituita da limi e limi argillosi giallastri contenenti manufatti del Paleolitico medio. Il suo profilo di alterazione è molto evoluto e di tipo A/E/Bt/Btc/Btb/Btcb/Btb/Btcb. Il contatto di base è erosivo e discordante sulle unità AES1/2 e sulle unità plioceniche. Spessore massimo di circa 25-30 metri. Pleistocene superiore

AES3 - Subsistema di Agazzano

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). I depositi intravallivi sono spesso terrazzati. Il profilo di alterazione dell'unità è molto evoluto, raggiunge i 6-7 m di profondità ed è di tipo Btb/Btcb/BCb/Ckb/Cb sulle litofacies grossolane e di tipo A/Bw/Bkss sulle litofacies fini. L'unità presenta una copertura fine, composita, dello spessore massimo di 4 m, costituita da limi e limi argillosi giallastri contenenti manufatti del Paleolitico medio. Il suo profilo di alterazione è molto evoluto e di tipo A/E/Bt/Btc/Btb/Btcb/Btb/Btcb. Il contatto di base è erosivo e discordante sulle unità AES1/2 e sulle unità plioceniche. Spessore massimo di circa 25-30 metri. Pleistocene medio

- ALLOGRUPPO QUATERNARIO MARINO

E' costituito da terreni depositi in ambienti sedimentari di prodelta, piattaforma, fronte deltizio, piana deltizia e di delta-conoide.

Affiora in modo pressoché continuo al di sopra delle argille plioceniche e con giacitura costantemente tra N e NE lungo tutta la fascia di raccordo tra l'Appennino e l'alta pianura; nel settore investigato è segnalato in un limitato affioramento al limite meridionale del territorio comunale, presso Creta.

CMZ - Sistema di Costamezzana

Unità costituita da corpi metrici lenticolari di ghiaie, raramente gradate, amalgamate con matrice sabbiosa e clasti pelitici anche di grandi dimensioni (metrici), sabbie medie o fini ben selezionate con localmente sviluppo di stratificazione obliqua, laminazione piano-parallela, HCS. Intercalazioni lenticolari di ghiaie fini e medie in matrice sabbiosa. Argille e limi grigio-nerastri fossiliferi e bioturbati, frustoli vegetali. Depositati di fan-delta e di ambienti marino-marginali e continentali. Contatto basale erosivo o netto e discordante su ATS, BAD e il substrato ligure. Spessore massimo compreso tra i 50 e gli 80 m. Pleistocene inferiore

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

La zona pedecollinare presenta i caratteri tipici della zona, caratterizzata da paleosuperfici, costituite da depositi alluvionali Pleistocenici ricoperti sedimenti marini del Pliocene superiore, profondamente incise e smembrate dall'azione erosiva dei corsi d'acqua, che hanno finito per suddividerle in tanti costoni a sommità più o meno pianeggiante, delimitati lateralmente da scarpate di erosione fluviale anche terrazzate.

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 di Fontana Pradosa raggiunge un'altezza di quasi 20 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 individua esclusivamente un lembo di un paleomeandro antico, posto a nord di C.na Colombarolo.

Per quanto riguarda i fenomeni di dissesto gravitativo, in relazione alle caratteristiche geologico-geomorfologiche del territorio comunale, i fenomeni franosi risultano localizzati nel settore collinare ed assumono rilevanza estremamente ridotta in termini di numero ed estensione. Occorre al proposito sottolineare come l'Inventario del Dissesto della Regione Emilia Romagna non abbia cartografato alcun dissesto nel territorio comunale.

Si tratta di frane quiescenti impostate nell'ambito di versanti a media pendenza, a carattere superficiale, che possono essersi sviluppati in relazione a scarsa regimazione delle acque meteoriche e/o per scalzamento alla base da parte dei corsi d'acqua.

Nel complesso si tratta di dissesti di modeste dimensioni, generalmente ripristinati alle coltivazioni agrarie (in genere vigneti), non presentanti attualmente tracce di movimento.

I versanti che discendono dagli stretti crinali che caratterizzano l'area di Creta, ove prevale la componente argillosa, presentano una discreta predisposizione ai dissesti, anche sottoforma di creep superficiale.

Per quanto riguarda gli aspetti idrogeologici generali, le indagini eseguite in sede di formazione del Quadro Conoscitivo del PSC, avevano consentito la predisposizione della Carta Idrogeologica, riportata nella figura seguente; sulla base delle misurazioni disponibili il territorio comunale presenta valori di soggiacenza crescenti da nord verso sud, distinguendo quattro settori contrassegnati da valori di soggiacenza compresi rispettivamente tra:

- 0-2 m. comprendente il settore nord-orientale compreso tra la ferrovia PC-TO e l'autostrada A21, ed alcuni settori posti in corrispondenza delle depressioni valliformi occupate da Rio Lora, Rio Carona, Rio Cavo, Rio Gambero e Rio Bardoneggia;
- 2-4 m. costituente un'ampia fascia di transizione tra il settore precedente e le fasce della pianura più sopraelevate in quota; comprende anche la porzione di bassa pianura più prossima alla fascia golenale del Fiume Po
- 4-8 m. - rappresentano la fascia di transizione al settore dei pianalti e di pedecollina
- > 8 m.- corrisponde ai settori sommitali dei pianalti antichi e della pedecollina

L'andamento della superficie piezometrica risulta abbastanza regolare, con gradiente decrescente da monte verso valle; nei settori intravallivi, si riscontra un gradiente variabile tra $0,07 \div 0,09\%$, per scendere al $0,04\%$ nel settore di bassa pianura a nord dell'abitato di Castel San Giovanni.

La direzione di deflusso, avente orientamento prevalente verso NE, subisce modificazioni in corrispondenza dalla piana a meandri posta nel settore nord orientale del territorio comunale, influenzata da alimentazioni di subalveo del fiume Po.

Nel complesso sono distinguibili due complessi idrogeologici connessi a differenti sistemi deposizionali, riferibili alle conoidi alluvionali "intermedie" del Tidone e dei corsi d'acqua minori (Carona e Bardoneggia) ed alla pianura alluvionale padana.

I due complessi trovano separazione in corrispondenza della scarpata morfologica, ben individuabile a nord di Fontana Pradosa, 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.

