



PROTEZIONE CIVILE
Presidenza del Consiglio dei Ministri
Dipartimento della Protezione Civile



CONFERENZA DELLE REGIONI E
DELLE PROVINCE AUTONOME

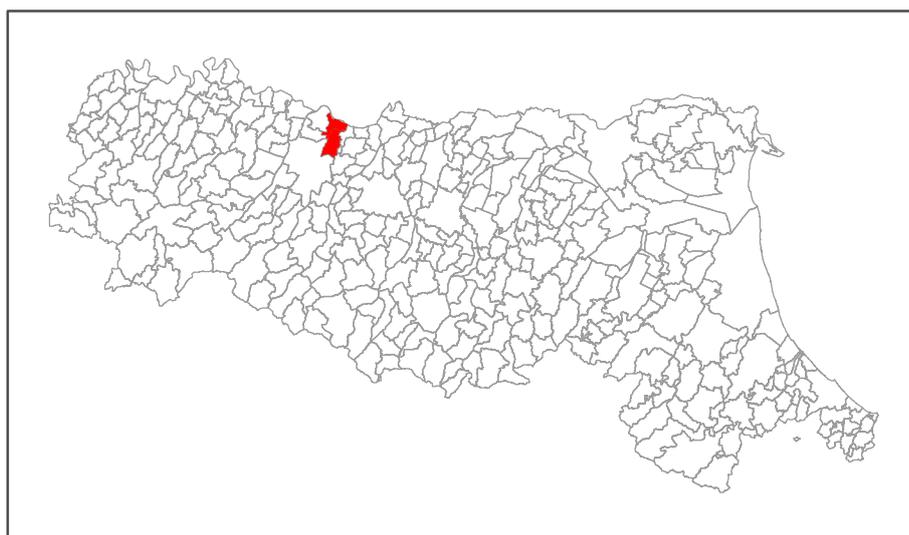
Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n.77

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione illustrativa

Regione Emilia–Romagna

Comune di Sorbolo Mezzani



Regione
Emilia–Romagna

Soggetto realizzatore:
Dott. ssa Geol. Stefania Asti

Data:
Ottobre 2022

Collaboratori:
Dott. Geol. Alessandro Ghinoi
Dott. Geol. Stefano Capocchi
Dott. ssa Lara Vandelli

Aggiornamento:
Ottobre 2023

MICROZONAZIONE SISMICA DEL COMUNE DI SORBOLO MEZZANI

APPROFONDIMENTO DI III LIVELLO

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

Responsabile
Ing. Valter Bertozzi

Soggetto realizzatore
Dott.ssa Geol. Stefania Asti

Gruppo di lavoro
Dott. Geol. Alessandro Ghinoi
Dott.ssa Lara Vandelli
Dott. Stefano Capocchi

Ottobre 2022 (agg. Ottobre 2023)

INDICE

1	PREMESSA.....	4
2	Inquadramento territoriale e cartografico	6
3	Definizione della pericolosità sismica di base e degli eventi sismici di riferimento.....	9
3.1	Caratteristiche sismotettoniche	9
3.2	Classificazione sismica del territorio comunale.....	13
3.3	Sismicità del territorio comunale	16
4	Aspetti geologici e geomorfologici	19
4.1	Lineamenti geologici generali.....	19
4.2	Assetto geomorfologico	22
5	Dati geotecnici e geofisici	25
6	Modello del sottosuolo.....	26
6.1	Geologia del territorio comunale	26
7	Interpretazioni e incertezze.....	38
8	Metodologie di elaborazione e risultati	39
8.1	Analisi della suscettività alla liquefazione	51
8.1.1	Calcolo dei cedimenti post-sismici	55
9	Elaborati cartografici	57
9.1	Elaborati cartografici di I LIVELLO.....	57
9.1.1	Carta geologico-tecnica	58
9.1.2	Carta delle indagini.....	60
9.1.3	Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)	65
9.1.4	Carta delle frequenze naturali dei terreni	67
9.1.5	Carta delle MOPS.....	70
9.2	Elaborati cartografici di III LIVELLO.....	77
10	Bibliografia.....	85

1 PREMESSA

Su incarico dell'Amministrazione comunale è stato predisposto il presente **Studio di Microzonazione Sismica di III livello del Comune di Sorbolo Mezzani**, realizzato nel rispetto del seguente quadro normativo:

- D.G.R. 630/2019: "Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017)";
- D.G.R. 476/2021: "Aggiornamento dell'Atto di Coordinamento Tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (Artt. 22 e 49, L.R. N. 24/2017) di cui alla Deliberazione della Giunta Regionale 29 Aprile 2019, N. 630", integrata con D.G.R. n. 564/2021,
- D.G.R. 566 del 26/04/2021 "Approvazione dei criteri per l'attribuzione, la concessione e la liquidazione di contributi per studi di microzonazione sismica e analisi della condizione limite per l'emergenza nei comuni caratterizzati da una pericolosità sismica ag inferiore a 0,125g".

Per gli aspetti tecnici, si è fatto inoltre riferimento al documento "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" (ICMS) approvati dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome e successive modifiche e integrazioni¹.

I Comuni di Sorbolo e di Mezzani, prima della loro fusione avvenuta il **1 gennaio 2019**, avevano condotto, ciascuno per la propria competenza, studi di Microzonazione sismica con approfondimento di III° Livello, in particolare:

- Gli studi di Microzonazione Sismica (MZS) del Comune di Sorbolo erano stati redatti nel Dicembre 2016 a cura dello Studio Engeo s.r.l.;
- Gli studi di Microzonazione Sismica (MZS) del Comune di Mezzani erano stati redatti nel Dicembre 2016 a cura dal Dott. Geol. Massimiliano Trauzzi.

Entrambi gli studi di Microzonazione sismica erano stati validati dalla Regione Emilia Romagna in data 08/05/2017; nel seguito della presente Relazione illustrativa saranno citati come "**Studi di MS 2016**".

Gli studi suddetti erano stati redatti seguendo le indicazioni ed i criteri previsti dalla DAL 2193/2015 (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). In entrambi i comuni era stata effettuata l'analisi con approfondimenti di III livello su tutte le aree indagate per quanto riguarda il rischio di liquefazione, mentre le valutazioni di risposta sismica locale erano state effettuate esclusivamente laddove era disponibile un'adeguata conoscenza di tutti i parametri necessari a definire il modello geofisico del sottosuolo.

Tutti gli elaborati erano stati prodotti solamente all'interno di "Aree oggetto di studio" corrispondenti al Territorio urbanizzato e urbanizzabile all'epoca dell'esecuzione dello studio stesso (2016).

Nell'ambito della redazione del QC del PUG del Comune di Sorbolo Mezzani (Luglio 2021), su incarico del Comune di Sorbolo Mezzani è stata predisposta **l'unione degli "Studi di Microzonazione sismica vigenti (2016)"** in un unico studio, attraverso la redazione di elaborati cartografici univoci per il nuovo territorio comunale, provvedendo anche ad estendere all'intero territorio comunale, i contenuti di quegli elaborati redatti in precedenza solo all'interno di perimetri di limitate "Aree oggetto di studio", secondo quanto richiesto dagli Standard di microzonazione sismica nazionali più recenti. In particolare tutte le indagini precedentemente archiviate (MZS 2016) sono state accorpate in un unico Database, appositamente creato per il nuovo comune di Sorbolo Mezzani (codice 051), attraverso apposita procedura, sviluppata all'interno del SoftMS (versione 4.1.1), che ha permesso anche di ricodificare tutte le indagini preesistenti con una numerazione univoca.

È stato anche predisposto **l'adeguamento dello Studio di Microzonazione Sismica unificato**, alla Del. G.R. 630/2019 attraverso l'elaborazione di otto nuovi elaborati cartografici.

¹ Gruppo di lavoro MS, 2008. "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica". Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome - Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 3 vol. e Dvd. Link: <https://www.protezionecivile.gov.it/it/pubblicazione/indirizzi-e-criteri-la-microzonazione-sismica>

Tutte le attività sono state svolte nel rispetto delle specifiche di cui agli “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica” elaborati dalla Commissione Tecnica per il monitoraggio degli studi di microzonazione sismica (OPCM 3907/2010, art. 5, comma 7), versione 4.1. del Novembre 2018.

Il presente studio, predisposto in seguito all’attribuzione al comune di Sorbolo Mezzani di contributo ai sensi della D.G.R. 566 del 26/04/2021, si configura pertanto come una integrazione e completamento di quanto fino ad ora effettuato; un primo *step* di avanzamento, relativo allo **Studio di MS di I livello**, è stato concluso ad Aprile 2022 e viene accorpato al presente approfondimento di III livello.

Gli obiettivi del presente studio di Microzonazione Sismica sono stati i seguenti:

1. Ricostruzione della stratigrafia locale attraverso prove penetrometriche e sondaggi a carotaggio/distruzione sia preesistenti (da archivio o eseguiti per gli Studi di MS 2016) sia di nuova esecuzione;
2. Determinazione della velocità delle onde sismiche nei primi 30 m dal piano campagna tramite acquisizioni Down-hole, Cross-hole, SCPTu, MASW ed array sismici;
3. Determinazione della frequenza fondamentale di vibrazione dei terreni tramite elaborazioni del rumore sismico a stazione singola (HVSR);
4. Analisi di risposta sismica 1D eseguite in corrispondenza dei siti di esecuzione delle indagini SCPTu e Down-hole, al fine di ricavare:
 - a. i fattori di amplificazione della PGA e di vari tratti temporali degli spettri di risposta in accelerazione ed in velocità, *sensu* DGR 630/2019, 476/2021 e 564/2021;
 - b. i valori del parametro che esprime lo scuotimento atteso al sito in valore assoluto (*sensu* Naso et al., 2019);
 - c. gli spettri di risposta in superficie in termini di pseudo-accelerazione;
 - d. gli accelerogrammi in superficie;
5. Calcolo dei fattori di amplificazione medi all’interno delle microzone omogenee individuate nella MOPS;
6. Calcolo dell’indice di potenziale liquefazione e dei cedimenti post-sismici in corrispondenza di tutte le verticali CPTu/SCPTu;
7. Elaborazione delle cartografie di MS.

Lo studio di **Microzonazione Sismica del Comune di Sorbolo Mezzani (III livello)**, si compone degli elaborati riportati nell’elenco seguente:

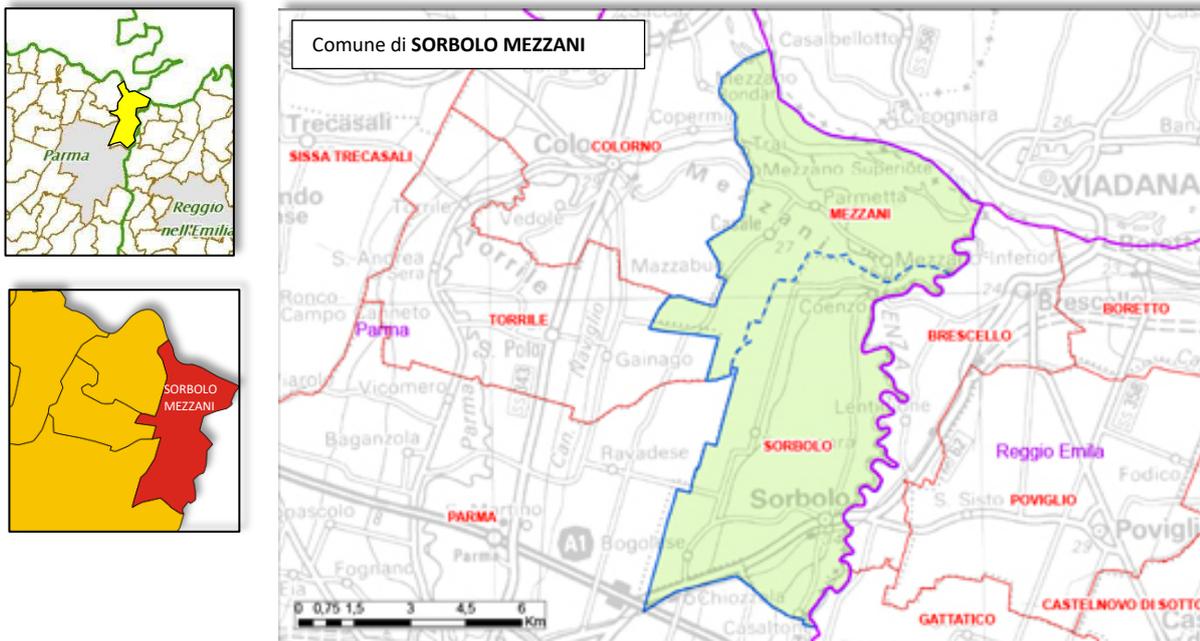
- Relazione illustrativa
- Carta delle indagini
- Carta geologico-tecnica
- Carta delle frequenze naturali dei terreni
- Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)
- Carta delle velocità delle onde di taglio S (V_s)
- **Carta di microzonazione sismica Livello 3 - FPGA**
- **Carta di microzonazione sismica Livello 3 – FA0105 ($0,1s \leq T \leq 0,5s$)**
- **Carta di microzonazione sismica Livello 3 – FA0408 ($0,4s \leq T \leq 0,8s$)**
- **Carta di microzonazione sismica Livello 3 – FA0711 ($0,7s \leq T \leq 1,1s$)**
- **Carta di microzonazione sismica Livello 3 – FA0515 ($0,5s \leq T \leq 1,5s$)**
- **Carta di microzonazione sismica Livello 3 – FH0105 ($0,1s \leq T \leq 0,5s$)**
- **Carta di microzonazione sismica Livello 3 – FH0510 ($0,5s \leq T \leq 1,0s$)**
- **Carta di microzonazione sismica Livello 3 – FH0515 ($0,5s \leq T \leq 1,5s$)**
- **Carta di microzonazione sismica Livello 3 - HSM**
- **Carta-di-microzonazione-sismica-Livello-3 - H0408**
- **Carta-di-microzonazione-sismica-Livello-3 - H0711**
- **Carta-di-microzonazione-sismica-Livello-3 - H0515**
- **Verifiche del rischio di liquefazione**

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE E CARTOGRAFICO

Il territorio comunale di Sorbolo Mezzani si colloca nella fascia di bassa pianura parmense, compresa tra la Via Emilia e il Po e tra il Torrente Parma ad Ovest ed il Torrente Enza ad Est, che segna, oltre che il confine comunale anche quello provinciale con la provincia di Reggio Emilia (Figura 1).

Il territorio è inoltre confinante con i Comuni di Colorno e Torrile ad ovest, di Parma a ovest e sud, Brescello e Gattatico a est e di Casalmaggiore e Viadana a nord.

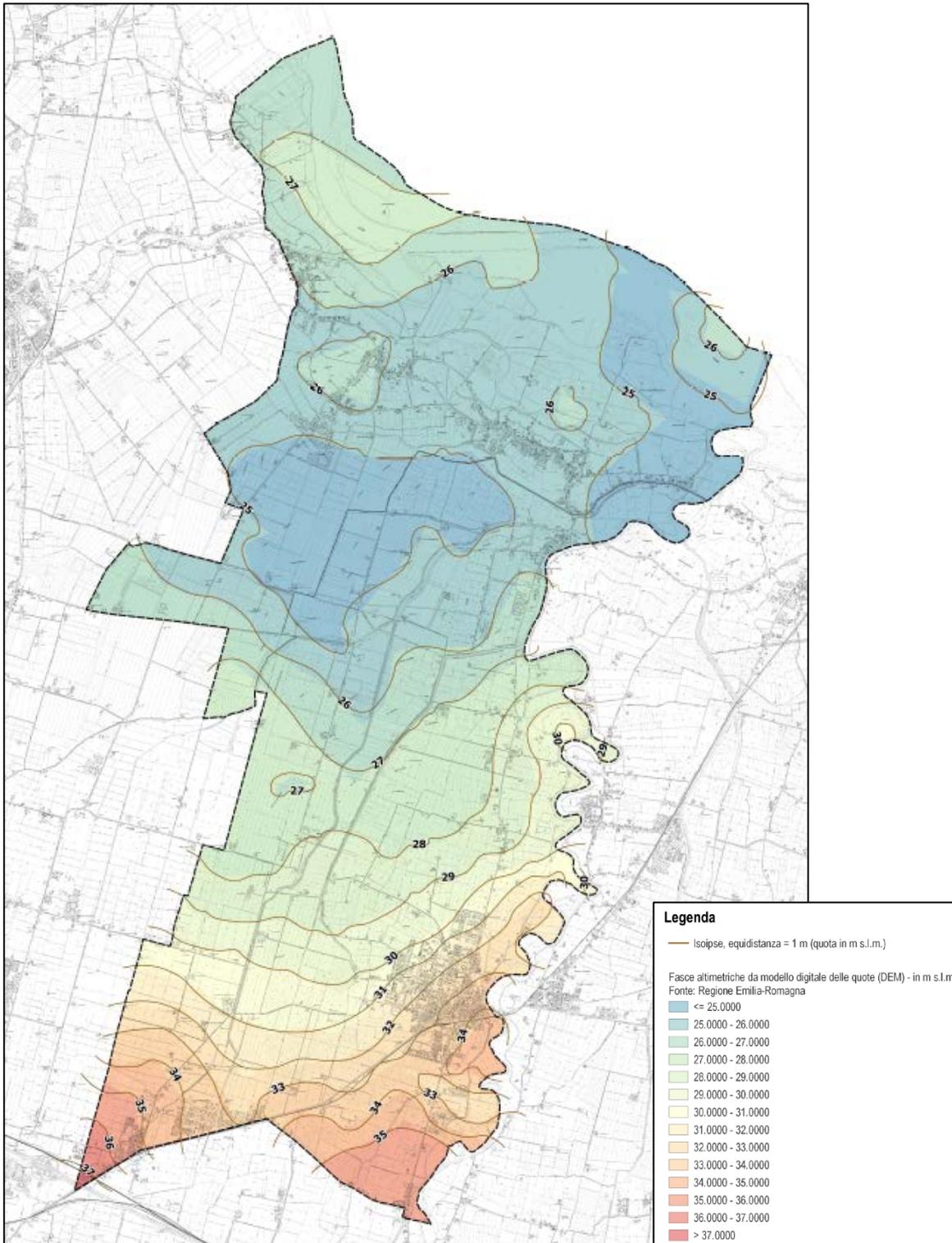
Figura 1 - Inquadramento amministrativo regionale del territorio comunale di Sorbolo Mezzani.