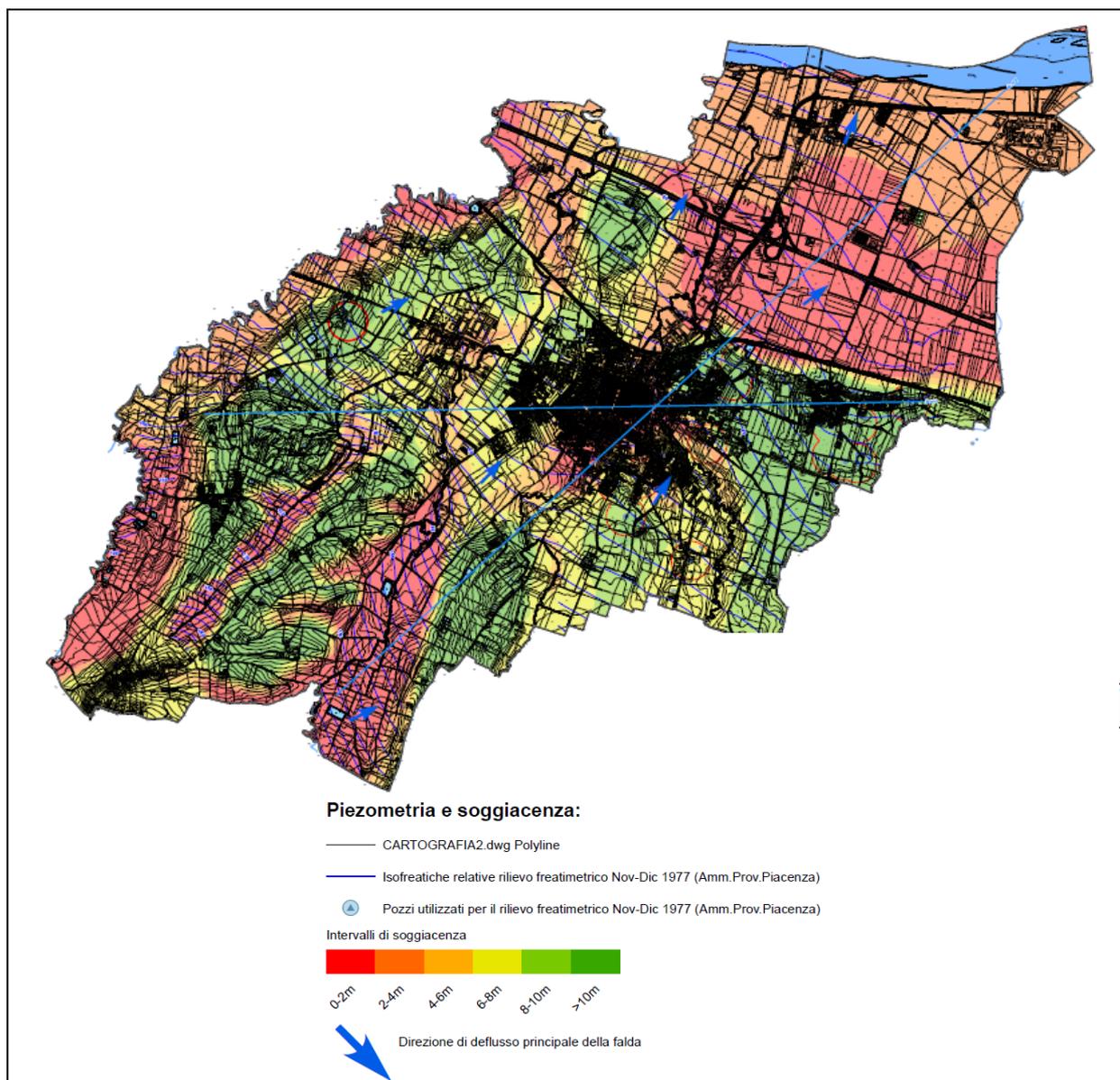


Figura 14 - Carta idrogeologica del territorio comunale – Quadro Conoscitivo PSC di Castel San Giovanni

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° 35 misurazioni di rumore sismico a stazione singola distribuite nell'ambito del territorio urbanizzato e urbanizzabile.
- n° 8 prospezioni sismiche ReMi (Refraction Microtremor) finalizzate alla definizione dei profili di Vsh

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

Tabella 1 - Indagini geognostiche e geofisiche disponibili

Tipologia	Archivio comunale	Database RER	Indagini MS	Totale
Prove penetrometriche leggere	87			87
Prove penetrometriche pesante	52			52
Prove penetrometriche superpesante	20	8		28
Prove penetrometriche a punta meccanica	85	16		101
Prove penetrometriche a punta elettrica	10			10
Prove penetrometriche con piezocono	3			3
Sondaggi geognostici a carotaggio continuo	18	12		30
Pozzetti esplorativi		19		19
Pozzi idrici		61		61
Prove REMI	9		8	17
Prove MASW	17			17
Prove SASW	2			2
Prove HVSR	4		35	39

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 fr del sottosuolo $fr = Vs/4*H$ 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. 15).

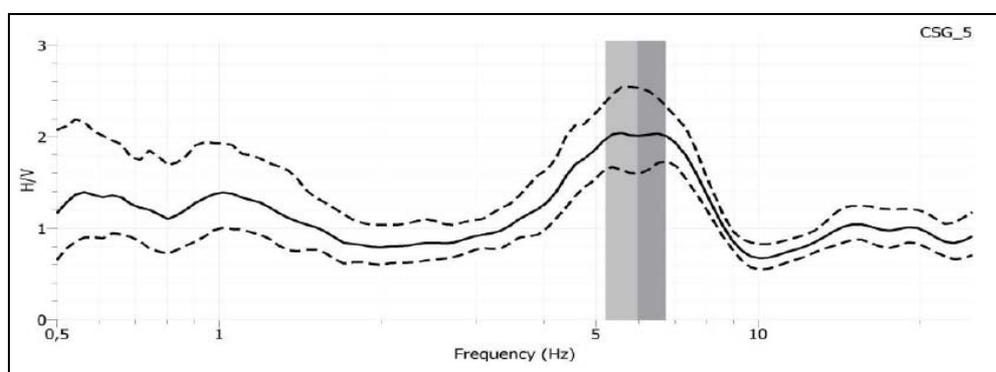


Figura 15 - Esempio di curva H/V della prova 033013P5

Ad integrazione delle indagini geofisiche disponibili sono state inoltre effettuate n°8 prospezioni sismiche impiegando la tecnica REMI (Refraction Microtremor), impiegando sismografo digitale ed impiegando n°24 geofoni da 4,5 Hz., per la determinazione della velocità di propagazione delle onde sismiche superficiali (V_s), utili per la caratterizzazione sismica e per l'elaborazione della micro zonazione semplificata.

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

Tutte le indagini sono state trasformate in formato digitale con modalità georiferita, al fine di consentirne l'elaborazione in ambiente GIS. A tal proposito sia i dati di base, che i dati elaborati sono stati organizzati in formato vettoriale (shapefile).

6 MODELLO DEL SOTTOSUOLO

Il comune di Castel San Giovanni 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 Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore, rappresentato dall'Unità di Modena (AES8a), Subsintema di Ravenna (AES8), Unità di Niviano (AES7a) e Subsintema di Agazzano (AES3); nel settore collinare, ad ovest dell'abitato di Creta, si ritrovano in affioramento i depositi di ambienti marino-marginali e continentali riferibili al Sintema di Costamezzana.

Per una migliore comprensione del modello geologico locale, è stato possibile fare riferimento alle sezioni idrogeologiche (Fig. 17) derivate dal Quadro Conoscitivo del PSC, il cui tracciato è rappresentato nella figura 16, realizzate attraverso la raccolta sistematica delle 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 approfondisce in modo degradante dal margine collinare verso l'asse padano, passando da profondità di alcune decine di metri nel settore di Creta fino a circa - 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 strutturale corrispondente all'allineamento " Sperone di Stradella" - Colle di San Colombano, collocato poco a ovest del territorio di Castel San Giovanni, dove si verifica un sollevamento della struttura appenninica che determina un assottigliamento del materasso alluvionale della valle padana.

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 alle conoidi alluvionali "intermedie" del Tidone e dei corsi d'acqua minori (Carona e Bardoneggia) ed alla pianura alluvionale padana.

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

Al di sotto dei depositi alluvionali, costituiti da prevalenti sedimenti fini-limoso argillosi con intercalazioni ghiaiose, che assumono una certa rilevanza in corrispondenza dell'abitato di Castel San Giovanni, 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.