Le interazioni tra i vari fattori dinamici hanno definito un assetto paesaggistico relativamente omogeneo, contraddistinto da superfici pressoché piane, debolmente degradanti da Sud-Ovest verso Nord-Nord Est con una leggera anomalia, in prossimità del Po; il gradiente topografico è molto basso, compreso entro un *range* di valori variabili mediamente da 0.05 a 0.4%. Nell'ambito di questo assetto altimetrico, risultano evidenti fasce di terreno più elevate rispetto alle zone circostanti, che definiscono dossi fluviali e aree depresse, presenti soprattutto nella parte centro settentrionale del territorio comunale.

Le quote del terreno variano da valori massimi di 37.0 m s.l.m. nella zona sud-orientale del territorio in corrispondenza dell'abitato di Chiozzola e valori minimi intorno ai 25.0 – 26.0 m s.l.m., nella parte centro-settentrionale, dove, a sud delle frazioni di Mezzano inferiore e Casale, si sviluppa un'ampia fascia di territorio morfologicamente depressa; il centro abitato di Sorbolo si sviluppa in parte in un'area rilevata di dosso, a quote variabili tra i 34.0 m s.l.m. della zona sud-orientale e i 30 m s.l.m. di quella nord-occidentale, Casale e Mezzani superiore, presentano quote di circa 26.0 m s.l.m., Mezzani inferiore e Coenzo tra 25.0 m e 26.0 m s.l.m. e Bocca d'Enza risulta il nucleo abitato posto a quote più basse, intorno ai 25 m s.l.m.

Figura 2 – Inquadramento altimetrico del territorio comunale di Sorbolo Mezzani (fonte: QC PUG – Novembre 2021)



Nella cartografia regionale, il territorio comunale di Sorbolo Mezzani è compreso nelle Tavole alla scala 1:25.000:

- nr. 182 NE denominato “Guastalla”
- nr. 182 NO denominato “Colorno”
- nr. 182 SO denominato “Parma Nord-Est”

nelle Sezioni alla scala 1:10.000:

- nr. 182010 denominato "Sacca"
- nr. 182020 denominato "Casalmaggiore"
- nr. 182050 denominato "Colorno"
- nr. 182060 denominato "Mezzani"
- nr. 182070 denominato "Brescello Nord"
- nr. 182090 denominato "Torrile"
- nr. 182100 denominato "Frassinara"
- nr. 182130 denominato "Parma Nord-Ovest"
- nr. 182140 denominato "Sorbolo"

negli Elementi alla scala 1:5.000:

- nr. 182012 denominato "Sacca"
- nr. 182023 denominato "Fosso Caprara"
- nr. 182051 denominato "Colorno est"
- nr. 182052 denominato "Mezzabue"
- nr. 182061 denominato "Cicognara"
- nr. 182062 denominato "Coenzo"
- nr. 182063 denominato "Mezzano inferiore"
- nr. 182064 denominato "Mezzano superiore"
- nr. 182073 denominato "Brescello nord"
- nr. 182091 denominato "Ariana"
- nr. 182092 denominato "Ravadese",
- nr. 182101 denominato "Coenzo a Mane"
- nr. 182102 denominato "Lentigione"
- nr. 182103 denominato "Frassinara"
- nr. 182104 denominato "Tomba"
- nr. 182131 denominato "Bogolese"
- nr. 182143 denominato "Casaltone"
- nr. 182144 denominato "Sorbolo".

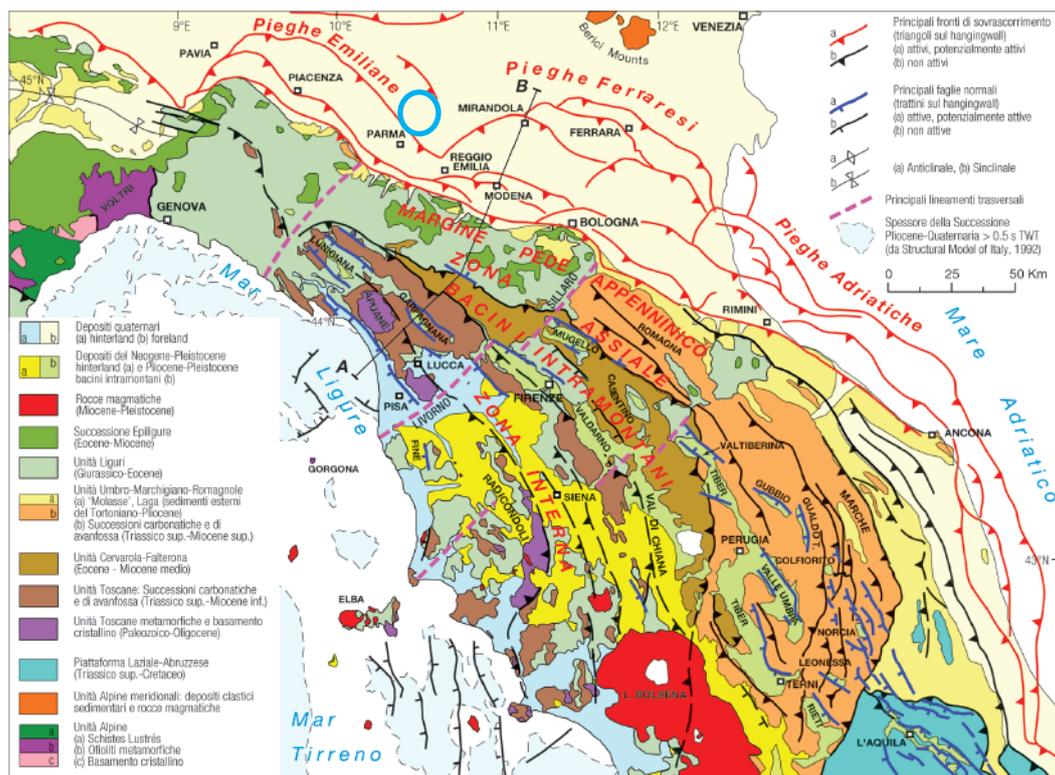
3 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE E DEGLI EVENTI SISMICI DI RIFERIMENTO

3.1 Caratteristiche sismotettoniche

Il territorio comunale di Sorbolo Mezzani, dal punto di vista geologico-strutturale, è parte dell'Appennino settentrionale, una catena a pieghe e sovrascorrimenti costituita dalla sovrapposizione di unità tettoniche NE-vergenti, la cui formazione è conseguenza della collisione, in epoca cenozoica, tra la Placca Europea e la Placca Adria (Africana). Attualmente, la convergenza tra le due placche ha velocità pari a circa 6-8 mm all'anno, con vergenza all'incirca NO, e si sviluppa lungo un margine di placca ampio e complesso, ove placche e blocchi crostali minori controllano la distribuzione e la cinematica delle deformazioni. Tale convergenza determina una diffusa sismicità ed un quadro deformativo complesso, caratterizzato da un settore (quello tirrenico) con prevalenti campi tensionali distensivi, e da un settore (quello adriatico) ove prevalgono campi tensionali compressivi (Boccaletti et al., 2011).

In modo più specifico, il territorio comunale si colloca nella fascia dei fronti sepolti padani e adriatici (Figura 3), in corrispondenza delle "Pieghe emiliane".

Figura 3 – Schema tettonico dell'Appennino settentrionale e della Pianura Padana (fonte: Note illustrative della Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna ed aree limitrofe, a cura di Martelli et al., 2016). Il cerchio azzurro identifica il territorio comunale di Sorbolo Mezzani.



La fascia dei fronti sepolti è caratterizzata dalla presenza di sistemi di pieghe e thrust sepolti, con immersione verso il quadrante SSO-SO, che hanno determinato la formazione di bacini di *piggyback* attualmente colmati dai depositi continentali di età Pleistocene medio-Olocene. Queste dorsali sepolte (Pieghe Emiliane e Pieghe Ferraresi di Pieri e Groppi, 1981) sono i veri fronti della catena appenninica.

La recente attività dei fronti sepolti è dimostrata dalle evidenti deformazioni dei depositi del Pleistocene medio-superiore (la base del Sintema Emiliano-romagnolo Superiore risulta evidentemente piegata) (Boccaletti et al., 2004; 2011) ed anche dalla disposizione arcuata dell'attività sismica registrata, corrispondente in modo perfetto con le dorsali sepolte, localizzate attraverso prospezioni geognostiche e geofisiche eseguite nel tempo, principalmente per la ricerca di idrocarburi. La sismicità è generalmente

superficiale (profondità ipocentrale ≤ 10 Km), con epicentri che si concentrano in specifici settori, soprattutto lungo le Pieghe Ferraresi, che anche recentemente sono state interessate da sequenze sismiche importanti, quali quella di Reggio Emilia dell'ottobre 1996 e quella di Finale Emilia-Mirandola del maggio-giugno 2012 (Martelli et al., 2017b).

Le ricerche in campo sismotettonico svolte dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna, hanno messo in evidenza gli elementi strutturali attivi del territorio, riconosciuti sulla base di dati morfologici e geologici. In particolare, a seguito degli eventi sismici avvenuti dopo il 2004, la Regione Emilia Romagna ha provveduto all'aggiornamento della precedente Carta sismotettonica pubblicata, predisponendo per altro un'implementazione delle reti sismiche e la predisposizione di nuovi studi, estesi ad un'area più ampia del territorio regionale, che hanno permesso di acquisire una considerevole quantità di nuovi dati e caratterizzare meglio le strutture tettoniche.

Nelle figure seguenti sono riportate la mappa delle principali strutture attive e potenzialmente attive riconosciute (Figura 4), uno stralcio della Carta Sismotettonica (2016) della Regione Emilia-Romagna comprendente il Comune di Sorbolo- Mezzani e della sezione B-B' (Figura 5), in cui si può osservare che il comune di Sorbolo-Mezzani vede il suo settore occidentale intersecato da un sovrascorrimento attivo, sepolto, a cavallo del tracciato del fiume Enza.

Figura 4 – Mappa di sintesi delle strutture tettoniche attive e potenzialmente attive riconosciute nell'Appennino tosco-emiliano-romagnolo e nella Pianura Padana centrale e orientale (da Martelli et al., 2017a).

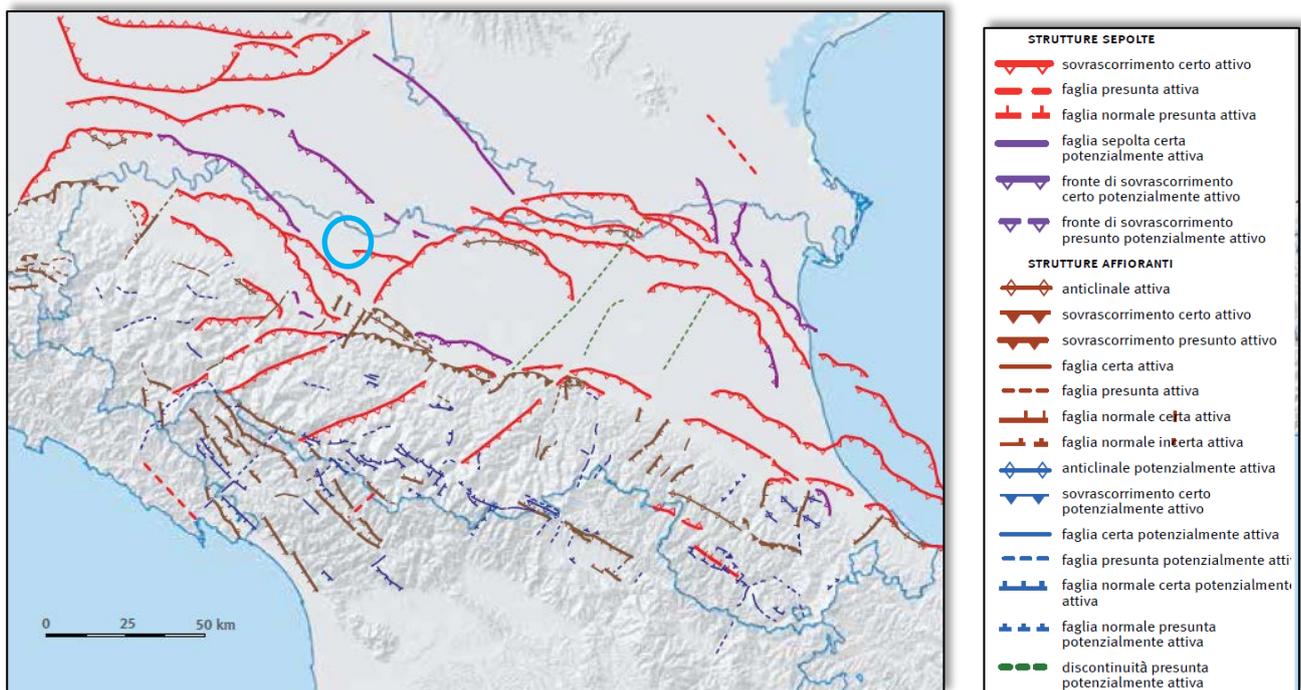


Figura 5 – Estratto della Carta sismotettonica della Regione Emilia-Romagna e aree limitrofe (scala originale 1:250.000)

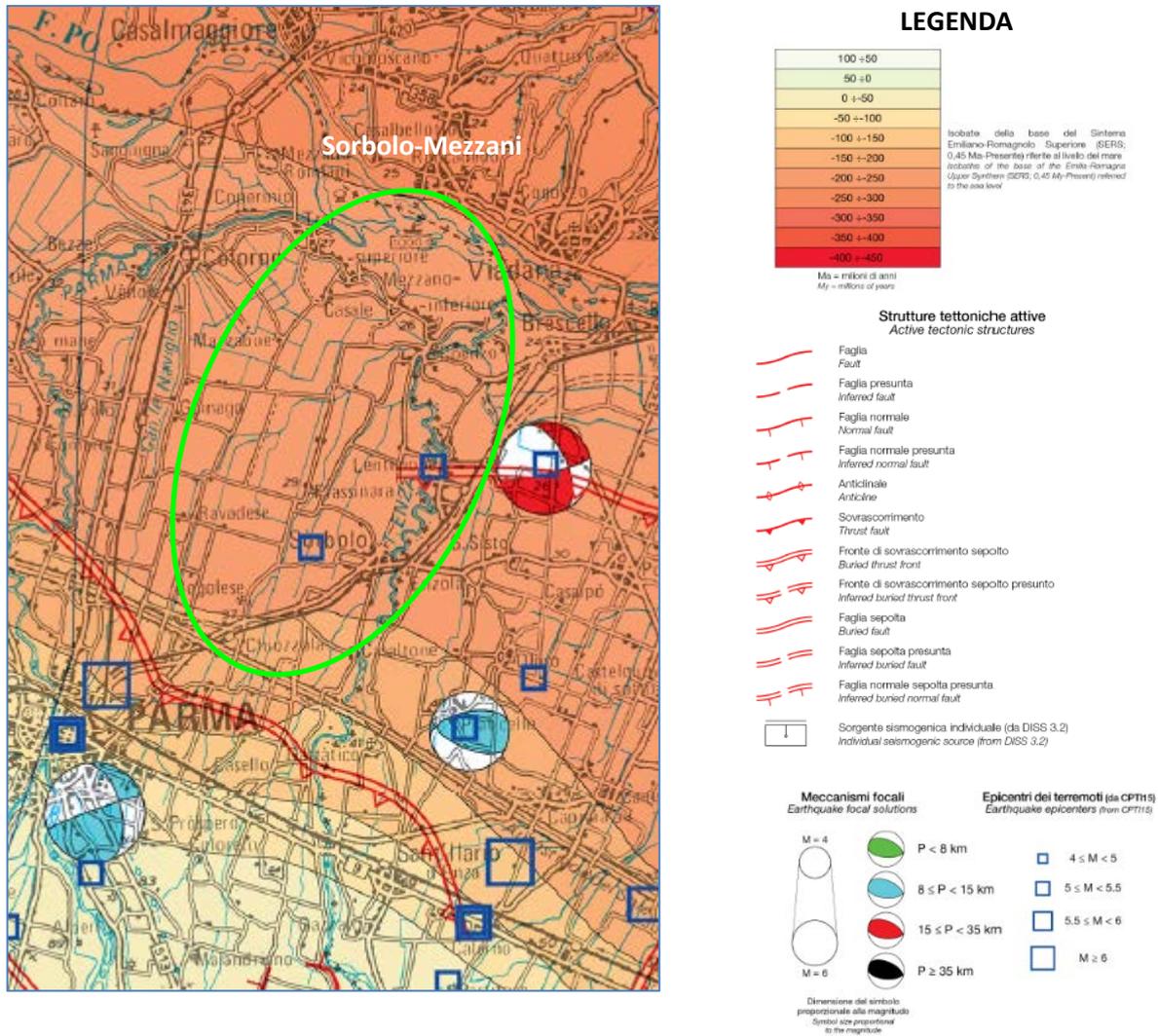
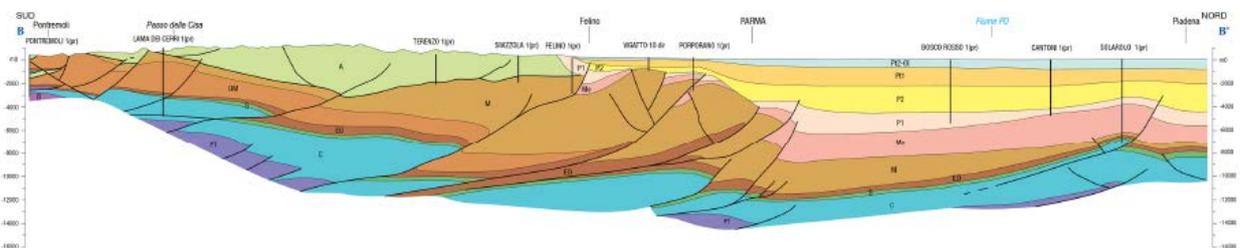


Figura 6 – Estratto della Carta delle Sezioni Profonde – sez. BB' (Regione Emilia-Romagna)

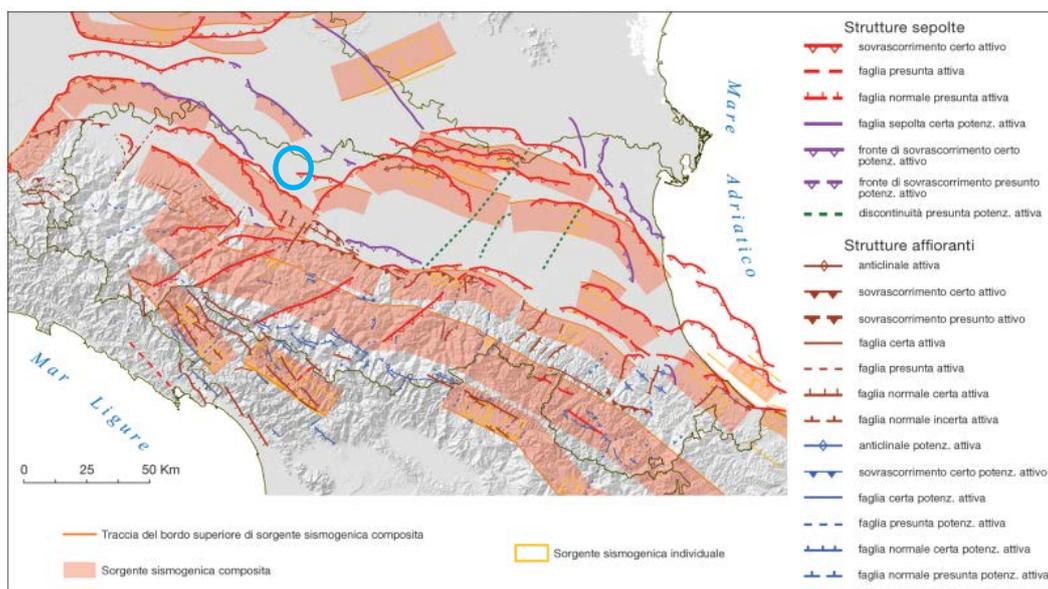


L'interpretazione delle linee sismiche disponibili indica che i thrust delle Pieghe Emiliane si approfondiscono verso sud fino a profondità di almeno 14÷15 km, coinvolgendo sicuramente la successione carbonatica mesozoica e la successione permo-triassica; Fantoni e Franciosi (2010) indicano che poco a nord del margine appenninico il thrust basale delle Pieghe Emiliane si approfondisce e prosegue nel basamento.

I dati sismologici strumentali confermano una concentrazione degli ipocentri nei primi 8÷10 km; verso sud-est sono presenti meccanismi focali indicativi di movimenti compressivi con componente trascorrente, alcuni dei quali a profondità di circa 20 km

Nella figura seguente si riporta il confronto tra le strutture attive e potenzialmente attive riconosciute nella “Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna ed aree limitrofe” e le zone del catalogo DISS 3.2, il database delle sorgenti sismogenetiche italiane, potenzialmente in grado di generare sismi con magnitudo superiore a M 5.5 nell’area Italiana; si evidenzia anche in questo caso come il Comune di Sorbolo Mezzani non ricade all’interno di Zone sismogenetiche.

Figura 7 – Mappa di confronto tra le strutture tettoniche attive e potenzialmente attive riportate nella “Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna ed aree limitrofe” e le zone sismogenetiche del DISS 3.2 (DISS Working Group, 2015).



Sulla base delle strutture attive e potenzialmente attive riconosciute e della distribuzione della sismicità storica e strumentale è stata proposta, da parte di *Martelli et alii* (2017), anche una nuova zonazione sismogenetica dell’Appennino emiliano-romagnolo e aree limitrofe, al fine di fornire un contributo per l’aggiornamento della mappa di pericolosità sismica nazionale; secondo la nuova proposta, il Comune di Sorbolo Mezzani ricade in zona sismogenetica con meccanismi di rottura prevalentemente di tipo trascorrente (strike slip fault).

Più precisamente rientrerebbe nella Zona 2 Taro-Enza (Figura 8), contraddistinta dalle seguenti caratteristiche sismotettoniche:

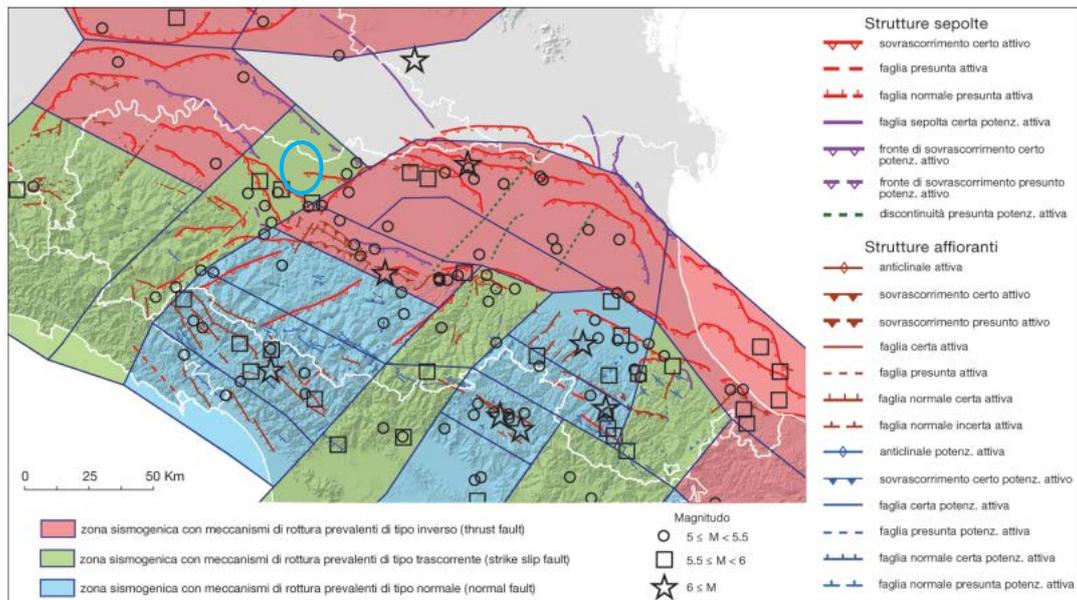
- Orientazione delle principali faglie attive: NE-SW (S/45-60)
- Geometria principale delle faglie attive: trascorrente
- Geometria secondaria delle faglie attive: inversa
- Profondità ipocentrale stimata: 5-30 km
- Magnitudo massima osservata: 5.5
- Magnitudo massima calcolata: 5.71 +/- 0.29

così descritta:

- *Zona estesa dal Mar Ligure (Liguria di Levante) al Po, caratterizzata dalla presenza di importanti elementi tettonici trasversali all’asse della catena, con componente di movimento trascorrente, che interrompono e dislocano le strutture “appenniniche”. Le profondità ipocentrali sono talora elevate (>30 km), Lungo il margine appenninico e in corrispondenza del settore orientale delle Pieghe Emiliane si ritengono probabili*

sovrascorrimenti attivi. La direzione di compressione (assi P) è in ogni caso circa N-S. La magnitudo storica massima è $M \approx 5.7$. Corrisponde alla parte occidentale delle zone ZS9 913, 915 e 916; la parte settentrionale non era compresa in nessuna zona ZS9.

Figura 8 – Mappa di confronto tra le strutture attive e potenzialmente attive riconosciute e la zonazione sismogenetica proposta da Martelli et al. (2017)



3.2 Classificazione sismica del territorio comunale

La classificazione sismica dei comuni su tutto il territorio nazionale è stata definita dall'Allegato 1, punto 3 dell'Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003, utilizzando e aggiornando la precedente proposta nel 1998.

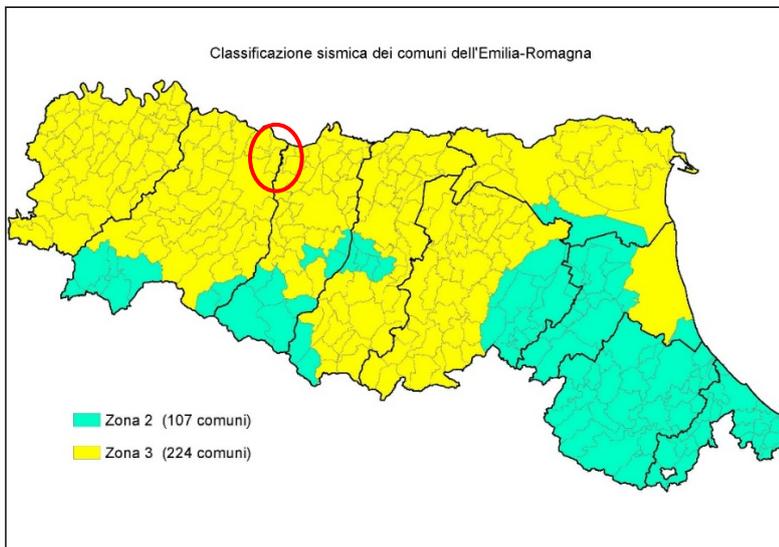
La suddivisione è articolata in 4 zone, ciascuna delle quali è contraddistinta da un diverso valore dell'accelerazione di picco orizzontale del suolo (ag) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni: le prime 3 corrispondono alle zone di sismicità alta ($S=12$), media ($S=9$) e bassa ($S=6$), contemplati nella Legge 64/74, mentre la zona 4 è di nuova introduzione.

Il Comune di Sorbolo Mezzani è classificato in **classe 3**, in base alla DGR 1164 del 23/07/2018, ovvero a bassa sismicità in base alla precedente classificazione conseguente l'Ordinanza del PCM n. 3274/2003.

Nella Classificazione sismica aggiornata al 2018, il territorio comunale era ancora suddiviso nei due precedenti comuni (Sorbolo e Mezzani) (cfr. Figura 9).

Si specifica che la classificazione sismica non interferisce con la determinazione dell'azione sismica, necessaria per la progettazione e la realizzazione degli interventi di prevenzione del rischio sismico. L'azione sismica è definita, per ogni sito, dai parametri di pericolosità sismica previsti dalle norme tecniche per le costruzioni NTC 2018, superando, quindi, la differenza tra valori di accelerazione previsti dagli studi di pericolosità sismica a scala nazionale e valori previsti dalla normativa antisismica per un suolo di riferimento.

Figura 9 - Classificazione sismica dei comuni dell'Emilia-Romagna aggiornata al luglio 2018. (Nel cerchio rosso il Comune di Sorbolo Mezzani)



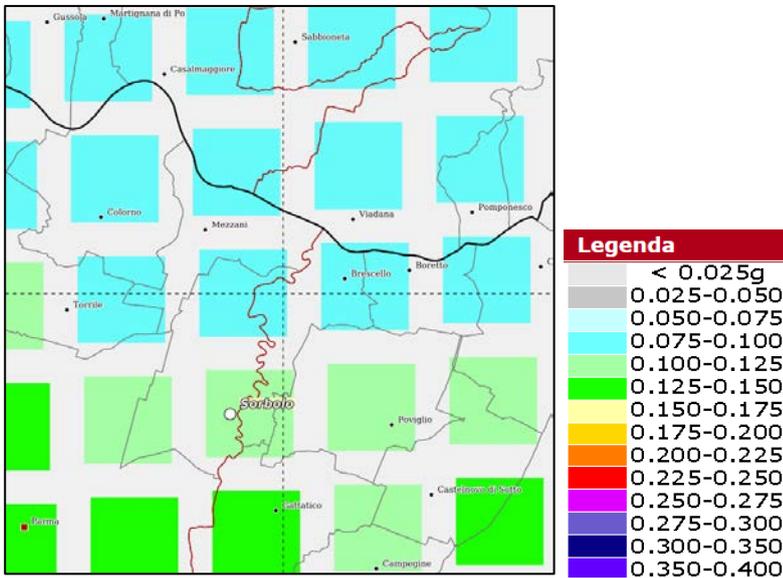
Secondo la mappa di pericolosità sismica nazionale MPS04², attuale riferimento ufficiale per il calcolo dell'azione sismica ai fini della progettazione, la pericolosità sismica del versante padano dell'Appennino settentrionale e della Pianura Padana decresce gradualmente dal crinale appenninico alla pianura lombardo-veneta.

Di seguito si riporta la mappa di pericolosità sismica nazionale con i valori di PGA con una probabilità di superamento del 10% in un periodo di 50 anni (con un periodo di ritorno di 475 anni) e la loro frequenza di occorrenza annua. Questi parametri evidenziano le aree ove si possono verificare sismi di elevata intensità e dunque quelle in cui si rileva una maggiore pericolosità. Considerando un tempo di ritorno di 475 anni, il Comune di Sorbolo-Mezzani presenta un'accelerazione attesa al suolo (PGA) compresa tra 0.075g e 0.100g nella parte settentrionale (grosso modo ex comune di Mezzani) e tra 0.100 e 0.125 nella parte centro-meridionale (grosso modo ex comune di Sorbolo).



² (<http://zonesismiche.mi.ingv.it/>; Gruppo di lavoro MPS, 2004; Stucchi et al., 2011)

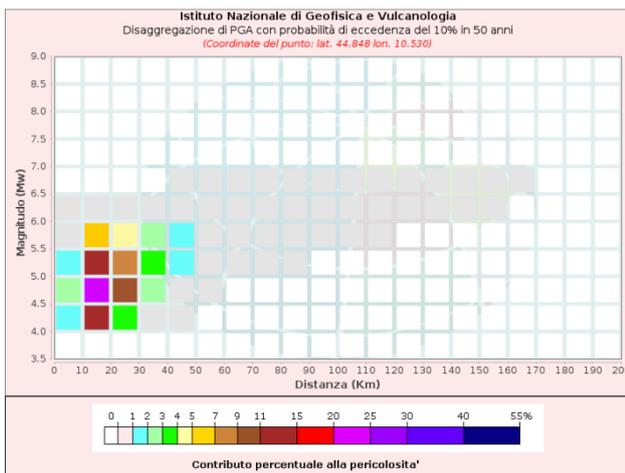
Figura 10 – Valori di PGA attesi per il territorio comunale di Sorbolo Mezzani con il 10% di probabilità di superamento in 50 anni, calcolato dallo studio di pericolosità sismica dell'INGV.



La disaggregazione del valore di a_g con la medesima probabilità di eccedenza (Figura 11) mostra come il contributo percentuale maggiore (20-25%) alla pericolosità sismica di base del territorio comunale, nella parte sud, sia determinato da sismi di magnitudo compresa tra 4.5 e 5.0, con epicentro tra 10 -20 km di distanza dal territorio comunale, mentre nella parte nord il contributo percentuale maggiore (15-20%) risulta determinato da sismi di magnitudo compresa tra 4.5 e 5.0, con epicentro tra 20 -30 km di distanza dal territorio comunale.

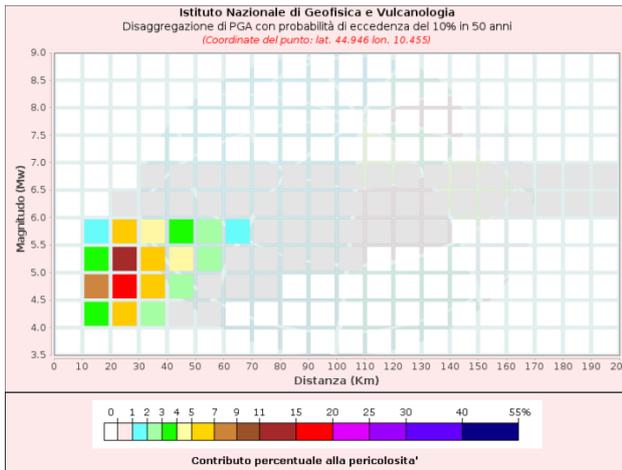
Figura 11 – Disaggregazione del valore di a_g con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni per il territorio comunale di Sorbolo Mezzani.

Zona sud



Distanza (km)	Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni										
	Magnitudo										
in Km	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.0000	11.5200	12.5400	11.2100	10.4530	10.0349	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
10-20	10.0000	111.5000	22.5000	13.4000	5.7300	10.3440	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
20-30	10.0000	13.3300	19.1000	17.8000	14.3900	10.2790	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
30-40	10.0000	10.3940	12.5400	13.3500	12.3800	10.1590	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
40-50	10.0000	10.0000	10.0326	10.5340	10.8390	10.3910	10.0617	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
50-60	10.0000	10.0000	10.0000	10.1350	10.4770	10.4360	10.0827	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
60-70	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0734	10.1560	10.0379	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
70-80	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0217	10.2070	10.0266	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
80-90	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0218	10.0672	10.0181	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
90-100	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
100-110	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
110-120	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0004	10.0154	10.0053	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
120-130	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0045	10.0021	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
130-140	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0014	10.0009	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
140-150	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0009	10.0011	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
150-160	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0004	10.0010	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
160-170	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0005	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
170-180	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
180-190	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
190-200	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000

Valori Medi: magnitudo = 5.01 ; distanza = 21.4 ; epsilon = 1.27



Zona nord

Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni

Distanza	Magnitudo										
in Km	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	13.8200	17.1900	13.9600	11.3900	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
20-30	0.0000	16.4700	15.1000	11.0000	15.4600	10.3060	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
30-40	0.0000	12.1100	16.9200	16.8000	14.1700	10.3410	10.0122	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
40-50	0.0000	10.3660	12.9600	14.2200	13.2600	10.8730	10.1020	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
50-60	0.0000	10.0055	10.8100	12.2300	12.1000	10.7150	10.0956	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
60-70	0.0000	10.0000	10.1110	10.9490	11.3600	10.8070	10.1330	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
70-80	0.0000	10.0000	10.0029	10.3270	10.7990	10.6540	10.1200	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
80-90	0.0000	10.0000	10.0000	10.0147	10.1800	10.2260	10.0480	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
90-100	0.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0147	10.1800	10.2260	10.0480	10.0000	10.0000	10.0000
100-110	0.0000	10.0000	10.0000	10.0003	10.0678	10.1270	10.0294	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
110-120	0.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0024	10.0539	10.0135	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
120-130	0.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0055	10.0216	10.0060	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
130-140	0.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0012	10.0128	10.0041	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
140-150	0.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0001	10.0142	10.0058	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
150-160	0.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0122	10.0064	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
160-170	0.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0083	10.0057	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
170-180	0.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0040	10.0040	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
180-190	0.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0013	10.0023	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000
190-200	0.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000	10.0003	10.0012	10.0000	10.0000	10.0000	10.0000

Valori Medi: magnitudo = 5.11 ; distanza = 33.2 ; epsilon = 1.58

3.3 Sismicità del territorio comunale

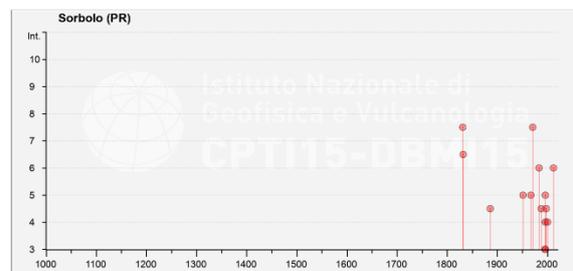
Se si analizza la sequenza storica degli effetti macrosismici registrati nel territorio comunale dal database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani - Database Macrosismico Italiano DBMI15 dell'INGV (Locati et al., 2016) - si nota come importanti effetti si siano registrati anche in relazione ad epicentri relativamente lontani dal territorio comunale.