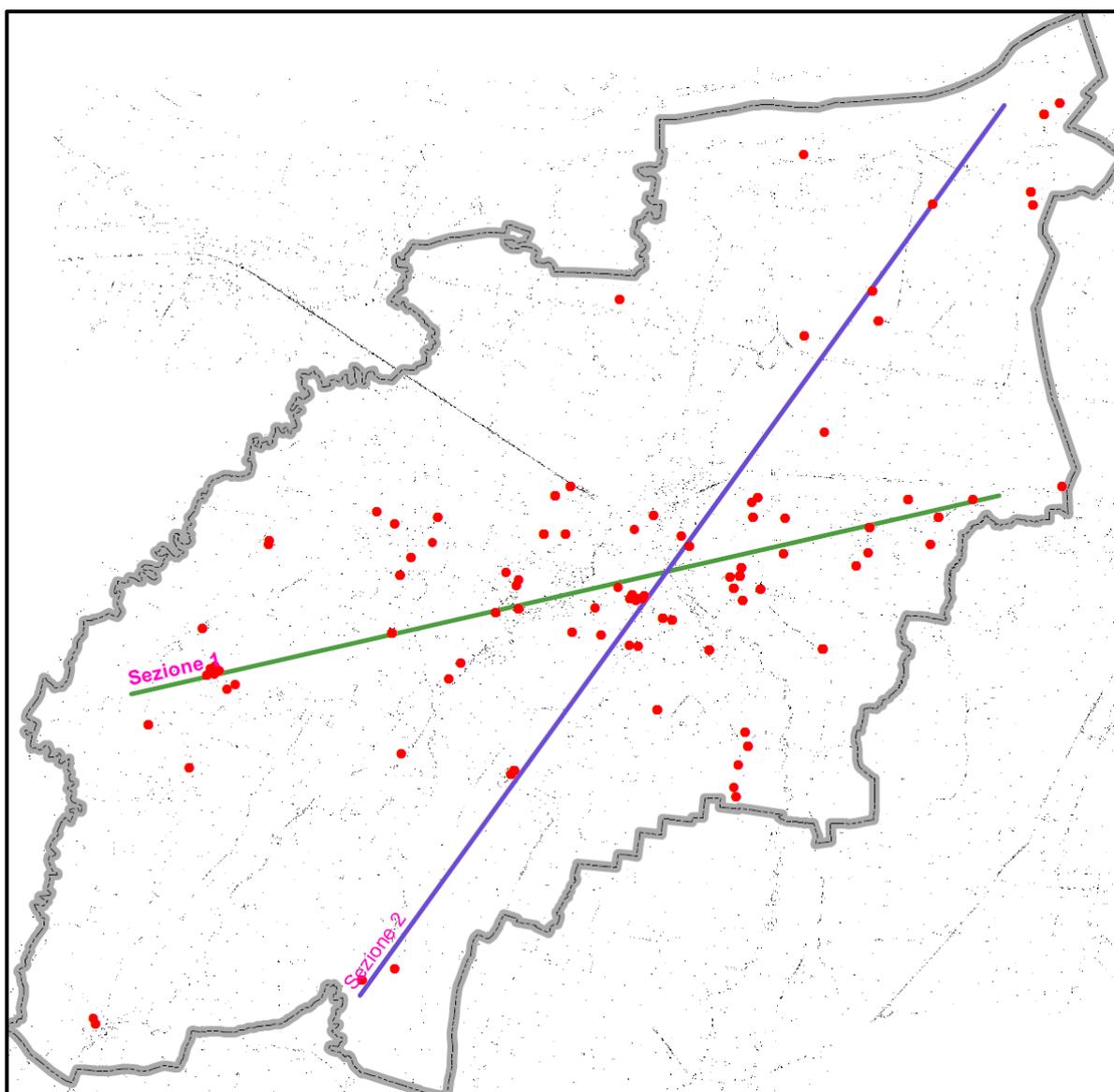


Figura 16 - Cartografia delle sezioni geologiche

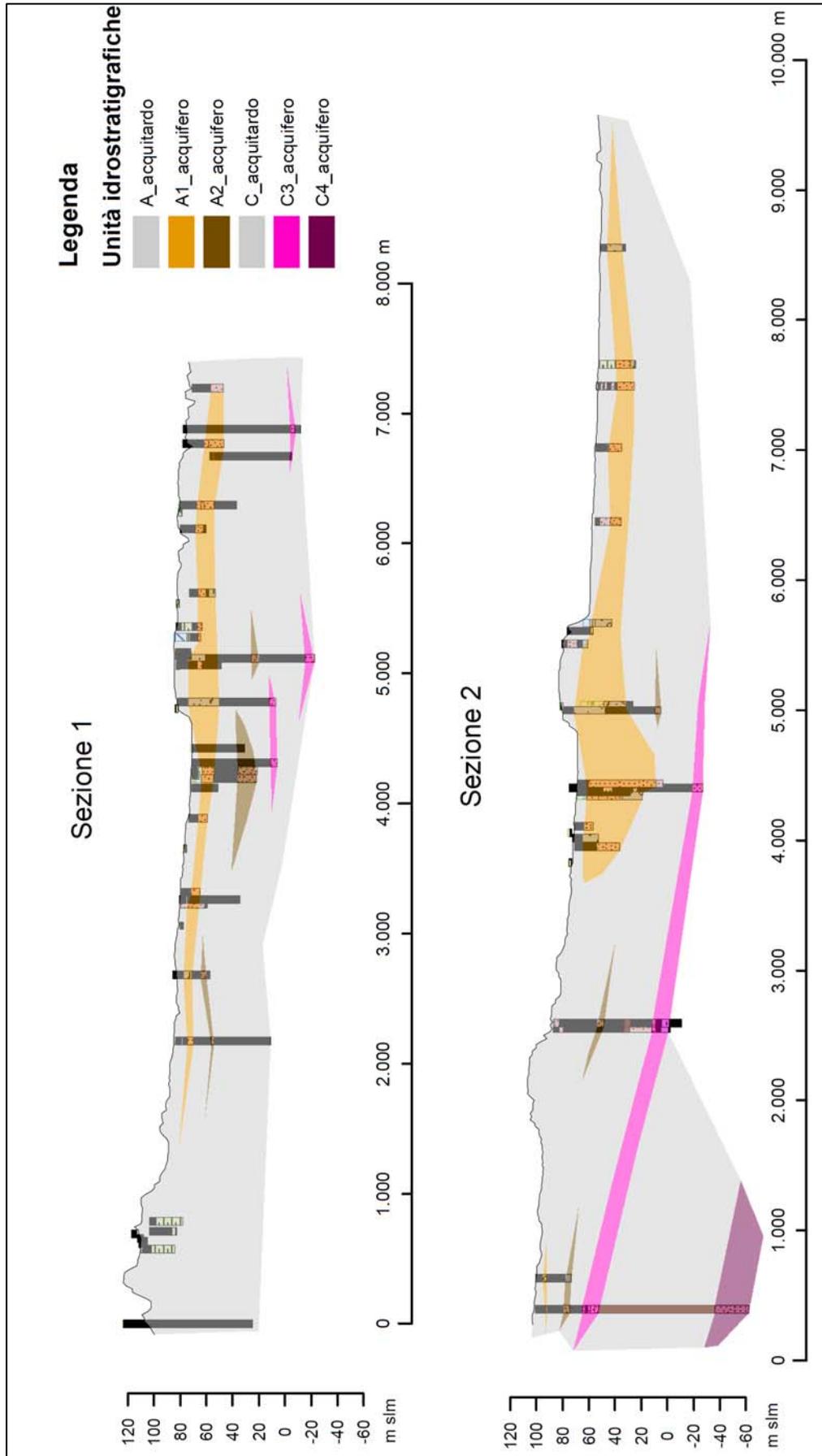


Figura 17 - Sezioni idrogeologiche - da Quadro Conoscitivo PSC di Castel San Giovanni

7 INTERPRETAZIONI ED INCERTEZZE

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

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

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

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

- **Carte di microzonazione sismica – Livello 2:** in cui sono rappresentate le amplificazioni stimate, tramite procedure semplificate, per i vari settori di territorio in esame. L'amplificazione è stata quantificata sia in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA_0), sia di rapporto di Intensità di Housner (S/S_0), per prefissati intervalli di periodi (0,1-0,5s e 0,5-1s). Per la definizione dell'amplificazione sono state utilizzate le tabelle e le formule indicate nell'All. 2 degli Indirizzi regionali.

9 ELABORATI CARTOGRAFICI

9.1 - Carta delle indagini

Nella Carta delle indagini, alla scala 1:10.000, sono state riportate le ubicazioni delle prove di nuova esecuzione e dei dati pregressi, relativi a indagini geognostiche e/o geofisiche a corredo di pratiche edilizie depositate presso l'Ufficio Tecnico Comunale, oltre a quelle contenute nel database fornito dal Servizio Geologico Regionale.