Nella tabella seguente sono riassunti gli eventi di maggior intensità in cui viene indicato, per ciascun evento, oltre alla stessa intensità, l'anno, il mese (Me), il giorno (Gi), l'ora (Ho), il minuto (Mi) ed, eventualmente, il secondo (Se), in cui si è verificato, la denominazione dell'area epicentrale, il relativo numero di dati di intensità macrosismica (NMDP), l'intensità massima epicentrale in scala MCS (Io) e la magnitudo momento (Mw).

Tab. 1 - Massimi eventi sismici

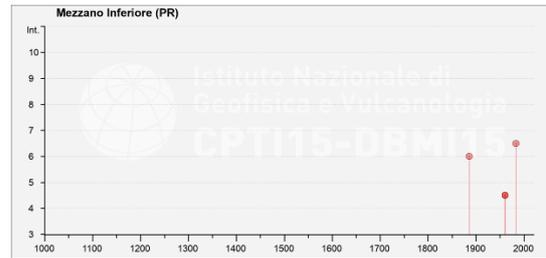
ABITATO DI SORBOLÒ

Effetti	In occasione del terremoto del						NMDP	Io	Mw
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale		
7-8	1831	09	11	18	15		Pianura emiliana	25	7-8 5.48
6-7	1832	03	13	03	30		Reggiano	97	7-8 5.51
4-5	1886	10	15	02	20		Collecchio	44	6 4.70
5	1951	05	15	22	54		Lodigiano	179	6-7 5.17
2	1955	03	12	06	57	0	Parmense	15	5 4.15
2	1961	08	13	22	34	1	Parmense	22	5-6 4.37
5	1967	04	03	16	36	1	Reggiano	45	5 4.44
7-8	1971	07	15	01	33	2	Parmense	228	8 5.51
6	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7 5.04
NF	1986	12	06	17	07	1	Ferrarese	604	6 4.43
4-5	1988	03	15	12	03	1	Reggiano	160	6 4.57
3	1995	10	10	06	54	2	Lunigiana	341	7 4.82
5	1996	10	15	09	55	5	Pianura emiliana	135	7 5.38
3	1996	10	26	04	56	5	Pianura emiliana	63	5-6 3.94
NF	1996	10	26	06	50	2	Pianura emiliana	35	5-6 3.63
NF	1996	11	25	19	47	5	Pianura emiliana	65	5-6 4.29
4	1996	12	16	09	09	5	Pianura emiliana	115	5-6 4.06
2-3	1997	05	12	22	13	5	Pianura emiliana	56	4-5 3.68
4-5	1998	02	21	02	21	1	Pianura emiliana	104	5 3.93
4	2000	06	18	07	42	0	Pianura emiliana	304	5-6 4.40
NF	2002	06	18	22	23	3	Frignano	186	4 4.30
NF	2002	11	13	10	48	0	Franciaacorta	768	5 4.21
6	2012	01	25	08	06	3	Pianura emiliana	25	5-6 4.98



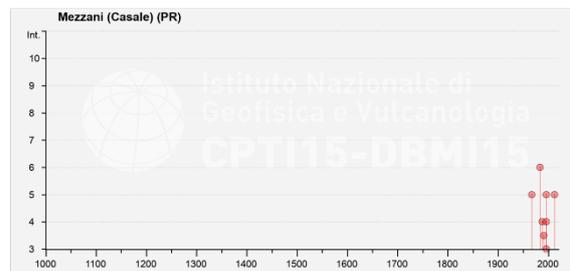
ABITATO DI MEZZANO INFERIORE

Effetti	In occasione del terremoto del							NMDP	Io	Mw
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale			
6	1886	10	15	02	20		Collecchio	44	6	4.70
4-5	1961	08	13	22	34	1	Parmense	22	5-6	4.37
4-5	1961	08	14	01	03	0	Parmense	14	5-6	4.47
6-7	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04



ABITATO DI MEZZANO CASALE

Effetti	In occasione del terremoto del							NMDP	Io	Mw
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale			
5	1967	04	03	16	36	1	Reggiano	45	5	4.44
6	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04
4	1988	03	15	12	03	1	Reggiano	160	6	4.57
3-4	1991	10	31	09	31	1	Emilia occidentale	134	5	4.33
5	1996	10	15	09	55	5	Pianura emiliana	135	7	5.38
NF	1996	10	26	04	56	5	Pianura emiliana	63	5-6	3.94
3	1996	10	26	06	50	2	Pianura emiliana	35	5-6	3.63
4	1996	11	25	19	47	5	Pianura emiliana	65	5-6	4.29
NF	1996	12	16	09	09	5	Pianura emiliana	115	5-6	4.06
NF	1997	05	12	22	13	5	Pianura emiliana	56	4-5	3.68
NF	1998	02	21	02	21	1	Pianura emiliana	104	5	3.93
5	2012	01	25	08	06	3	Pianura emiliana	25	5-6	4.98



Legenda: **Int.** - Intensità al sito (MCS); **Io** - Intensità epicentrale (MCS); **Mw** - Magnitudo momento (epicentrale); **NMDP** - Numero di punti, numero di osservazioni macrosismiche disponibili per il terremoto.

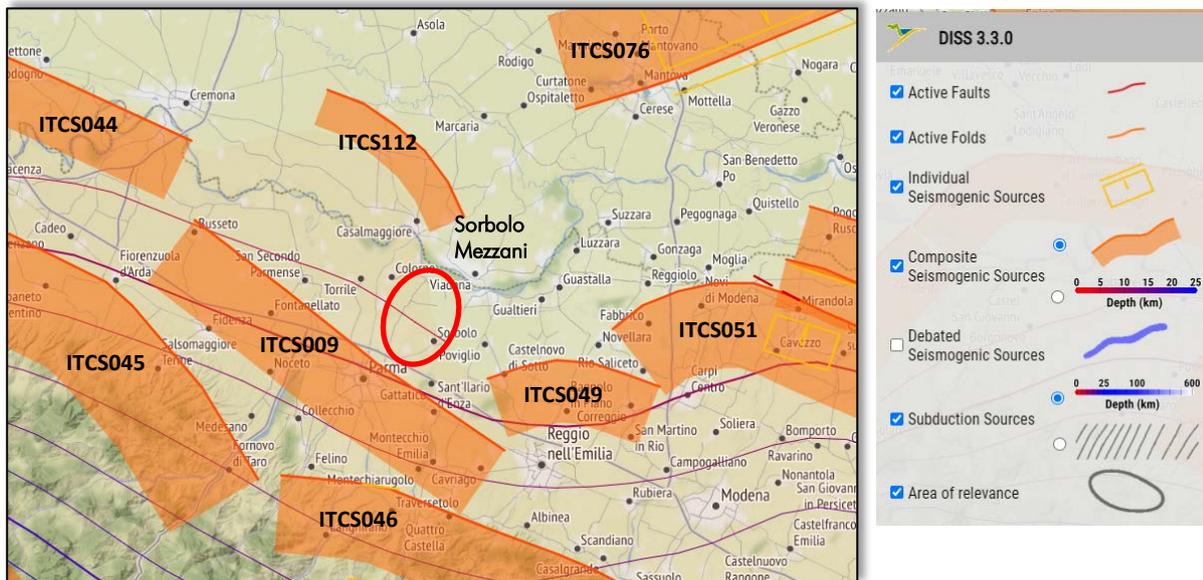
Dalla analisi delle suddette tabelle si evidenzia che i massimi eventi sismici avvertiti a Sorbolo si sono verificati l'11 settembre 1831 e il 15 luglio 1971, entrambi con un'intensità al sito del VII-VIII grado della scala MCS, mentre l'evento di maggior intensità avvertito a Mezzano Casale e Mezzano Inferiore si è verificato 9 novembre 1983, con un'intensità al sito del VI-VII grado della scala MCS.

In particolare, l'epicentro del sisma del 1971 è stato registrato nel territorio comunale in località Casaltone, con intensità epicentrale pari a VII grado MCS. Il campo macrosismico del terremoto del 1971 ha avuto aree di risentimento molto estese, interessando oltre alla provincia di Parma anche quelle limitrofe di Mantova, Cremona, Reggio Emilia e Piacenza. L'epicentro del sisma del 1983 è stato invece registrato a sud-ovest di Parma con intensità epicentrale pari a VII grado MCS. Il campo macrosismico del terremoto del 1983 ha avuto aree di risentimento meno estese del terremoto descritto in precedenza, interessando la pianura parmense e il pedeappennino e le vicine province di Mantova, Cremona, Reggio Emilia e Piacenza.

Sovrapponendo gli epicentri dei sismi che hanno dato, storicamente, effetti macrosismici maggiori (MCS ≥ 5) all'interno del territorio comunale di Sorbolo Mezzani, sulle sorgenti sismogenetiche dell'INGV (Figura 12), è possibile constatare come le maggiori intensità al sito siano state determinate da sismi avvenuti all'interno delle seguenti sorgenti:

- ITCS112 – Piadena, con una magnitudo massima attesa Mw=5.5;
- ITCS009 – Busseto-Cavriago, con magnitudo massima attesa Mw=5.6;
- ITCS049 – Campegine-Correggio, con una magnitudo massima attesa Mw=5.5;
- ITCS051 - Carpi-Poggio Renatico, con una magnitudo massima attesa Mw=6.0.

Figura 12 – Ubicazione delle sorgenti sismogenetiche del DISS 3.3



Come evidenziato nell'immagine precedente, il territorio di Sorbolo Mezzani non ricade in corrispondenza di alcuna sorgente sismogenetica; quella più prossima è a sud, la sorgente sismogenetica composta **ITCS009** "Busseto-Cavriago", ritenuta capace di produrre sismi con Mw massima pari a **5.6** (derivata dalla massima magnitudo della sorgente individuale associata). La geometria è determinata principalmente sulla base di osservazioni geologiche e geofisiche: lo *strike* varia da 120° a 140°; il *dip* varia da 20° a 40°; il *rake* è assunto corrispondente ad un sovrascorrimento puro (90°-120°); la *slip rate* varia da 0,16 a 0,53 mm/anno; le profondità minima e massima sono state individuate, rispettivamente, a -2.0 e -8.0 km.

A nord di Sorbolo Mezzani si trova invece la sorgente sismogenetica composta **ITCS112** "Piadena", ritenuta capace di produrre sismi con Mw massima pari a **5.5** (derivata dalla massima magnitudo della sorgente individuale associata). La geometria è determinata principalmente sulla base di osservazioni geologiche e geofisiche: lo *strike* varia da 110° a 150°; il *dip* varia da 25° a 45°; il *rake* è assunto corrispondente ad un sovrascorrimento puro (80°-100°); la *slip rate* varia da 0,23 a 0,91 mm/anno; le profondità minima e massima sono state individuate, rispettivamente, a -2.5 e -6.0 km.

A SE di Sorbolo Mezzani è presente la sorgente sismogenetica composta **ITCS049** "Campegine-Correggio", ritenuta capace di produrre sismi con Mw massima pari a **5.5** (assunta da dati sismologici regionali). La geometria è determinata principalmente sulla base di dati strutturali e sismologici: lo *strike* varia da 70° a 110°; il *dip* varia da 30° a 50°; il *rake* è assunto corrispondente ad un sovrascorrimento puro (80°-100°); la *slip rate* varia da 0,04 a 0,16 mm/anno; le profondità minima e massima sono state individuate, rispettivamente, a -3 e -10 km.

Ad est di Sorbolo Mezzani è infine presente la sorgente sismogenetica composta **ITCS051** "Carpi-Poggio Renatico", ritenuta capace di produrre sismi con Mw massima pari a **6.0** (derivata dalla massima magnitudo della sorgente individuale associata). La geometria è determinata principalmente sulla base di osservazioni geologiche e geofisiche: lo *strike* varia da 50° a 120°; il *dip* varia da 25° a 45°; il *rake* è assunto corrispondente ad un sovrascorrimento puro (80°-100°); la *slip rate* varia da 0,5 a 1,04 mm/anno; le profondità minima e massima sono state individuate, rispettivamente, a -2 e -10 km. Questa sorgente (nello specifico la sua individuale ITIS107 "Mirandola") ha generato il sisma del 29 maggio 2012.

4 ASPETTI GEOLOGICI E GEOMORFOLOGICI

4.1 Lineamenti geologici generali

Sotto il profilo geologico, il territorio comunale di Sorbolo Mezzani, ricade nella bassa pianura parmense, in un settore deposizionalmente influenzato dalle alluvioni del fiume Po, oltre che dei suoi affluenti di destra, Enza, Parma e Taro.

L'evoluzione geologica del territorio comunale va necessariamente inquadrata in un contesto regionale; essa ricade nella parte centro-meridionale della Pianura Padana, che costituisce dal punto di vista geologico, un grande bacino subsidente Plio-quadernario di tipo sedimentario, che comincia a delinarsi sin dall'inizio del Triassico (225 milioni di anni fa) e viene interessato da subsidenza differenziata sia nel tempo che nello spazio, in diversi periodi (Mesozoico, Cenozoico, ma soprattutto Pliocene e Quaternario), con movimenti verticali controllati dai caratteri strutturali presenti in profondità; in particolare l'attuale strutturazione del bacino trae origine dalle spinte deformative che, a partire dal Miocene superiore, hanno coinvolto l'Appennino Settentrionale e l'antistante substrato padano, provocandone la deformazione secondo un modello generale a falde sovrapposte ed embrici NE vergenti (PIERI & GROPPPI, 1982).

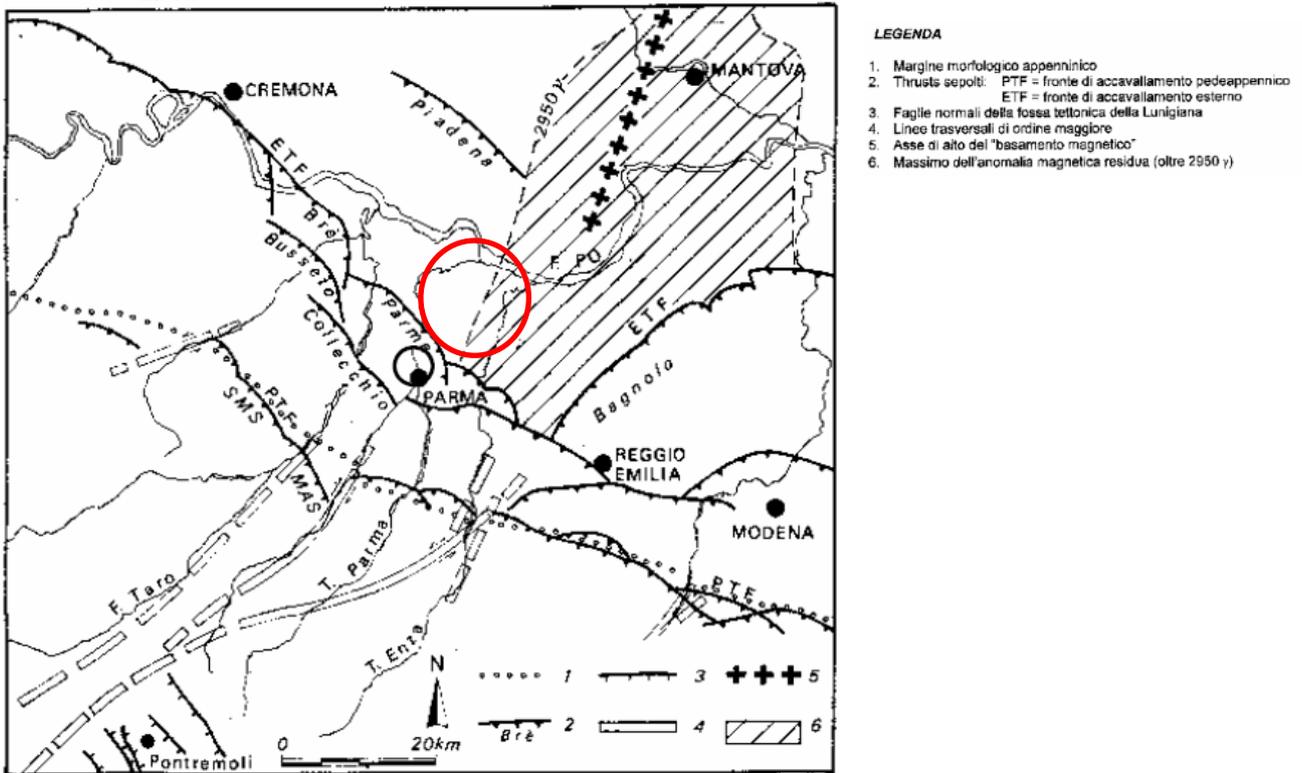
L'attività deformativa si è sviluppata coinvolgendo i depositi marini neogenici in una serie di poderosi accavallamenti (thrust), con geometria a cunei sedimentari sintettonici, secondo un modello generale di embrici nord-est vergenti. Si tratta complessivamente di strutture anticlinaliche, formatesi attraverso faglie inverse e sovrascorrimenti immergenti verso sud - ovest con inclinazioni comprese tra i 15° e i 30° verosimilmente localizzati alla base dei depositi mesozoici e terziari (Boccaletti et al., 1985), m, separati da ampie zone sinclinaliche fortemente subsidenti (Figura 14).