Le simbologie adottate, in conformità con gli standard di rappresentazione

Indagini geognostiche pregresse	Indagini geofisiche pregresse
 Prova penetrometrica statica	 MW MASW
 Prova penetrometrica statica con punta elettrica	 RM REMI
 Prova penetrometrica statica con piezocono	 SW SASW
 Prova penetrometrica dinamica leggera	 HVSr
 Prova penetrometrica dinamica pesante	Indagini geofisiche eseguite per studio MS
 Prova penetrometrica dinamica superpesante	
 Pozzo idrico	 RM REMI (identificativo in colore rosso)
 Sondaggio a carotaggio continuo	 HVSr (identificativo in colore rosso)
 Sondaggio a carotaggio continuo con prova SPT	
 Pozzetto esplorativo	

9.2 - Carta geologico-tecnica

Nella Carta geologico-tecnica sono state riportate le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche, geotecniche e idrogeologiche) derivate da elaborati esistenti e da indagini geognostiche pregresse.

Questi dati hanno consentito di definire il modello di sottosuolo e sono risultate funzionali alla realizzazione delle Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (livello 1), che saranno descritte nel successivo paragrafo 9.4.

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

- elaborati del Quadro Conoscitivo del Piano Strutturale Comunale di Castel San Giovanni;
- "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 minori (Torrente Bardoneggia, Rio Carona e Rio Boriacco).
- GC Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e limo : corrispondono al terrazzo alluvionale del Torento Rio Bardoneggia.
- 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 tra 11-13 m., 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 state cartografate anche le zone di affioramento del substrato geologico, identificando la seguente la categoria

- ALS – Alternanza di litotipi. stratificato. Corrisponde alla zona di affioramento del Sintema di Costamezzana, rappresentata da stratificazioni di sabbie, con intercalazioni ghiaiose, alternate ad argille e limi.

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 :

- i sondaggi o pozzi raggiungenti il substrato geologico e la relativa profondità in metri;

- 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 - 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 (35 oltre a 4 di archivio), con associati i risultati delle singole prove. In particolare, sono stati indicati il valore F_0 del picco significativo, corrispondente alla frequenza di risonanza fondamentale (frequenza principale) e, quando presente, di un secondo picco significativo (frequenza secondaria), meno evidente del primo (F_1).

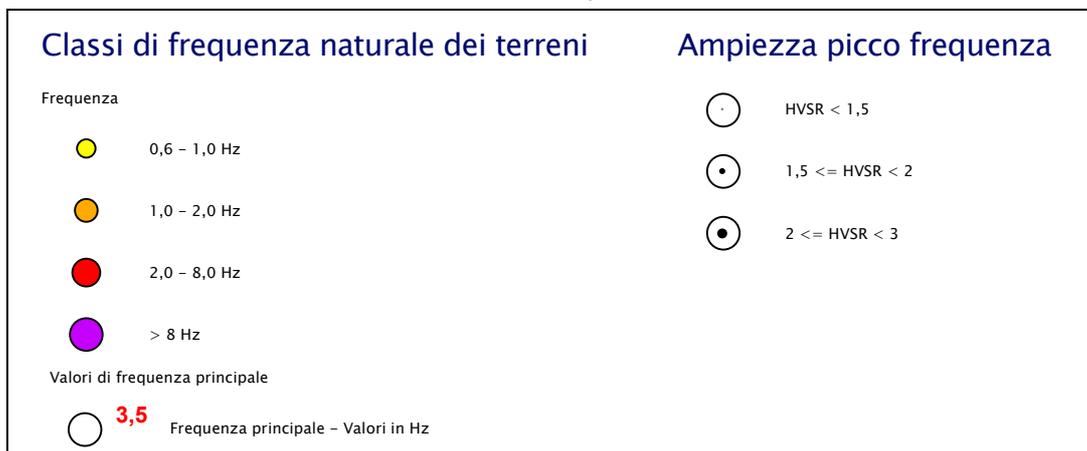
Sono stati tralasciati i picchi con frequenze superiori ai 20 Hz, in quanto di scarso significato ai fini del presente studio.

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

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

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

- HVSR ≥ 3 elevato contrasto di impedenza
- $2 \leq \text{HVSR} < 3$ moderato contrasto di impedenza
- $1,5 \leq \text{HVSR} < 2$ basso contrasto di impedenza
- $1,5 < \text{HVSR}$ assenza di contrasto di impedenza



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

Tabella 2 - Valori di picchi di frequenza da prove HVSR

Prova HVSR	MOPS	Frequenza (Hz)	Ampiezza H/V	Affidabilità picco Sesame
033013P1	2003	5,29	2,47	SI
033013P2	2003	9,51	2,06	SI
033013P3	2003	16,39	2,45	SI
033013P4	2003	8,03	2,04	NO
033013P5	2003	6,08	2,03	SI
033013P6	2003	14,67	1,47	NO
033013P7	2003	16,42	1,46	NO
033013P8	2003	12,18	2,04	SI
033013P9	2003	8,15	2,34	SI
033013P10	2003	7,46	1,88	NO
033013P11	2003	4,00	2,34	SI
033013P12	2003	4,75	1,93	SI
033013P13	2003	4,62	2,31	SI
033013P14	2003	4,86	2,05	SI
033013P15	2003	18,89	1,70	NO
033013P16	2003	12,52	1,86	NO
033013P17	2003	2,34	1,81	NO
033013P18	2003	5,74	1,21	NO
033013P19	2003	3,26	1,66	NO
033013P20	2003	14,68	2,38	SI
033013P21	2003	2,75	2,41	SI
033013P22	2003	18,79	1,99	NO
033013P23	2003	5,06	2,00	NO
033013P24	2003	1,97	1,51	NO
033013P25	2002	1,90	1,69	NO
033013P26	2002	10,56	1,89	NO
033013P27	2001	5,63	1,99	NO
033013P28	2001	1,89	1,45	NO
033013P29	2002	3,85	1,98	NO
033013P30	2004	1,32	2,39	NO
033013P31	2004	2,23	2,31	NO
033013P32	2004	2,33	2,90	SI
033013P33	2004	1,66	2,31	NO
033013P34	2004	1,53	2,55	SI
033013P35	2001	1,09	4,97	SI
033013P409	2002	17,00	2,46	SI
033013P410	2002	16,00	3,60	SI
033013P411	2002	8,00	2,80	SI
033013P412	2002	10,00	3,60	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 50 %), compresi nell'intervallo di frequenza 1,09-18,79 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, mentre nel settore di collina possono essere associati al substrato non rigido.

Per quanto riguarda la zona 2001, le poche prove a disposizione evidenziano solo localmente picchi significativi 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, 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 4-13 m ricoperti da materiali prevalentemente fini limoso-argillosi.

Le prove disponibili per la zona 2004 (zona collinare di Creta e Ganaghello) presentano picchi indicativi di moderati contrasti di impedenza (ampiezza H/V compresa tra 2,3-2,9), che possono essere attribuibili al passaggio al substrato non rigido, riferibile al Sistema di Costamezzana.

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.

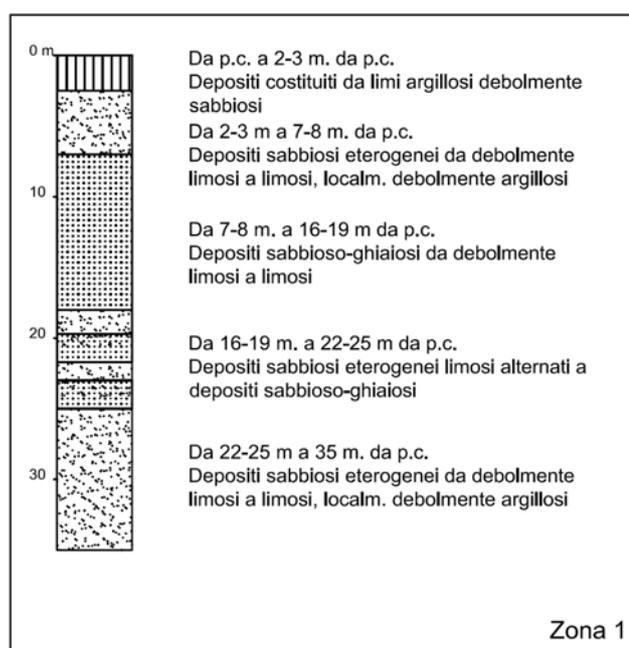
3. zone suscettibili di instabilità. Si tratta di zone nelle quali effetti sismici attesi e predominanti, oltre i fenomeni di amplificazione, sono riconducibili a deformazioni permanenti

del territorio, quali instabilità di versante (frane attive e quiescenti), liquefazioni e densificazione. In queste zone sono richiesti approfondimenti di terzo livello.