In particolare nel settore emiliano sono riconosciuti due importanti serie di thrusts sepolti a sviluppo sequenziale frontale con direzione NW-SE (Figura 13):

- un fascio meridionale, noto come “Fronte di accavallamento pedeappenninico” (Pedeappenninic Thrust Front = PTF), corrispondente al limite morfologico affiorante dell'Appennino, sviluppato nel sottosuolo in corrispondenza dei terrazzi pre-wurmiani e rappresentato dalle strutture anticlinaliche di Busseto e di Brè, che proseguono, verso SE, nelle strutture di Collecchio e Parma, a nord della quale è ubicato il territorio comunale di Sorbolo Mezzani;
- un fascio settentrionale, che si estende lungo l'allineamento “Cremona – Parma – Reggio Emilia”, appartiene all'arco delle “Pieghe Emiliane e Ferraresi” e corrispondente al limite del “Fronte di accavallamento esterno” (External Thrust Front = ETF) delle pieghe emiliane, che dall'Appennino vogherese si estendono fino alla linea del Sillaro. Esso risulta costituito da un sistema di thrust ciechi ed arcuati in pianta, interessati da discontinuità trasversali con probabile componente di movimento trascorrente.

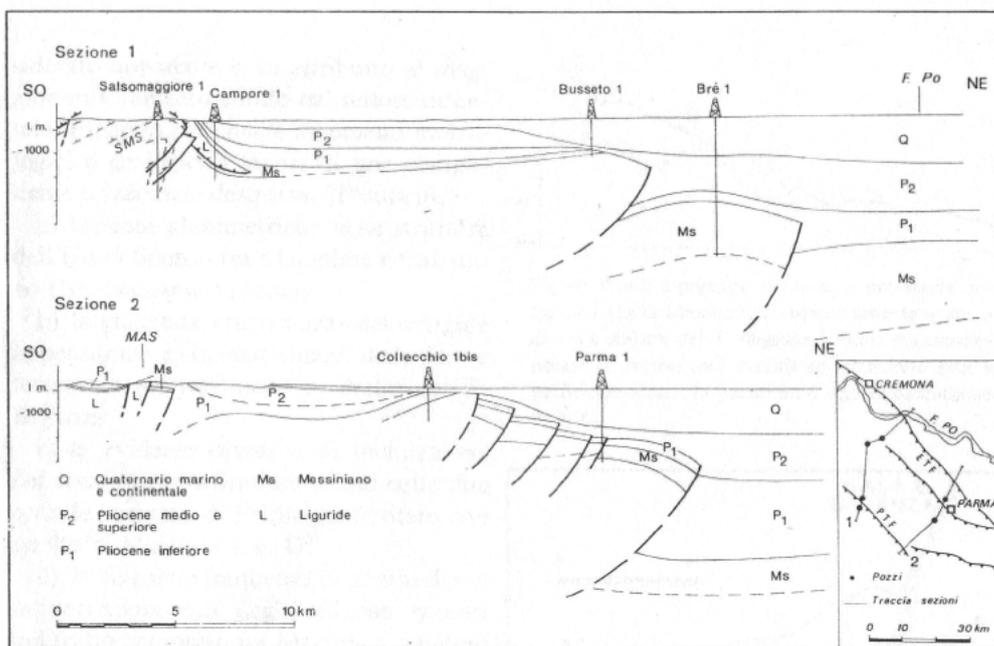
L'attività tettonica ha determinato, in entrambi i fasci di thrust, discontinuità trasversali che sono note in letteratura con il nome del corso d'acqua ad esse coincidente: linea del Taro, del Baganza e dell'Enza.

Figura 13 - Schema strutturale del margine e del fronte appenninico (M. Bernini e G. Papani)



Dal punto di vista strutturale il territorio comunale si localizza a valle del fronte di accavallamento esterno ETF (External Thrust Front) delle pieghe emiliane; da ciò consegue che lo spessore dei depositi continentali nella zona di studio risulta di alcune centinaia di metri.

Figura 14 - Sezioni geologiche (da Pieri e Groppi, 1981). SMS = Struttura di Salsomaggiore; MAS = Struttura di M. Ardone



Le strutture profonde citate hanno esercitato, a partire dal Pleistocene e continuano tuttora ad esercitare, un'azione di controllo sull'evoluzione della pianura soprattutto mediante fenomeni di subsidenza (Neotettonica) che, oltre a condizionare la morfologia fluviale, ingenerano deformazioni passive nei sedimenti già depositi.

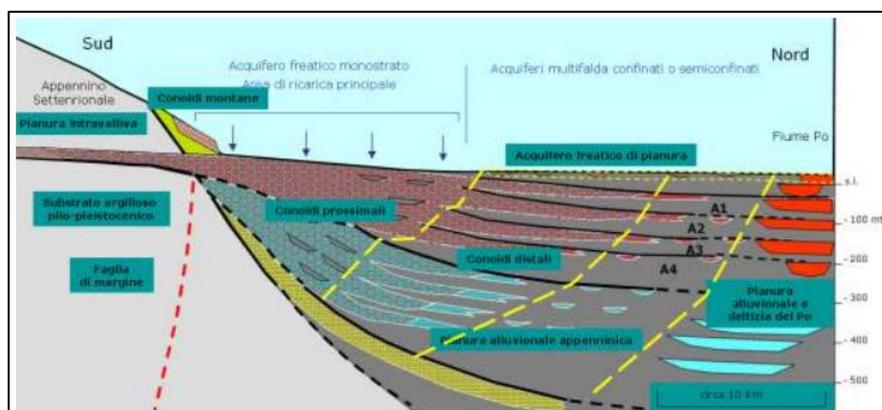
Seguendo lo schema dei rapporti stratigrafici di Dondi (1982), la copertura sedimentaria, al di sopra del basamento cristallino fino al piano campagna, si compone delle seguenti unità:

- successioni calcaree di ambiente di piattaforma del Giurassico - Cretacico inf. (sondaggio AGIP di Bagnolo in Piano - Reggio Emilia);
- successioni arenaceo-marnose del Miocene;
- successioni sabbiose-argillose del Pliocene;
- successioni terrigene marine e continentali del Quaternario.

Le esplorazioni effettuate dall'AGIP hanno inoltre messo in evidenza che la successione sedimentaria del quaternario presenta, in corrispondenza dell'asse fluviale del Po (Provincia di Parma), una potenza di circa 1.500 – 2.000 metri, mentre quella Plio - Miocenica di circa 6.000 – 7.000 metri.

Gli orizzonti sedimentari più superficiali della pianura, che caratterizzano uno spessore di circa 400 – 500 m, sono quindi costituiti in massima parte da depositi di origine alluvionale e minimamente da depositi marino marginali. La distribuzione di questi corpi sedimentari nel sottosuolo è schematicamente rappresentata nella sezione riportata nella figura seguente, che attraversa tutta la pianura da Sud a Nord, ovvero dal margine appenninico, che separa gli acquiferi montani da quelli di pianura, al Fiume Po.

Figura 15 - Sezione geologica schematica (fonte "Introduzione all'idrogeologia della pianura emiliano-romagnola" a cura di Paolo Severi e Luciana Bonzi S.G.S.S. Regione Emilia-Romagna – 2012)



Procedendo quindi dal margine appenninico verso nord, si trovano nell'ordine: le conoidi alluvionali, la pianura alluvionale appenninica e la pianura alluvionale e deltizia del Po.

Le conoidi alluvionali sono formate dai sedimenti che i fiumi depositano all'uscita dalla valle, dove il corso d'acqua non è più confinato lateralmente e vi è una brusca diminuzione della pendenza topografica. Nella porzione più vicina al margine (conoidi prossimali), allo sbocco del fiume nella pianura, prevalgono le ghiaie grossolane e frequentemente affioranti, che proseguono nel sottosuolo con spessori anche di alcune centinaia di metri, mentre i depositi fini sono rari e discontinui; procedendo verso la pianura aumenta invece la presenza di depositi fini che si alternano a quelli ghiaiosi (qui sepolti) in corpi tabulari molto estesi (conoidi distali).

La pianura alluvionale appenninica è caratterizzata da una pendenza topografica inferiore ed è formata dai sedimenti fini trasportati dai fiumi appenninici a distanze maggiori, costituiti da alternanze di limi più o meno argillosi, argille e sabbie limose. Essa inizia laddove i corpi ghiaiosi si chiudono e passano lateralmente a sabbie, presenti come singoli corpi nastriformi di pochi metri di spessore, che rappresentano i depositi di

riempimento di canale e di argine prossimale. Talvolta si ritrovano degli orizzonti argillosi molto ricchi di sostanza organica che testimoniano il succedersi degli eventi di trasgressione marina che hanno interessato la zona costiera dell'Emilia-Romagna durante il Pleistocene e che costituiscono dei veri e propri livelli guida. Procedendo verso nord si passa alla pianura alluvionale e deltizia del Fiume Po, costituita dall'alternanza di corpi sabbiosi molto estesi e sedimenti fini. Le sabbie derivano dalla sedimentazione del Fiume Po e sono presenti in strati amalgamati tra loro a formare livelli spessi anche alcune decine di metri ed estesi per svariati chilometri. In quest'area questi depositi hanno sempre un'origine alluvionale. I sedimenti fini che si alternano a questi strati sabbiosi sono formati da limi più o meno argillosi, argille e più raramente sabbie limose. Anche nella pianura alluvionale del Po sono presenti dei depositi argillosi ricchi in sostanza organica che fungono da livelli guida.

L'area in esame si colloca, in particolare, in una zona d'interferenza dei depositi alluvionali del t. Enza e verso nord, del Fiume Po, che hanno dato luogo ad un edificio sedimentario nel quale risulta assai difficoltoso riconoscere l'appartenenza dei depositi stessi all'uno o all'altro corso d'acqua.

4.2 Assetto geomorfologico

Il territorio comunale di Sorbolo Mezzani si colloca nella fascia di bassa pianura alluvionale, compresa tra la Via Emilia e il Po e tra il Torrente Parma ad Ovest ed il Torrente Enza ad Est, che segna, oltre che il confine comunale anche quello provinciale con la provincia di Reggio Emilia; in quest'area gli eventi morfogenetici responsabili dell'attuale assetto territoriale, sono riconducibili essenzialmente all'attività tettonica e alla dinamica fluviale, oltre che, in tempi più recenti, dall'azione antropica, mirata alla stabilizzazione e alla modellazione delle superfici del suolo compatibilmente alle esigenze economiche, produttive ed insediative. Si potrebbe anzi affermare che l'intervento antropico di bonifica, che si è andato sempre più intensificando dall'età preromana in poi, ha in gran parte modificato e poi interrotto l'evoluzione degli eventi naturali, diminuendo, fino in pratica ad annullare, la dinamica evolutiva del reticolo idrografico.

Gli elementi più significativi del territorio, rilevanti oltre che sotto il profilo morfologico, idrologico e idraulico, anche territoriale e paesistico, sono i dossi di pianura, originati dai sedimenti più competenti dei corsi d'acqua e costituiti da terreni permanentemente asciutti. Queste zone hanno storicamente rappresentato i principali corridoi di prima colonizzazione del territorio e lungo tali cordonature di terra asciutta hanno inizialmente trovato quasi esclusiva localizzazione gli insediamenti e i collegamenti viari.

Altre forme relittuali significative sono rappresentate dagli antichi tracciati abbandonati dei corsi d'acqua, tra cui di rilevanza paesaggistica si ricorda il geosito "Parma Morta" oggi sede di una Riserva naturale orientata.

Attraverso la lettura degli elementi morfologici è possibile ricostruire la dinamica evolutiva del territorio comunale ed in particolare individuare gli agenti e i processi che hanno portato all'attuale assetto morfologico.

I paleoalvei

Da vari indizi morfologici rilevabili sul territorio oltre che dalla consultazione della bibliografia, si desume che i torrenti Parma ed Enza, per i tratti terminali di confluenza con il fiume Po, scorrevano in passato in posizione differenti rispetto a quelle attuali: in particolare, il Torrente Parma seguiva presumibilmente un andamento più spostato a nord-est verso il territorio reggiano, spostandosi in seguito a occidente piuttosto repentinamente. È noto come in epoca romana il Parma scorresse verso est, andando a sfociare nello stesso Torrente Enza poco più a nord dell'attuale abitato di Coenzo.

La divagazione verso est dell'antico alveo del Torrente Parma è ben individuabile se si analizza l'attuale andamento del corso d'acqua e il repentino cambio di tracciato verso nord che si evidenzia nei pressi dell'abitato di Baganzola.

Nella figura seguente si riporta la "Carta Geomorfologica" (Elaborato QC_T_A5.3 a corredo del QC del redigendo PUG del Comune di Sorbolo Mezzani) nel quale è stato cartografato il tracciato del paleoalveo attribuibile al Torrente Parma in posizione oggi occupata dal Canalazzo Terrieri, un canale artificiale affluente di sinistra dell'Enza; il tracciato si sviluppa dalla zona di Borghetto Casalora di Ravadese verso nord-est.

Anche il torrente Enza scorreva in passato in posizione differente, più occidentale e, dall'analisi delle tracce degli antichi alvei del corso d'acqua riportate nella cartografia, è possibile osservarne il progressivo spostamento dalla zona occidentale del territorio comunale, prima verso l'abitato di Casaltone e successivamente ad occupare l'attuale percorso a partire dal XII secolo. La traccia dell'alveo fluviale abbandonato del torrente Enza posta più ad ovest, si sviluppa grosso modo dall'abitato di Chiozzola verso nord-est e risulta mascherato, per diversi tratti, dal tracciato dei dossi fluviali; una seconda traccia di alveo fluviale abbandonato dal torrente Enza, di epoca più recente, è invece riconoscibile poco ad ovest della frazione di Casaltone, in posizione oggi percorsa dal Canale Gambalone, canale ad uso promiscuo che sfocia nel torrente Enza poco a valle. Alla divagazione dell'alveo del torrente Enza, verrebbe per altro attribuita dalle fonti bibliografiche la brusca interruzione della centuriazione, oggi riconoscibile nella zona ad est dell'allineamento Ramoscello, Borghetto, Frassinara.

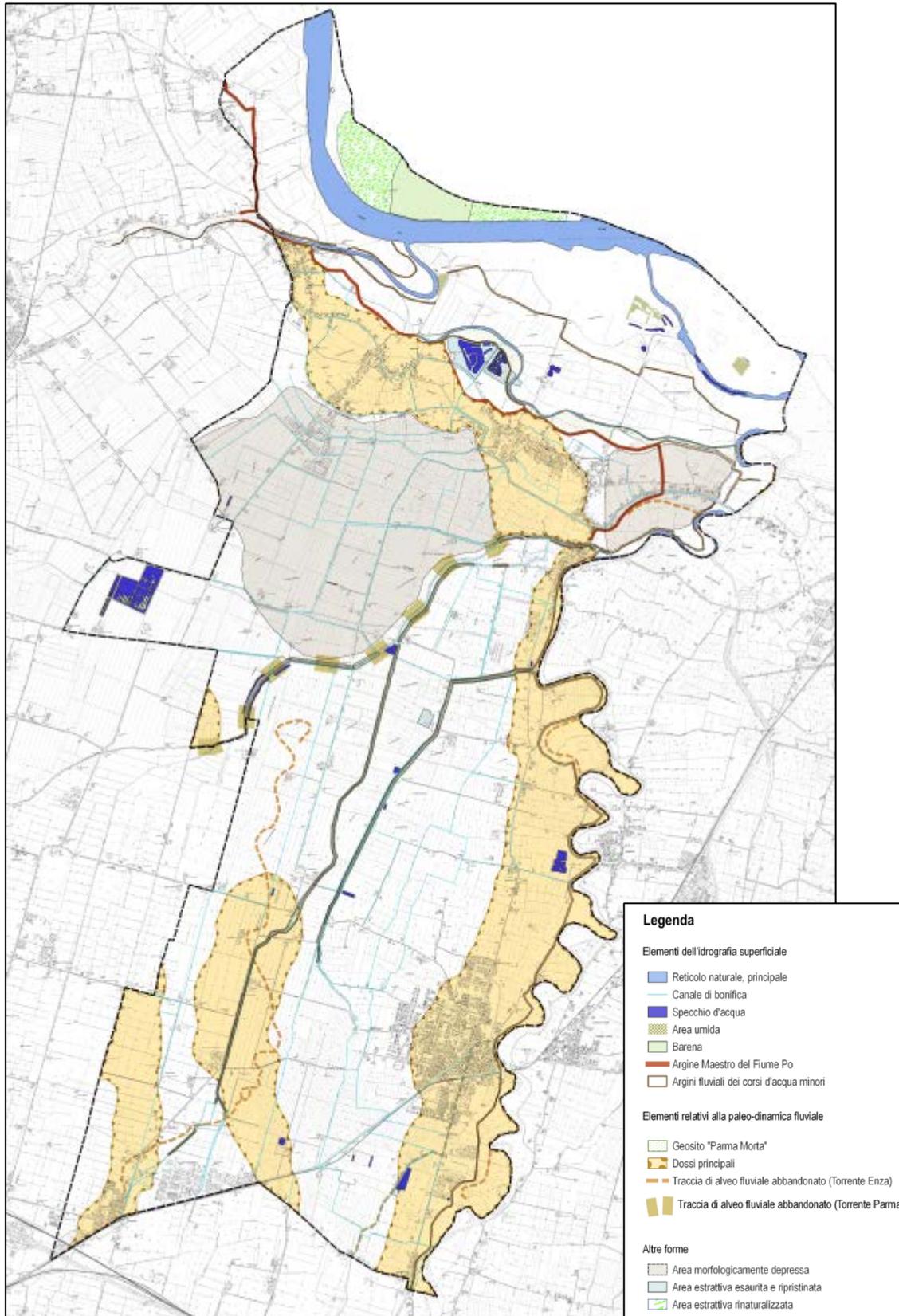
Tre tracce di paleoalvei dell'Enza di età più recente, sono infine stati individuati all'interno delle arginature, in corrispondenza di meandri fluviali abbandonati, uno nella parte meridionale del tracciato del corso d'acqua, poco a sud di Sorbolo, uno in corrispondenza dell'ansa abbandonata posta a nord di Enzano e un terzo nell'area a sud di Bocca d'Enza.

Dossi

Il territorio comunale, contraddistinto da un'evoluzione fluviale molto attiva, sia del fiume Po, che dei torrenti Parma ed Enza, è caratterizzato dalla presenza di "dossi" fluviali, ovvero strutture rilevate rialzate rispetto al piano di campagna circostante, corrispondenti ad alvei antichi od attuali pensili sulla pianura circostante; le morfostrutture, desunte dalla documentazione bibliografica e verificate sulla base del microrilievo, sono state cartografate nella "Carta Geomorfologica" riportata nella figura seguente.

I dossi nel territorio comunale si estendono sia a lato degli alvei fluviali, che all'interno delle piane interfluviali, rispecchiando nel complesso la rete idrografica superficiale sia recente che antica; i primi, che si sviluppano con continuità parallelamente e a lato dell'alveo inciso o della zona golenale definendo arginature naturali dei corsi d'acqua, s'individuano nel territorio comunale lungo il tracciato del fiume Enza, con andamento sud-nord e parallelamente al tracciato del fiume Po, con andamento NE-SO. Questi costituiscono morfologie rilevate del territorio, ancora riconoscibili dal microrilievo. I dossi delle piane interfluviali presentano invece una forma allungata con andamento da SO verso NE e risultano spesso livellati dalle attività di bonifica agraria.

Figura 16 – Carta Geomorfologica (Tavola QC_T_A5.3 QC/PUG del Comune di Sorbolo Mezzani - 2021)



5 DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

I dati elaborati in questa sede hanno preso a riferimento, oltre alle indagini contenute negli studi di MS dei Comuni di Sorbolo e Mezzani redatti nel 2016³, nuovi dati acquisiti attraverso un'apposita campagna geognostica eseguita nel Febbraio 2022 per il presente studio.

In particolare le indagini geotecniche e geofisiche (sondaggi, penetrometrie e prove geofisiche) fanno riferimento a:

- **prove disponibili presso gli uffici tecnici** degli ex comuni di Sorbolo (125) e di Mezzani (104) contenute nelle relazioni geologiche, prodotte a corredo di progetti edilizi e di opere pubbliche, reperite in occasione della redazione degli Studi di MS 2016;
- **indagini eseguite** nell'ambito di un'apposita campagna effettuata **nel 2016**, con **51** prove effettuate in sito nel territorio dell'ex comune di Sorbolo e **49** nel territorio dell'ex comune di Mezzani; in particolare erano state eseguite

Ex Comune di SORBOLO

- N° 1 sondaggi a carotaggio continuo,
- N° 6 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU)
- N° 3 prove penetrometriche statiche con piezocono e cono sismico (SCPTU)
- N° 1 prova Down-Hole
- N° 40 stazioni di microtremore a stazione singola (HVSR)

Ex Comune di MEZZANI

- N° 1 sondaggi a carotaggio continuo,
- N° 4 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU)
- N° 3 prove penetrometriche statiche con piezocono e cono sismico (SCPTU)
- N° 1 prova Down-Hole
- N° 40 stazioni di microtremore a stazione singola (HVSR)

Tutte le indagini precedentemente archiviate (MS 2016) sono state accorpate in un unico Database, appositamente creato per il nuovo comune di Sorbolo Mezzani (codice 051), attraverso apposita procedura, sviluppata all'interno del SoftMS (versione 4.1.1), che ha permesso anche di ricodificare tutte le indagini preesistenti con una numerazione univoca.

- **24 prove di nuova esecuzione** effettuate nel Febbraio 2022 con la duplice finalità di indagare le aree del Territorio Urbanizzato non studiate in precedenza e di approfondire situazioni connotate da potenziale liquefazione; in particolare
 - N° 20 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU)
 - N° 4 prove penetrometriche statiche con piezocono e cono sismico (SCPTU)

Tutte le indagini di nuova esecuzione sono state trasformate in formato digitale e georeferenziate, al fine di consentirne l'elaborazione in ambiente GIS e sono stati organizzati in formato vettoriale (shapefile) nel rispetto delle specifiche tecniche di riferimento⁴.

L'insieme degli elementi geologici e geofisici così acquisiti, unitamente alle informazioni presenti nella letteratura ed ai risultati di sopralluoghi effettuati nel territorio in studio, hanno permesso di ricostruire il modello geologico delle aree interessate dallo studio di microzonazione sismica.

³ Microzonazione Sismica (MZS) del Comune di Sorbolo - Studio Engeo s.r.l., Dicembre 2016, Microzonazione Sismica (MZS) del Comune di Mezzani - Dott. Geol. Massimiliano Trauzzi, Dicembre 2016.

⁴ Indicazioni per l'archiviazione informatica, rappresentazione e fornitura dei dati degli studi di microzonazione sismica e dell'analisi della Condizione Limite per l'Emergenza, di cui all'OPCM 4007/2012 e al Decreto del 16.03.2012 del Capo del Dipartimento della Protezione Civile.

6 MODELLO DEL SOTTOSUOLO

La base per uno studio di microzonazione sismica è la definizione, quanto più accurata possibile, del modello geologico del sottosuolo, cercando di individuare come varia la successione stratigrafica all'interno delle aree in esame e a che profondità si possa trovare il substrato rigido.

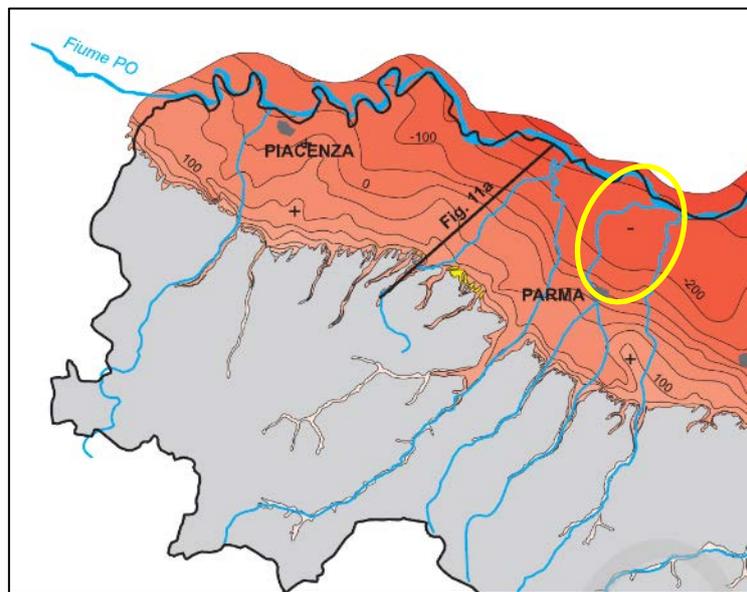
A tale scopo sono stati esaminati e confrontati tra loro tutti i dati geognostici raccolti oltre a differenti cartografie tematiche, con scale di diverso grado di dettaglio.

Oltre gli aspetti geologico-strutturali generali descritti nel capitolo 4 di questa relazione, a seguire si cercherà di fornire un quadro litostratigrafico di maggior dettaglio per il territorio comunale, attingendo alla documentazione reperibile dalle fonti ufficiali.

6.1 Geologia del territorio comunale

La successione sedimentaria continentale che contraddistingue i depositi più superficiali dell'area in studio, appartiene come detto al supersistema Emiliano-Romagnolo (ciclo Quaternario continentale Qc secondo *Ricci Lucchi et alii*, 1982) di età olocenico-pleistocenica che costituisce la parte sommitale del ciclo sedimentario trasgressivo-regressivo della successione post-evaporitica del margine padano-adriatico. Il supersistema è ripartito in due successioni sovrapposte di rango inferiore, il sistema Emiliano-Romagnolo inferiore (AEI) e il sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) (*Di Dio et alii*, 1997a, b), separati da una superficie di discontinuità stratigrafica. Nell'area d'indagine la base del sistema Emiliano-Romagnolo Superiore si colloca a profondità comprese tra i 100 m nella parte meridionale del territorio comunale e i 300 m nella parte più settentrionale (Figura 17); l'andamento irregolare con la presenza di culminazioni e depressioni (come in corrispondenza del territorio comunale), è testimonianza di un'attività tettonica recente.

Figura 17 - Isobate della base del Sistema Emiliano-Romagnolo superiore (fonte: Progetto CARG Foglio 181 Parma Nord).



Nel territorio comunale sono presenti solamente i terreni appartenenti al sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES), qui costituiti da depositi di piana alluvionale dei fiumi appenninici e depositi della piana a meandri del fiume Po; in particolare nell'area in studio, dei diversi subsistemi in cui risulta essere suddiviso il sistema AES, affiora solamente il termine superiore, ovvero il subsistema di Ravenna (AES₈), mentre in profondità sono stati riconosciuti anche i depositi appartenenti al subsistema di Villa Verrucchio (AES₇) e il subsistema di Agazzano (AES₃) (cfr. Figura 18 – sezioni C'C'' e F'F''). Nell'immagine seguente si riporta un segmento delle sezioni profonde C'C'' e E'E'' e la sezione profonda F'F'', elaborate nell'ambito del Progetto CARG – Foglio 182 Guastalla, che ben rappresentano l'andamento geologico del sottosuolo; il tratto della

sezione C'C^{II} riportato, presenta andamento sud-nord e tocca le località Chiozzola (sondaggio S1), Ramoscello e Mezzano Inferiore (sondaggio S7) del territorio comunale. La sezione F'F^{II} ha anch'essa direzione sud-nord e interessa il territorio comunale a partire dal sondaggio S4, interessa il sottosuolo degli abitati di Casale e Mezzano Superiore sino al Po. Il tratto della sezione E'E^{II} riportato, presenta invece andamento grosso modo da nord-ovest verso sud-est, che nel territorio comunale si mantiene grosso modo parallelo al tracciato del fiume Po, interessando gli abitati di Mezzano superiore, Casale, Mezzano Inferiore (sondaggio S7) sino ad attraversare il tracciato del fiume Enza.

In corrispondenza della sezioni C'C^{II}, si evidenzia nettamente, sia nei depositi più superficiali che in quelli più profondi, il passaggio dai depositi alluvionali dei fiumi appenninici e quelli della piana alluvionale del fiume Po; come si desume nella sezione stessa ad andamento nord-sud, il limite tra i due ambienti deposizionali per i depositi più profondi risulta più spostato verso sud rispetto a quelli attuali.

Il subsistema di Ravenna risulta a sua volta suddiviso in unità di rango stratigrafico inferiore, qui rappresentate solamente dall'Unità di Modena (AES_{8a}).

- **Subsistema di Ravenna (AES8)** (Pleistocene sup. – Olocene; post circa 20.000 anni b.p.)

L'unità in contesti di piana inondabile è costituita da limi, limi sabbiosi e limi argillosi, aventi spessore massimo inferiore ai 20 m. Il profilo di alterazione varia da qualche decina di cm fino ad 1 m ed i suoli presentano gli orizzonti superficiali decarbonatati o parzialmente decarbonatati. Il tetto dell'unità è rappresentato dalla superficie deposizionale, per gran parte relitta, corrispondente al piano topografico, mentre il contatto di base è discordante sulle unità più antiche. Il tetto dell'unità è rappresentato dalla superficie deposizionale, per gran parte relitta, corrispondente al piano topografico, mentre il contatto di base è discontinuo, spesso erosivo e discordante, sull'Subsistema di Villa Verucchio. Al tetto l'unità presenta spesso un suolo parzialmente decarbonatato non molto sviluppato di colore giallo-bruno

- **Unità di Modena (AES8a)** (Olocene; post IV-VII sec. d.C.):

L'unità è costituita da una successione sedimentaria la cui deposizione è inquadrabile nell'ambito degli eventi alluvionali che hanno caratterizzato gli ultimi 1.500 anni di storia evolutiva (post IV-VII sec. d.C.). Lo spessore massimo dell'unità è di alcuni metri ed è costituita da argille e limi, in contesti di piana inondabile. Il profilo di alterazione è di esiguo spessore (poche decine di cm). Al tetto l'unità presenta localmente un suolo calcareo poco sviluppato di colore grigio-giallastro.

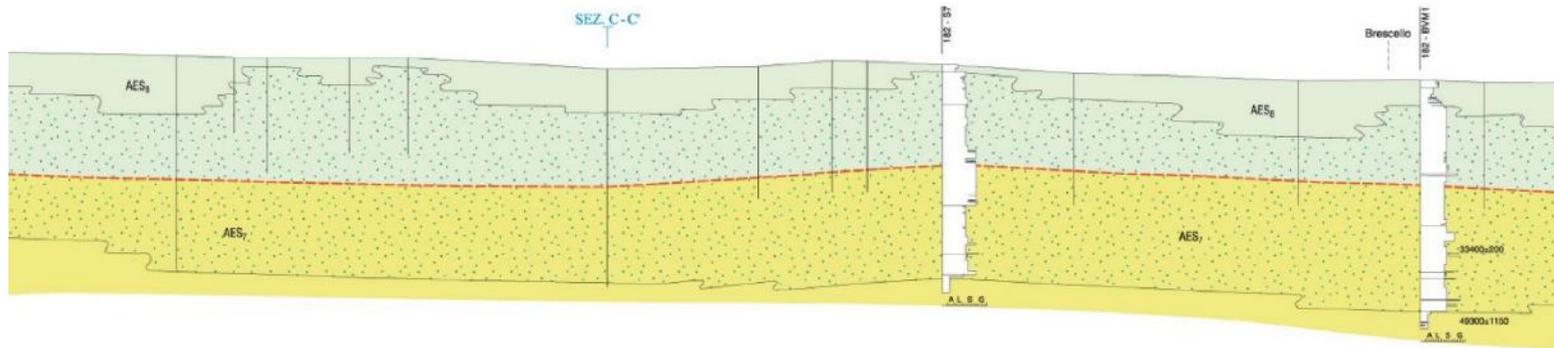
I depositi ascrivibili al Subsistema di Ravenna affiorano estesamente nel settore centro-meridionale del territorio comunale e si spingono verso nord grosso modo sino all'altezza di Coenzo; la porzione orientale del territorio comunale sviluppata lungo l'attuale tracciato del torrente Enza e la parte più settentrionale, sino all'alveo del fiume Po, è invece interessata dall'affioramento dei depositi riferibili all'Unità di Modena.

In corrispondenza del corso del fiume Po, sono infine presenti i depositi alluvionali terrazzati attuali in evoluzione, ascrivibili alla dinamica fluviale del fiume Po.

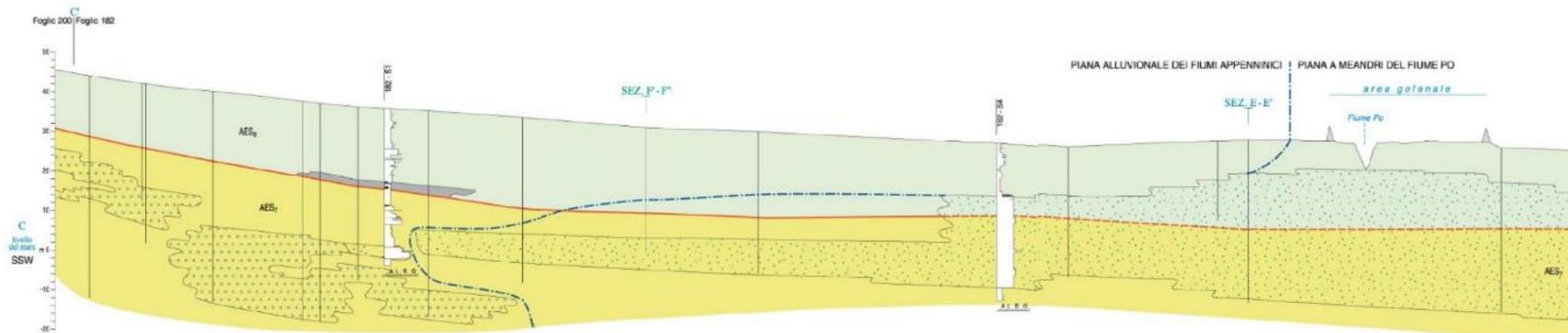
Nell'immagine seguente si riporta un segmento della sezione BB^I (figura 19) elaborata nell'ambito del Progetto CARG – Foglio 182 Guastalla, che ben rappresenta l'andamento geologico del sottosuolo dei primi 30 – 40 m di profondità; il tratto riportato è quello compreso tra gli alvei dei torrenti Parma (ovest) e Enza (est) comprendendo pertanto anche il territorio comunale (in senso longitudinale); in particolare il sondaggio 182 – S4 è collocato nel territorio comunale.