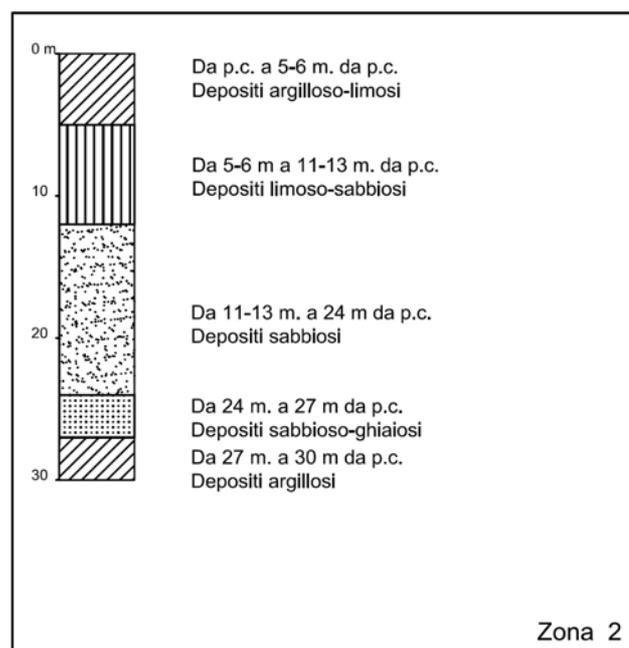
Dalla lettura delle Carte delle microzone omogenee in prospettiva sismica si osserva che, in corrispondenza delle aree esaminate in Comune di Castel San Giovanni, non è mai presente la categoria 1 – zone stabili.

Tutte le aree urbanizzate e urbanizzabili risultano appartenenti alla categoria 2 - zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, all'interno della quale sono state operate ulteriori distinzioni. Infatti, sulla base delle caratteristiche litostratimetriche, sono state identificate le seguenti 4 microzone omogenee, ognuna con un proprio profilo stratigrafico tipo riferito ai primi 40 m di sottosuolo :

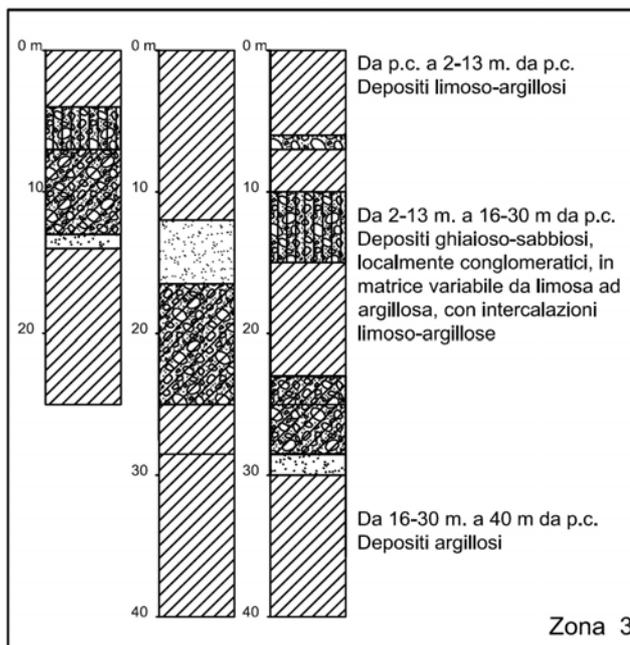
Zona 1 – Depositi della fascia di meandreggiamento del Fiume Po costituiti da sabbie ghiaiose e sabbie limose con copertura limoso-argillosa di potenza variabile.



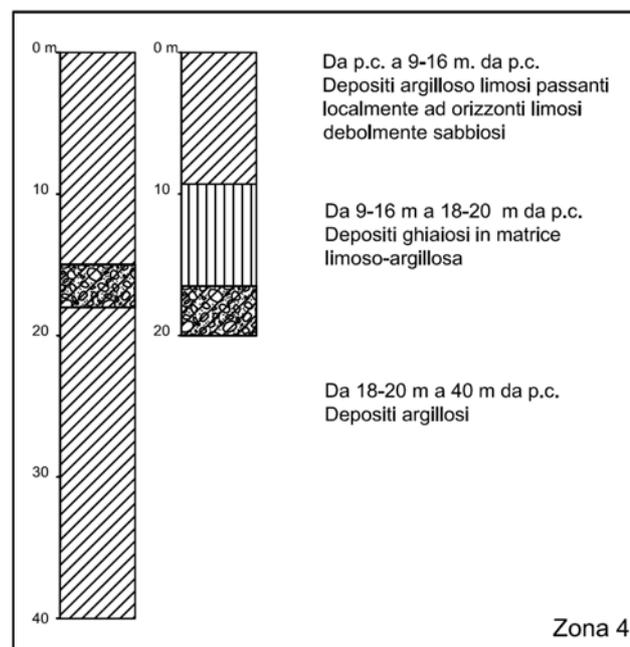
Zona 2 – Depositi di piana alluvionale costituiti da alternanze depositi argilloso limosi e limoso-sabbiosi, fino alla profondità di circa 11-13 m passanti a sabbie localmente ghiaiose, fino a profondità di circa 27 m, cui seguono prevalenti depositi argillosi.



Zona 3 – Depositi di conoide pedemontana costituita da limi-argillosi di potenza variabile (compresa tra 2-13 m), seguiti da strati ghiaioso-sabbiosi, localmente conglomeratici, in matrice variabile da limosa ad argillosa, estesi fino a profondità variabili tra 16-30 m, a cui seguono argille prevalenti.



Zona 4 – Depositi di terrazzo antico costituiti da prevalenti argille limose, talvolta di natura loessica, con rare intercalazioni di lenti ghiaiose in matrice limoso-argillosa, passanti a profondità superiori a circa 20 m a prevalenti depositi argillosi.



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_{si} = 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_{si} = 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 V_s sulla base della tecnica impiegata: MASW e REMI.

Le indagini disponibili ed il relativo valore di V_{s30} e V_{sH} sono raccolti nella tabella seguente :

Tabella 3 - Valori di V_s da prove geofisiche disponibili

ID_SLN	Zona MOPS	Tipo indagine	V_{s30} (m/s)	V_{sH} (m/s)	H (m)
033013L1	2003	REMI	293		
033013L2	2003	REMI	303		
033013L3	2003	REMI	281		
033013L4	2002	REMI	249		
033013L5	2003	REMI	311		
033013L6	2001	REMI	250		
033013L7	2004	REMI		316	37
033013L8	2003	MASW	273		
033013L9	2003	MASW	264		
033013L10	2003	MASW	281		
033013L11	2002	MASW	290		
033013L12	2002	MASW	280		
033013L13	2003	MASW	360		
033013L14	2003	MASW	280		
033013L15	2001	REMI	224		
033013L16	2003	REMI	247		
033013L17	2002	MASW	210		
033013L18	2002	MASW	205		
033013L19	2002	MASW	207		
033013L20	2002	MASW	210		
033013L21	2002	MASW	275		
033013L22	2002	MASW	264		

033013L23	2002	MASW	220		
033013L24	2002	MASW	230		
033013L25	2002	MASW	231		
033013L26	2002	MASW	240		
033013L27	2004	REMI		305	50
033013L28	2003	REMI	251		
033013L29	2003	REMI	306		
033013L30	2003	REMI	331		
033013L31	2003	REMI	263		
033013L32	2001	REMI	253		
033013L33	2003	REMI	296		
033013L34	2003	REMI	270		
033013L35	2001	SASW	282		
033013L36	2001	SASW	281		

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 225-280 m/s.