Figura 18 - Sezioni geologiche profonde (Foglio 182 Guastalla – Progetto CARG)

SEZIONE E'E''



SEZIONE C'C''



COMUNE DI SORBOLO MEZZANI - PROVINCIA DI PARMA
 Microzonazione Sismica - APPROFONDIMENTO DI III LIVELLO
RELAZIONE ILLUSTRATIVA

SEZIONE F'F''

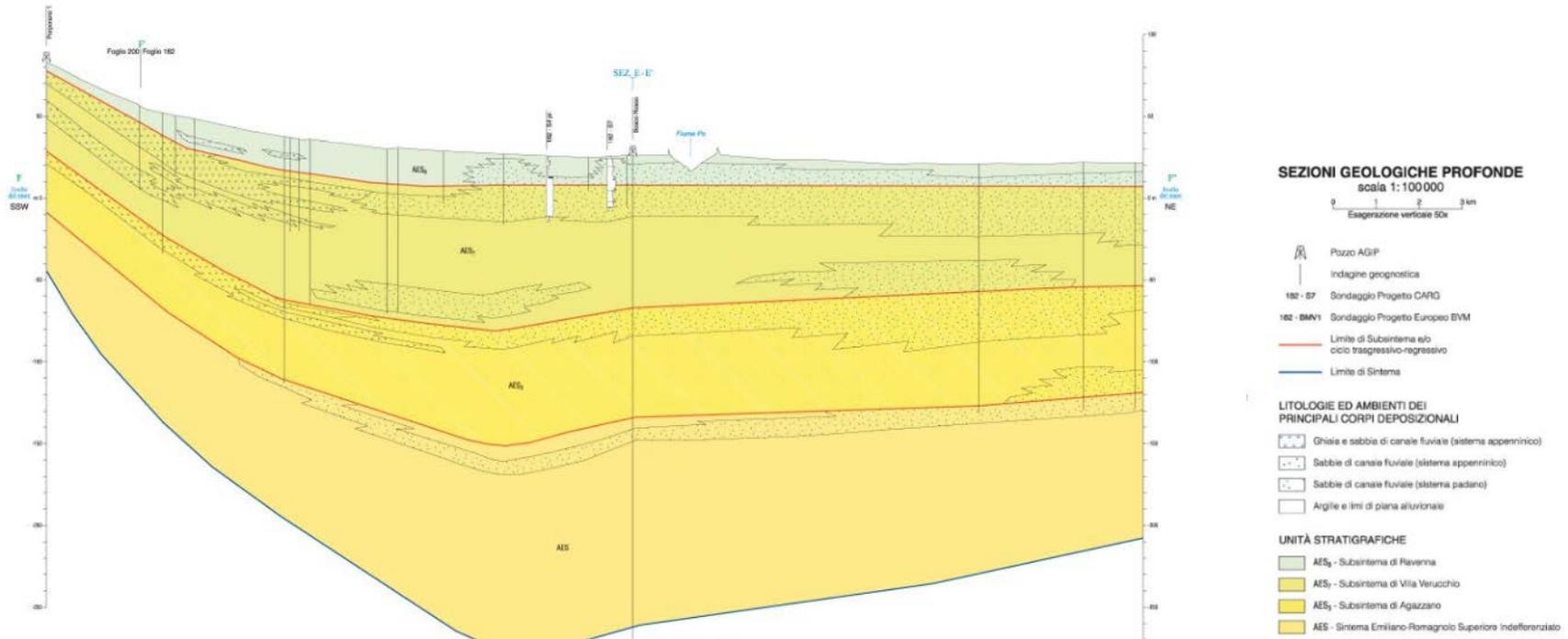
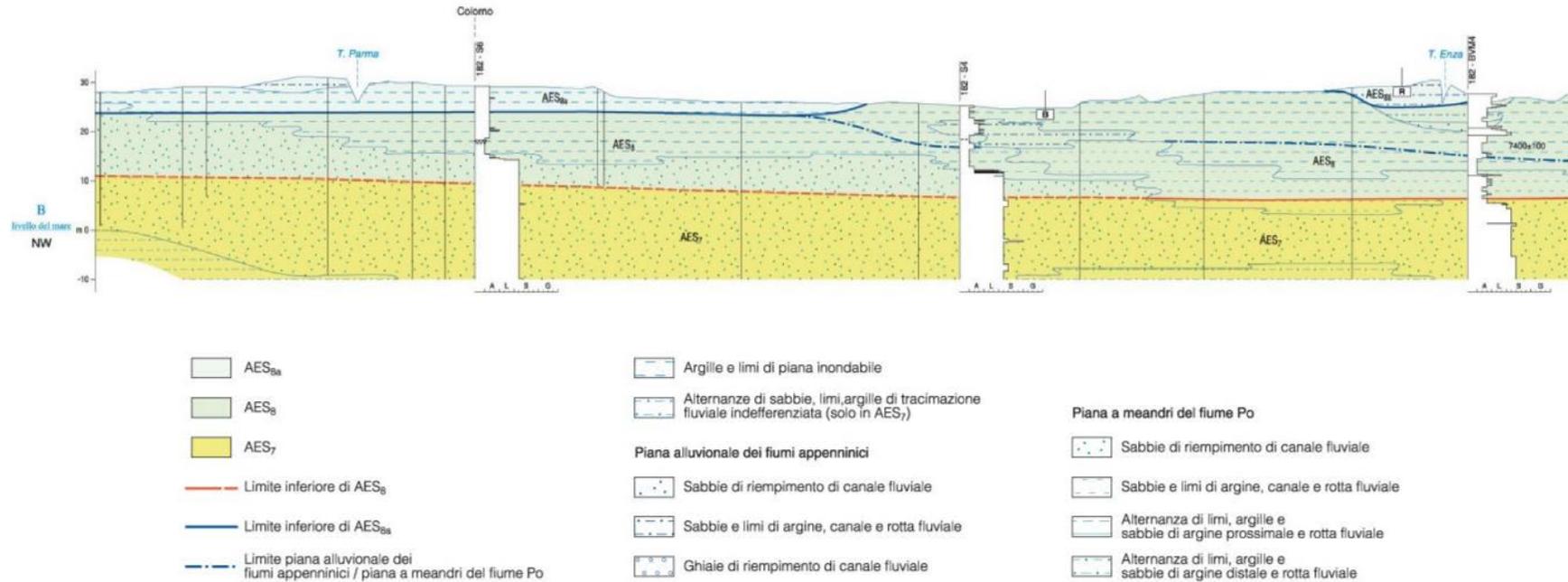


Figura 19 - Sezione geologica schematica (Foglio 182 Guastalla – Progetto CARG)

SEZIONE BB'



A completamento di quanto sopra, si riportano 2 sezioni geologiche ottenute dal sito del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna, le cui tracce sono rappresentate nella figura 20; la Sezione n. 25 attraversa il territorio del Comune di Sorbolo Mezzani con andamento nord-sud, mentre la Sezione n. 32, attraversa la parte nord del territorio comunale con andamento est-ovest.

Figura 20 – Rappresentazione planimetrica delle tracce delle sezioni

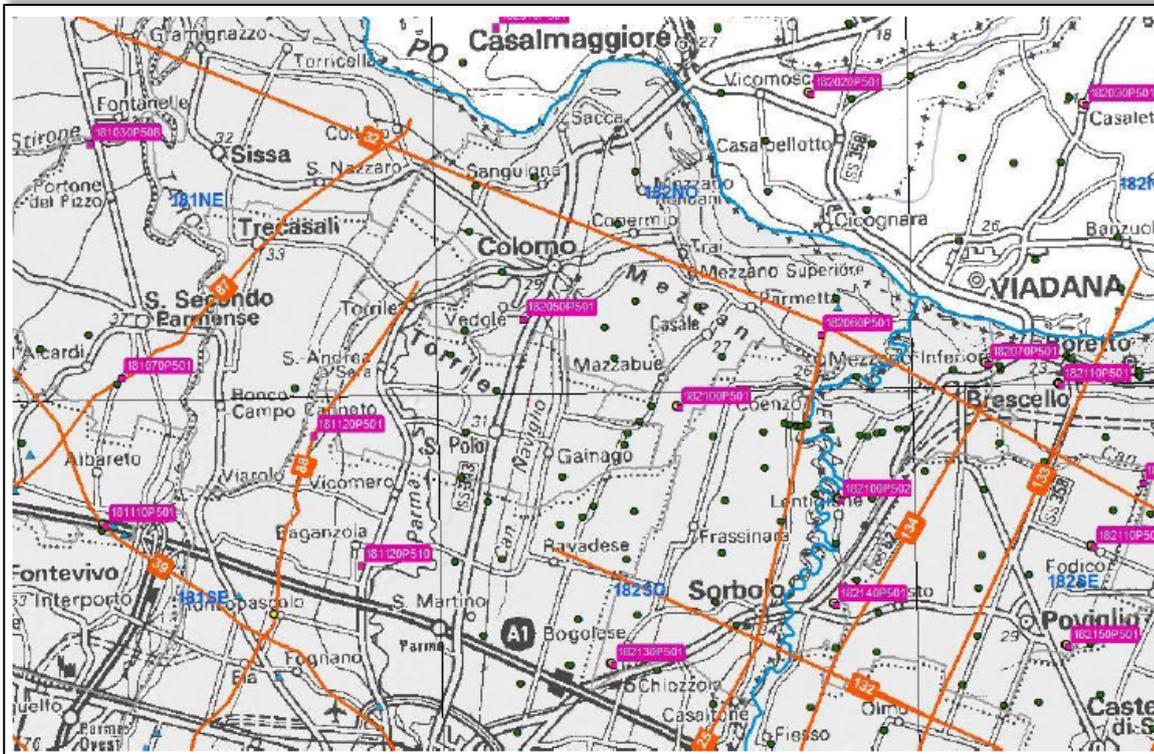


Figura 21 – Stralcio della Sezione n. 32 tratta da sito del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna

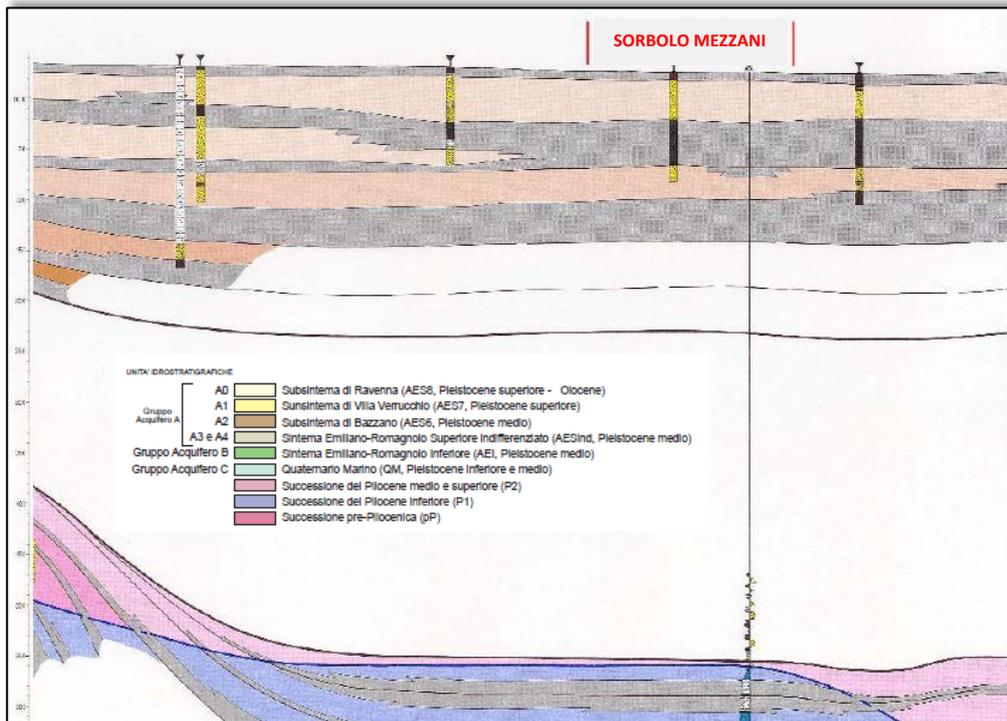
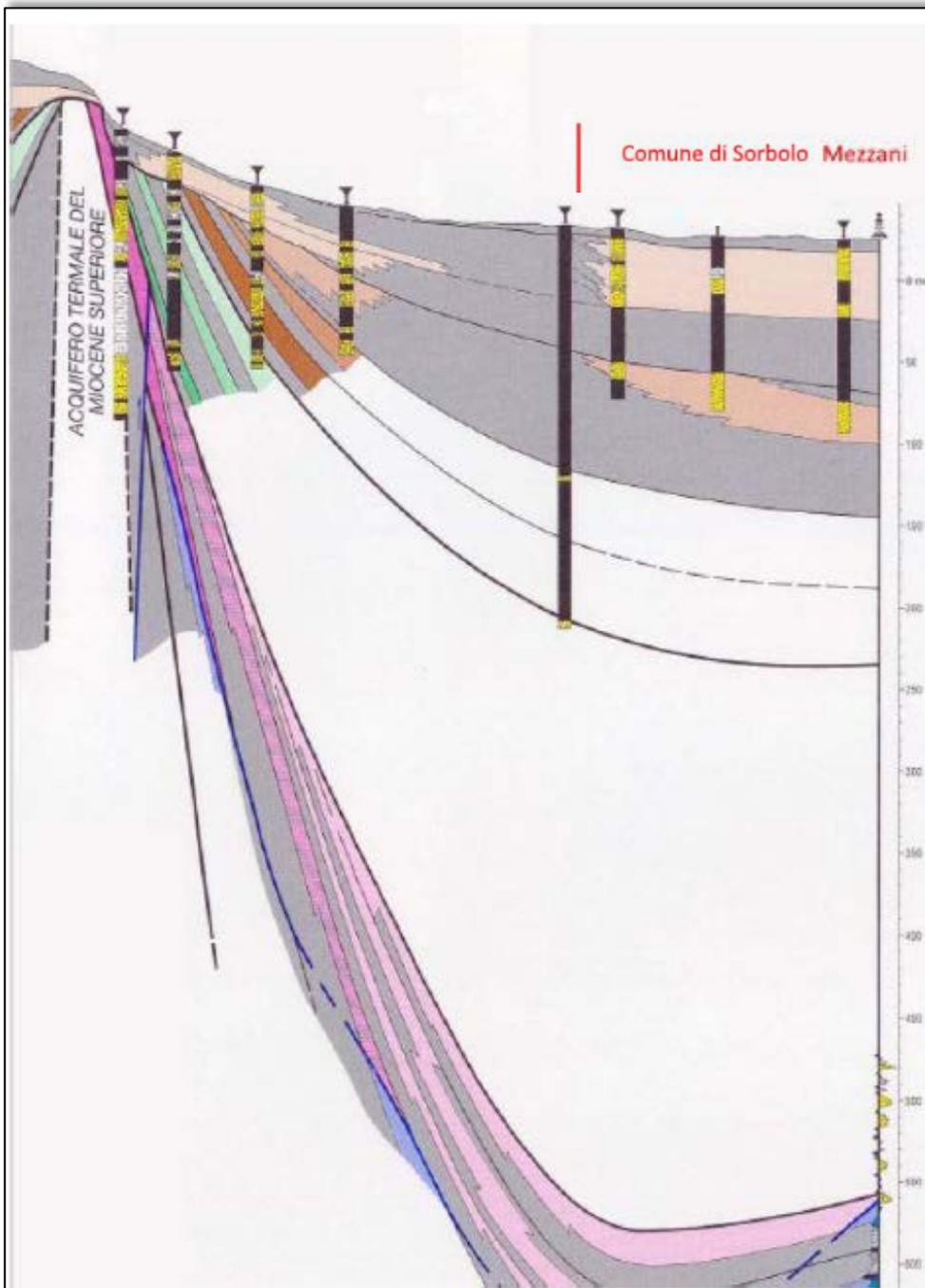
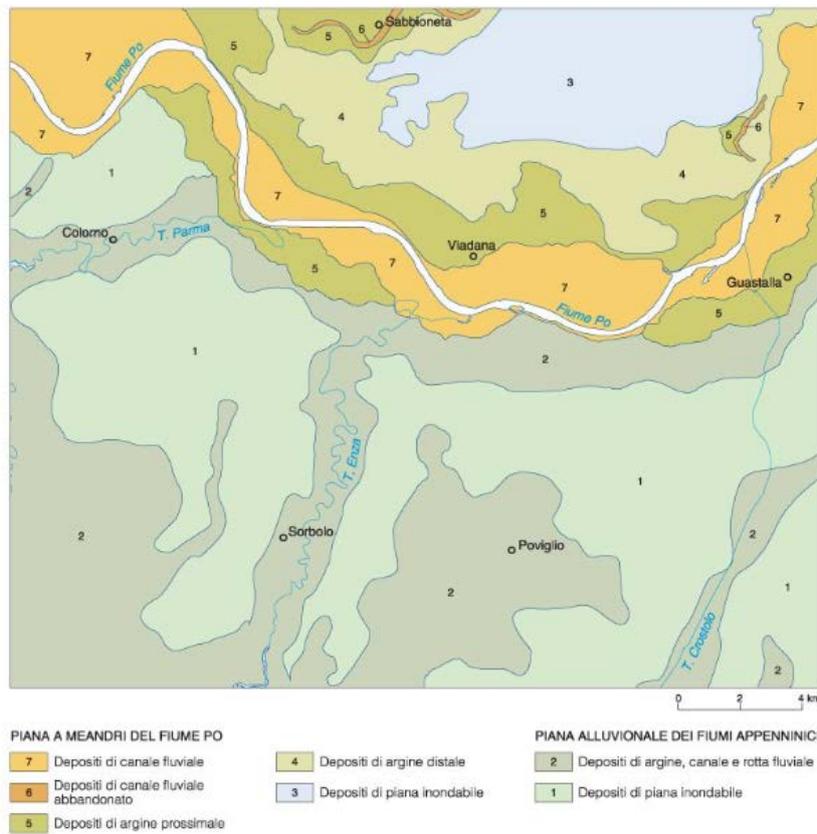


Figura 22 – Stralcio della Sezione n. 25 tratta da sito del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna



Per quanto riguarda l'ambiente deposizionale olocenico, l'area comunale è contraddistinta dalla presenza di depositi sostanzialmente ascrivibili a due differenti ambienti: la piana alluvionale, costruita dagli apparati fluviali appenninici, e la piana a meandri del fiume Po. Questi ultimi caratterizzano la parte più settentrionale del territorio comunale prossima all'alveo attuale del corso d'acqua, mentre i depositi alluvionali depositati dai corsi d'acqua appenninici, in quest'area rappresentati essenzialmente dai torrenti Enza e Parma, sono costituiti principalmente da depositi di piana inondabile e subordinatamente da depositi di argine, canale e rotta fluviale (Figura 23).