La zona 2002 è caratterizzata da profili di velocità con valori di Vs30 compresi mediamente tra 205-290 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 2003 i valori di Vs30 variano mediamente tra 260-360 m/s con aumenti di velocità Vs determinata da orizzonti ghiaiosi addensati.

Per la zona 2004, corrispondente al settore collinare, sono stati considerati valori di VsH pari a circa 305-310 m/s e di H= 37-50 m, considerando il significativo aumento di velocità indotto dal substrato non rigido ($V_s \ll 800$ m/s).

I profili di velocità delle onde di taglio per i principali centri abitati e relative zone MOPS sono rappresentati nei diagrammi di figure 18-19.

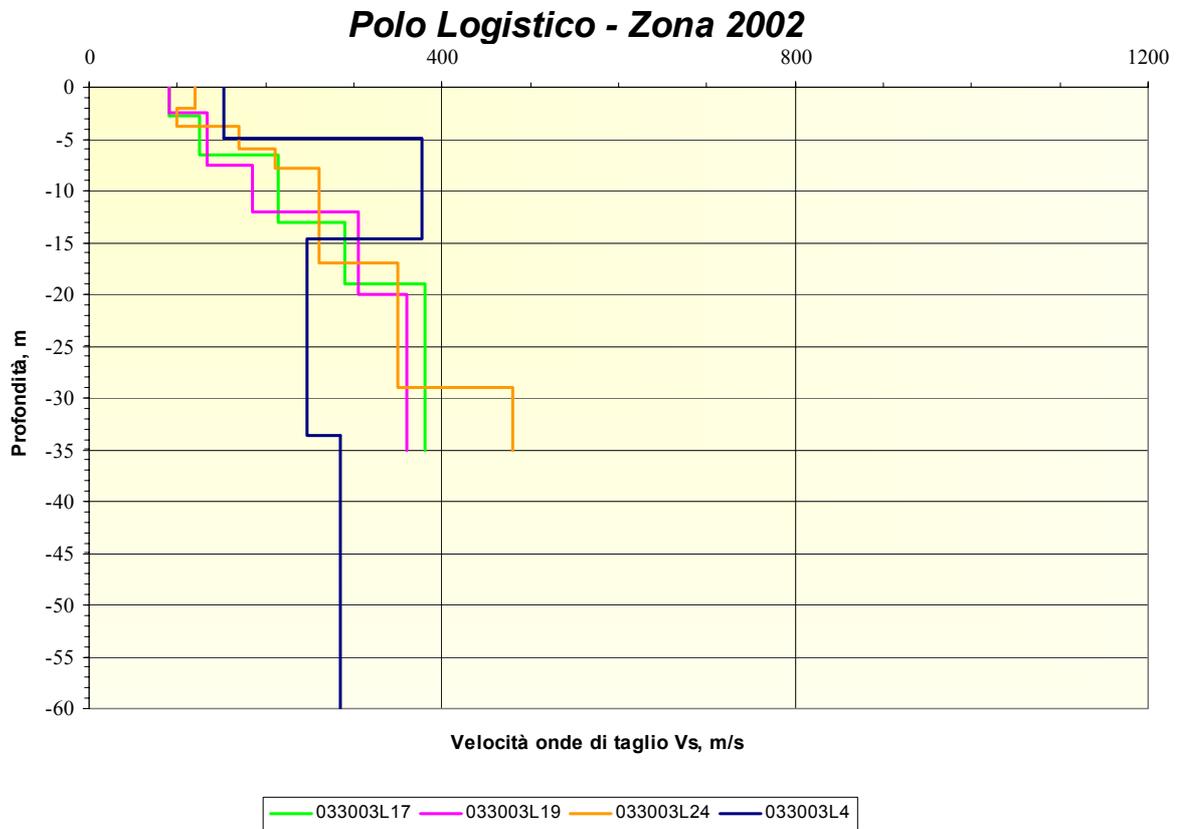
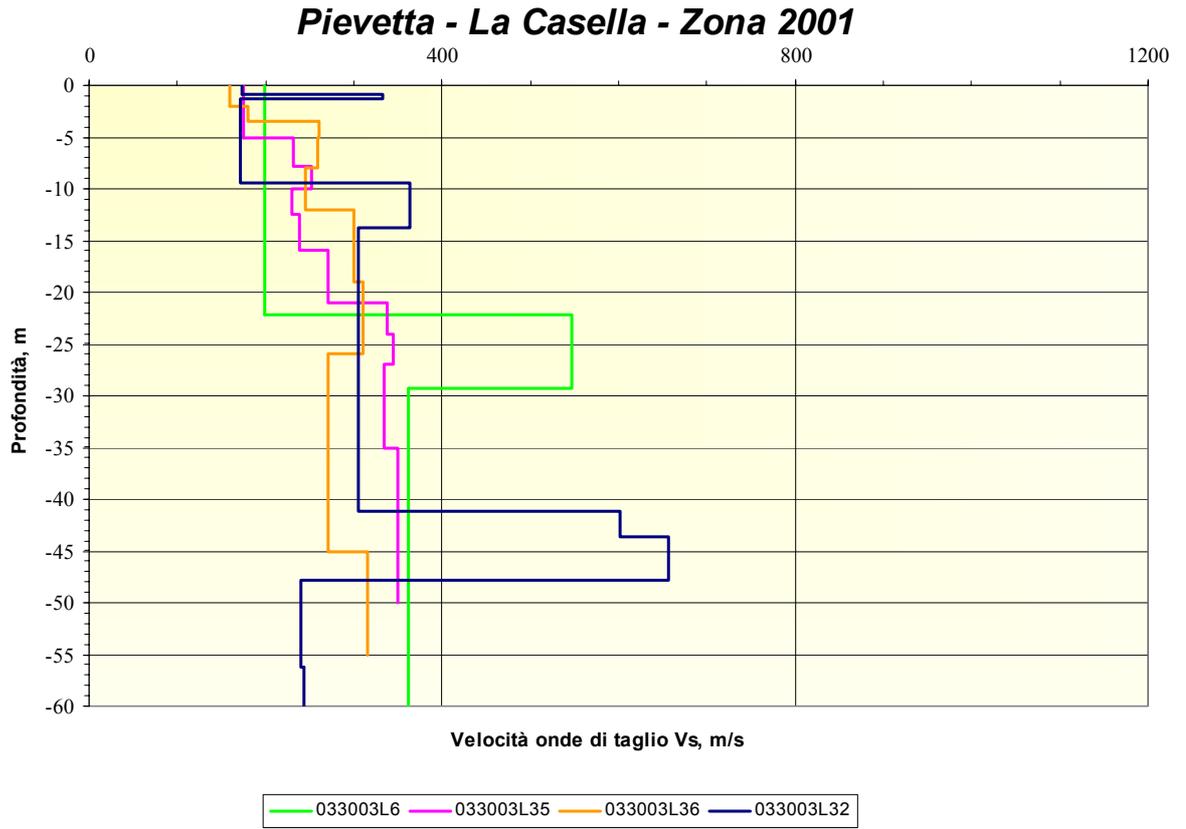


Figura 18 - Andamento profilo Vs in corrispondenza dei centri abitati principali

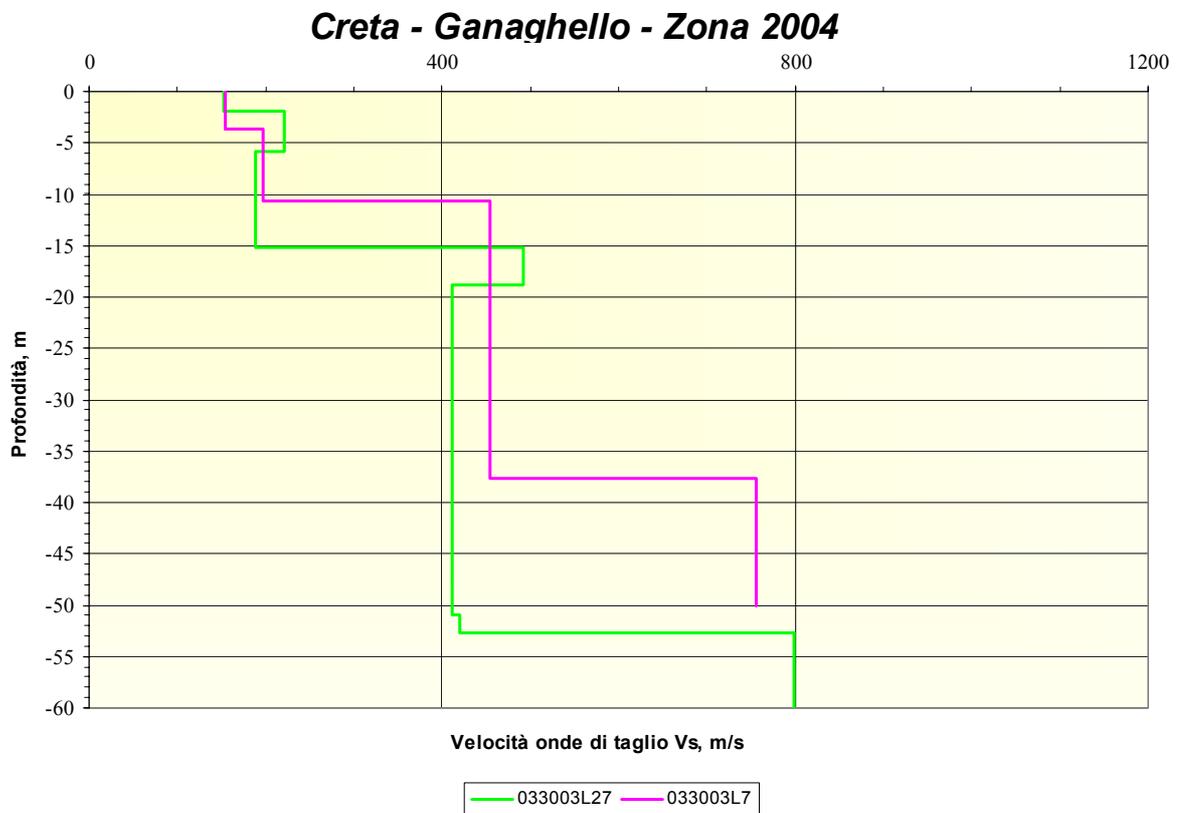
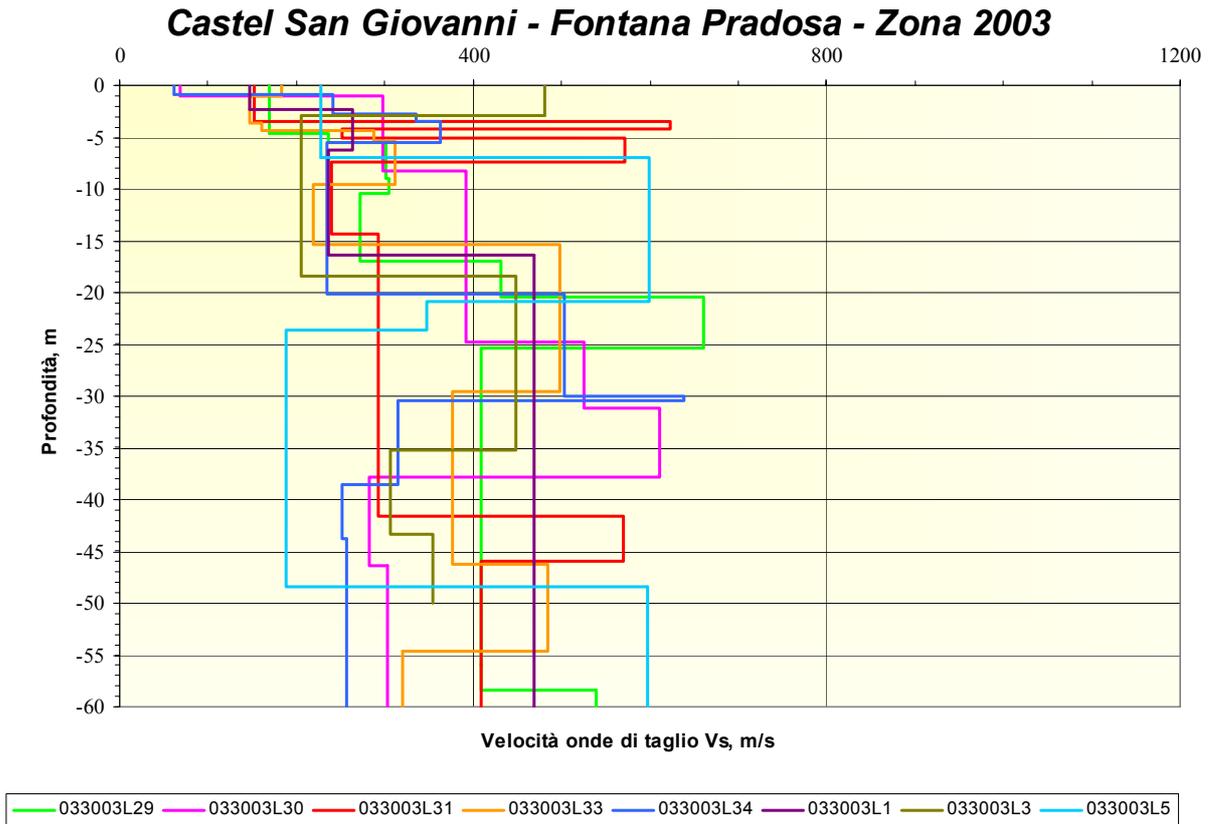


Figura 19 - Andamento profilo Vs in corrispondenza dei centri abitati principali

9.6 - Carta di Microzonazione Sismica – Livello 2

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

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

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

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

Per i settori indagati nello studio di microzonazione sismica di livello 2 per il territorio di Castel San Giovanni, 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 ai piedi dei primi rilievi collinari) e Appennino (settore collinare), 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.

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

MARGINE di tipo B: caratterizzato da spessore dei terreni fini superiore a 30 m; gli strati grossolani sovrastano altri strati di terreni fini presenti fino al substrato;

$V_{s30}(m/s) \rightarrow$	150	200	250	300	350	400
F.A. PGA	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6	1.5
F.A. SI1	1.9	1.9	1.9	1.8	1.7	1.6
F.A. SI2	2.9	2.8	2.5	2.3	2.1	2.0
F.A. SI3	3.3	3.1	2.7	2.4	2.2	2.0

APPENNINO (Zone collinari e montane) in caso di substrato non rigido $V_s \ll 800$ m/s

	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2.3	2.0	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.2	1.2	
10	2.3	2.2	2.0	1.8	1.6	1.4	1.3	1.3	1.2	
15	2.2	2.2	2.1	2.0	1.8	1.6	1.4	1.3	1.2	
20	2.1	2.1	2.1	2.0	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2	
25	2.1	2.1	2.1	2.0	1.9	1.8	1.6	1.4	1.3	
30		2.1	2.1	2.0	1.9	1.8	1.6	1.4	1.3	
35		2.1	2.1	2.0	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2
40		2.0	2.0	2.0	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2
50		1.9	1.9	1.9	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2

Fattori di Amplificazione **PGA**. Colonna 1 $H(m)$, riga 1 $V_{sH}(m/s)$

	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2.1	1.7	1.5	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	
10	2.6	2.3	1.9	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.3	
15	2.7	2.6	2.3	1.9	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	
20	2.6	2.6	2.4	2.1	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	
25	2.6	2.6	2.5	2.3	2.0	1.7	1.6	1.4	1.3	
30		2.4	2.4	2.3	2.1	1.8	1.6	1.5	1.3	
35		2.4	2.4	2.3	2.2	1.9	1.7	1.5	1.4	1.2
40		2.2	2.2	2.2	2.2	2.0	1.8	1.6	1.4	1.2
50		2.1	2.1	2.1	2.1	2.0	1.8	1.6	1.5	1.3

Fattori di Amplificazione **SI1** ($0.1s \leq T_0 \leq 0.5s$). Colonna 1 $H(m)$, riga 1 $V_{sH}(m/s)$

	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	
10	1.8	1.6	1.4	1.4	1.3	1.4	1.3	1.3	1.3	
15	2.3	1.9	1.6	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	
20	2.9	2.6	1.9	1.6	1.4	1.4	1.4	1.3	1.3	
25	3.6	3.0	2.3	1.7	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	
30		3.3	2.7	1.9	1.7	1.5	1.4	1.4	1.3	
35		3.5	3.0	2.2	1.8	1.6	1.5	1.4	1.3	1.1
40		3.5	3.2	2.6	2.0	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2
50		3.3	3.3	3.0	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5	1.3

Fattori di Amplificazione **SI2** ($0.5s \leq T_0 \leq 1.0s$). Colonna 1 $H(m)$, riga 1 $V_{sH}(m/s)$

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 2193/2015.

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

Tabella 4 - Fattori di amplificazione stratigrafica per microzonazione sismica

Zona	VsH (m/s)	H (m)	Vs30 (m/s)	Ambiente geologico	FA PGA	FA 0.1s < To < 0.5s	FA 0.5s < To < 1.0s	FA 0.5s < To < 1.5s
2001			225-280	Pianura 1	1,7	1,9	2,7-2,8	2,7-2,9
2002			205-280	Pianura 1	1,7	1,9	2,7-2,8	2,7-3,1
2003			250-360	Margine B	1,6	1,8-1,9	2,3-2,5	2,4-2,8
2004	305-310	37-50		Appennino <<800	1,9-2,0	2,1	2,2-3,0	

9.6.1 Valutazione preliminare della suscettibilità alla liquefazione

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

Per liquefazione si intende l'annullamento di resistenza al taglio di terreni granulari saturi sotto sollecitazioni di taglio cicliche ed in conseguenza delle quali il sedimento raggiunge una condizione di fluidità pari a quella di un liquido viscoso. Il meccanismo di liquefazione è governato da molti fattori e tra questi i principali sono: caratteristiche dell'impulso sismico; (magnitudo $M > 5,0$); densità relativa ($DR < 50+60\%$); 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

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

- 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).

Nello specifico del territorio comunale di Castel San Giovanni le verifiche di suscettibilità alla liquefazione sono state eseguite sfruttando le prove penetrometriche a punta elettrica CPTe e piezocono CPTU, raccolte nell'archivio prove (sigle 033013P418-430), 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);
- ag_{max} suolo = 0,15 g tenendo conto di un'accelerazione pari a 0,094 per il Comune di Castel San Giovanni, moltiplicata per amplificazione F_a PGA pari a 1,6 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.

Come si evidenzia nei tabulati allegati (Allegato 2) si verificano solo localmente condizioni per il verificarsi di fenomeni di liquefazione, in quanto il fattore di sicurezza F_s risulta generalmente 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 ≤ 2	Basso
2 < LPI ≤ 5	Medio
5 < LPI ≤ 15	Elevato
LPI > 15	Molto elevato

In ragione dei risultati ottenuti, sinteticamente rappresentati nella figura 20, anche in riferimento alle linee guida di cui alla DGR 2193/2015, non si ritiene necessario individuare zone di attenzione per liquefazione nel territorio oggetto del presente studio di microzonazione sismica di 2° livello.

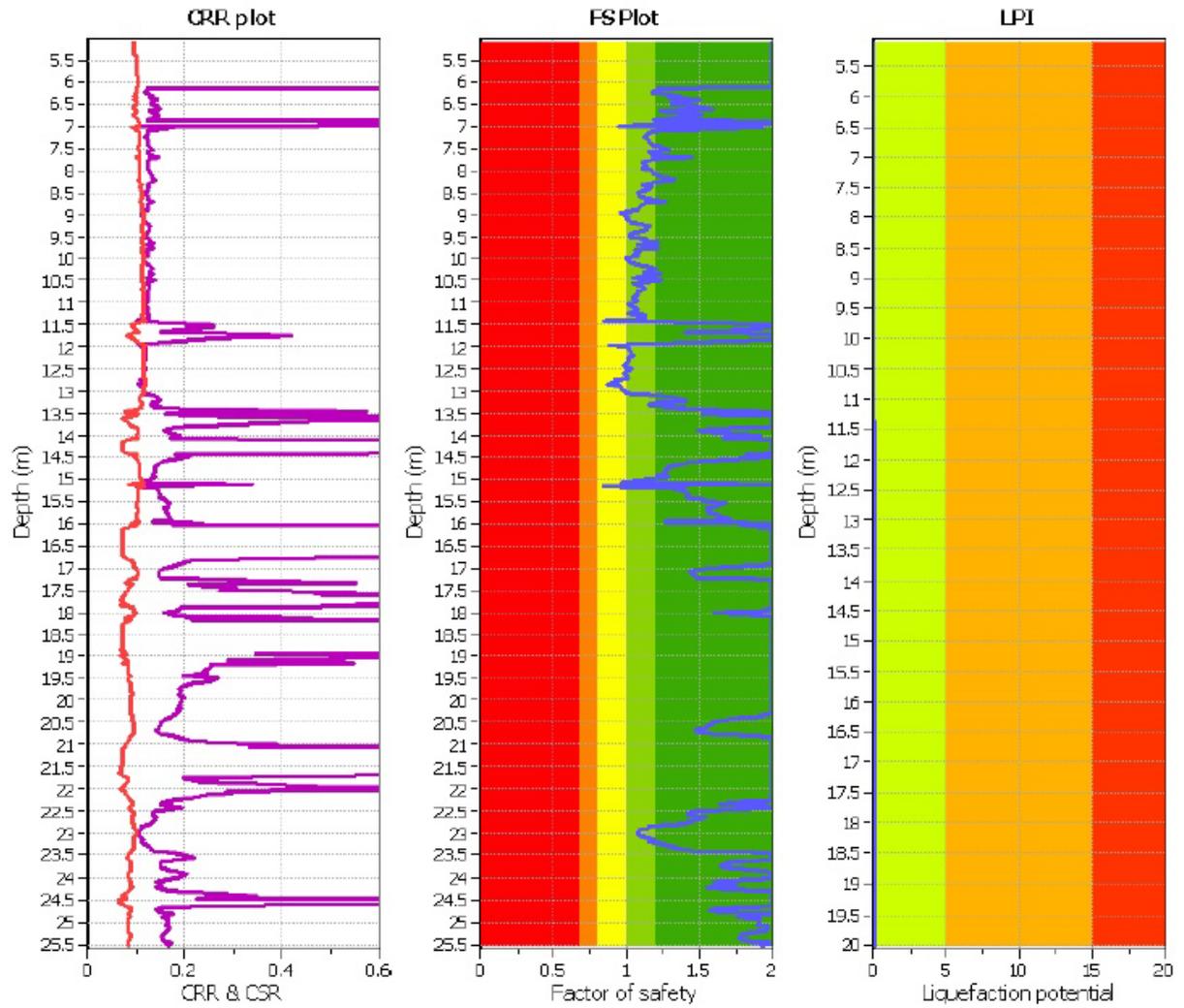


Figura 20 - Diagramma sintetico verifiche rischio di liquefazione sulla base delle prove CPTE

Fiorenzuola d'Arda, maggio 2018

Studio Geologico Ambientale
Dr. Geol. Gabriele Corbelli