Figura 23 - Ambienti deposizionali (Foglio 182 Guastalla – Progetto CARG)

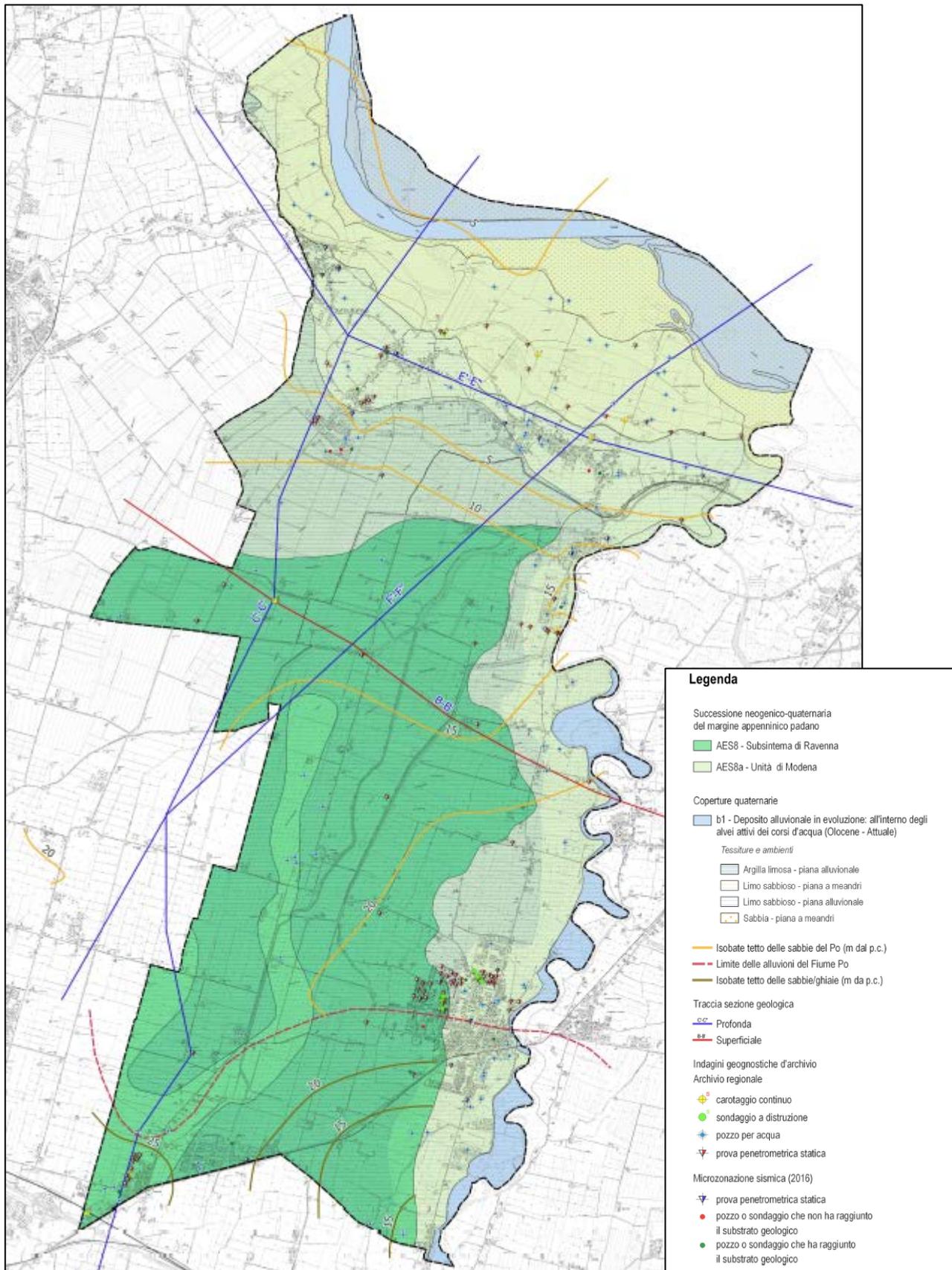


La litologia superficiale del territorio comunale è contraddistinta da depositi a granulometria variabile da limi argillosi prevalenti, sino alle sabbie più o meno limose; queste ultime, in particolare, si rinvencono nella fascia meandreggiante del fiume Po.

Nell'immagine seguente si riporta un estratto dell'elaborato QC_T_A5.1 "Carta della Litologia di superficie e tetto dei depositi sabbiosi e ghiaiosi" redatto dalla scrivente per il QC a supporto del PUG in fase di redazione; per la sua stesura si è fatto riferimento alla documentazione prodotta dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna e messa a disposizione del Comune di Sorbolo Mezzani; nell'elaborato sono riportate anche le tracce delle sezioni delle figure precedenti.

Nella cartografia sono state distinte le Unità geologiche superficiali, che come detto per il territorio comunale sono riconducibili unicamente al Subsistema di Ravenna e all'Unità di Modena; sono inoltre state rappresentate le litologie affioranti che caratterizzano gli strati più superficiali, distinte in relazione all'ambiente deposizionale, ovvero se ascrivibili ai depositi alluvionali appenninici o alle alluvioni del fiume Po.

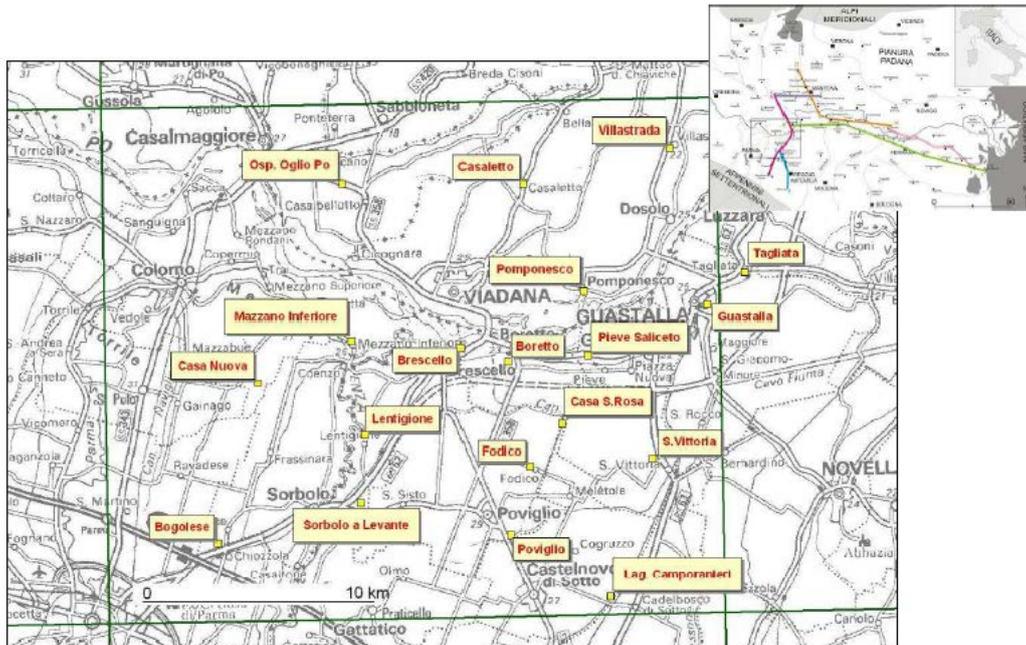
Figura 24 – Carta della litologia di superficie e tetto dei depositi sabbiosi e ghiaiosi (Tavola QC_T_A5.1 QC/PUG del Comune di Sorbolo Mezzani - 2021)



Nell'elaborato sono state rappresentate anche le isobate del tetto delle sabbie del Po, a nord della linea delle alluvioni del PO e dei depositi sabbioso-ghiaiosi di deposizione appenninica, nella zona posta a sud, ricostruiti attraverso la consultazione delle numerose indagini disponibili dalla MS 2016, delle indagini presenti nel *dbase* della RER e dalle stratigrafie di alcuni sondaggi geognostici eseguiti dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna nell'ambito del Progetto CARG -Foglio 182- Guastalla ed utilizzati per diversi studi⁵, riportati di seguito.

Con riferimento al territorio comunale risultano di specifico interesse i sondaggi più occidentali denominati "Bogolese", "Sorbolo a Levante", "Lentigione", "Casa Nuova", "Brescello", "Mezzano inferiore" (cfr. Fig. 25).

Figura 25 - Ubicazione dei sondaggi nell'area del Foglio 182 (tesi di Dottorato Dott.ssa Marta Pavesi²)



Il sondaggio più meridionale (Bogolese) attraversa depositi prevalentemente fini, con qualche unità, di spessore generalmente inferiore al metro, di sabbie da finissime a fini: si tratta di argille e limi, presenti in proporzione variabile e attribuibili a facies di piana inondabile, cui si alternano corpi sabbiosi interpretabili come ventagli di rotta e depositi di argine fluviale. Si segnala la presenza, tra m 18.50 e 26.50, di isolati depositi torbosi, l'assenza di corpi di canale fluviale, mentre si osservano orizzonti generalmente inferiori a 4 metri di spessore di sabbie da fini a grossolane, presenti tra 35.20 e 38.20 circa, attribuibili probabilmente a canali di *crevasse*.

Nel sondaggio di Sorbolo a Levante, verosimilmente ancora distante dal Po per esserne influenzato in modo significativo, si rinvencono nei 20-25 m sommitali limi argillosi e argille limose di piana inondabile, con sottili pacchi di sabbie fini e finissime interpretati come depositi di argine o ventaglio di rotta; tra 25.0 e 31.0 m, è presente un corpo di sabbie fini con livelletti di ghiaia, che mostra un limite basale netto, apparentemente erosivo, sui depositi argillosi di fondo foro e che passa gradualmente con tendenza FU ai depositi fini sovrastanti: si tratta probabilmente di corpi di canale fluviale di provenienza appenninica, alimentati dal Fiume Enza. Al di sotto di questa unità si incontrano nuovamente tipici depositi argilloso-limosi di piana inondabile, con isolati orizzonti di torba e sabbia.

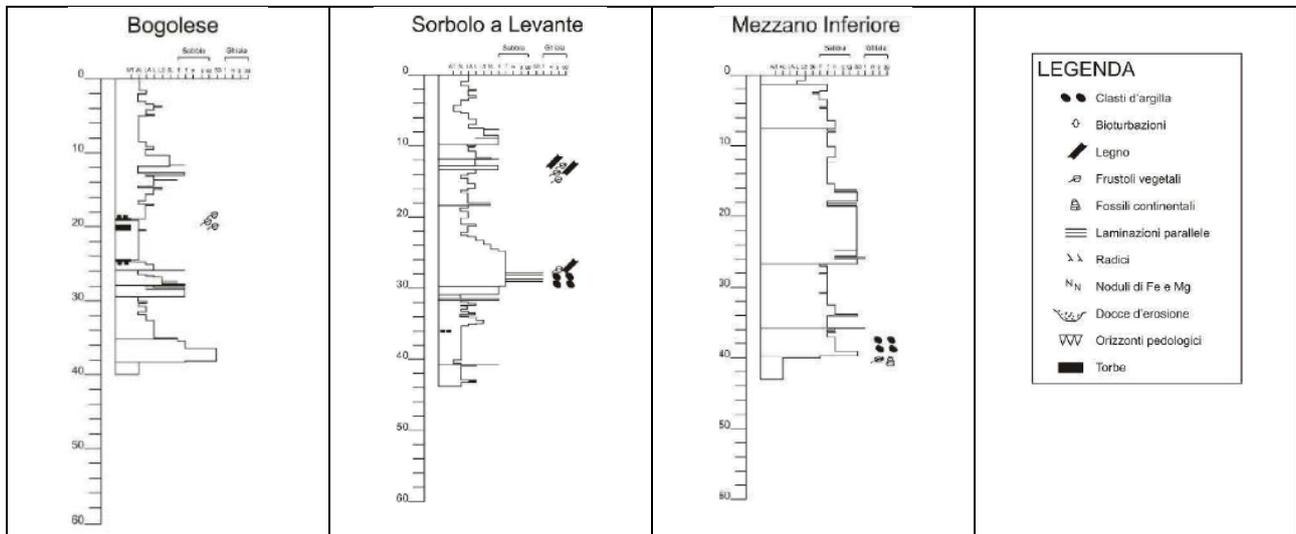
Procedendo verso nord, e quindi verso l'asse padano, le stratigrafie testimoniano una successione sedimentaria progressivamente più grossolana e ricca in sabbie; la porzione sommitale del sondaggio

⁵ "Architettura stratigrafica dei depositi medio e tardo-quadernari del bacino padano, finalizzata alla caratterizzazione geometrica degli acquiferi" - Tesi di Dottorato di Ricerca Scienze della Terra presentata da Dott.ssa Marta Pavesi, Coordinatore Dottorato Prof. William Cavazza, Relatore Prof. Alessandro Amorosi - Università degli studi di Bologna (anno 2008).

"Progetto Pilota "Individuazione di Risorse Idriche Alternative" (2007), compreso a sua volta nel Progetto Europeo Interreg IIIB MEDOCC, denominato Bassin Versants Méditerranéens"

Mezzano Inferiore risulta costituita da limi e argille con spessore di alcuni metri, seguiti da uno spessore di circa 38 m di sabbie da fini a grossolane, con locali accumuli di ghiaie, attribuibili a facies di canale fluviale di probabile alimentazione padana. Elevato è il grado di amalgamazione degli strati sabbiosi e il passaggio ai depositi argillosi sottostanti è sempre netto. Al di sotto di questi corpi si ritrovano infine tipiche successioni di piana inondabile, particolarmente ricche in torbe e materiale organico.

Figura 26 - Stratigrafia dei sondaggi realizzati da Regione Emilia-Romagna – sondaggi “Bogolese”, “Sorboldo a Levante”, “Mezzano inferiore” (tesi di Dottorato Dott.ssa Marta Pavesi1)



L'andamento del tetto dei depositi sabbiosi risulta progressivamente decrescente da sud verso nord, con valori massimi di oltre 20 m dal piano campagna nella parte sud-orientale, in corrispondenza dell'abitato di Sorboldo, un'ampia zona con valori di profondità del tetto delle sabbie tra 10 m e 15 m dal p.d.c. nella parte centro-settentrionale e valori progressivamente decrescenti in corrispondenza dell'allineamento Mezzani inferiori, Mezzani, Casale, Mezzani superiore, dove le sabbie si attestano a profondità inferiori ai 5.0 m dal p.d.c. fino ad essere quasi subaffioranti.

La presenza di depositi sabbiosi a basse profondità dal p.d.c. rende la parte settentrionale del territorio comunale quella più vulnerabile, sia sotto l'aspetto idrogeologico, per la presenza di una minor copertura impermeabile a protezione degli acquiferi, sia sotto il profilo sismico, per la possibile occorrenza di fenomeni di liquefazione.

Nel complesso la fascia di bassa pianura in cui ricade il Comune di Sorboldo Mezzani è quindi caratterizzata dalla presenza di una coltre superficiale di depositi prevalentemente fini (limi e argille), con frazioni limo-sabbiose nella fascia prossima al corso del torrente Enza e francamente sabbiosa nella parte settentrionale dove predomina la deposizione del fiume Po; i depositi fini, che si rinvergono con continuità per spessori di varie decine di metri nella parte più meridionale, verso nord ricoprono depositi sabbiosi di spessore decametrico, con possibili livelli ghiaiosi, attribuibili alla sedimentazione operata dal fiume Po.

Le indagini tromografiche effettuate nell'ambito della MS 2016 non evidenziano quasi mai, nelle curve H/V, picchi di ampiezza elevata, associabili a netti contrasti di impedenza (ovvero, significativi aumenti di Vs nei profili di velocità delle onde di taglio delle indagini eseguite).

Le stesse curve H/V presentano quasi sempre picchi in corrispondenza di frequenze molto alte, corrispondenti verosimilmente al passaggio suolo/sottosuolo e inversioni di velocità coincidenti con la base della copertura sovraconsolidata (va sottolineato che le prove tromografiche sono state effettuate durante un periodo siccitoso) che mascherano superfici d'impedenza più profonde.

Tali caratteristiche hanno, ovviamente, condizionato la definizione del *bedrock* sismico sia in quell'occasione, che nell'ambito del presente studio.

Dall'esame delle sezioni e delle altre informazioni raccolte si osserva che il sottosuolo del territorio indagato, in estrema sintesi, presenta le seguenti caratteristiche:

- il Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore è costituito dalla sovrapposizione di cicli deposizionali di spessore pluridecametrico, composti da una porzione fine (limi, argille e localmente sabbie) ed una grossolana costituita da sabbie prevalenti. Questa ciclicità riflette una variazione dell'energia deposizionale fluviale, che aumenta con la sedimentazione grossolana e diminuisce con la fine.
- La disattivazione dei sistemi fluviali avviene bruscamente proprio al tetto dei depositi sabbiosi più continui arealmente e, spesso, si manifesta con la presenza di argille ricche di sostanza organica, che costituiscono la base del ciclo con trend trasgressivo-regressivo. Al di sopra di esse seguono depositi fini di trascinamento fluviale, in cui le sabbie di canale sono presenti come corpi lenticolari. Superiormente la sedimentazione sabbiosa aumenta e la parte terminale del ciclo è data dalla massima espansione della sedimentazione sabbiosa.
- La base del primo ciclo sedimentario (Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore - AES), caratterizzato dall'alternanza di livelli fini e livelli sabbiosi, quest'ultimi aventi potenza generalmente di 20÷30 metri, si colloca alla profondità di circa 100 m dal p.c. nella parte meridionale del territorio comunale e 300 m dal p.c. nella parte più settentrionale. I sedimenti sabbiosi, riconducibili alla deposizione operata dal fiume Po, sono quasi affioranti nel settore più settentrionale del territorio comunale, mentre, spostandosi verso sud, si rinvengono sotto una coltre superficiale di sedimenti fini (limi e argille), di spessore via via crescente fino ad oltre 20 metri sul limite meridionale del Comune.
- La base del secondo ciclo sedimentario (Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore - AEI) raggiunge profondità di oltre 500 m di dal p.c.
- Al di sotto del potente pacco di depositi alluvionali, il substrato marino Plio-pleistocenico è costituito da depositi sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi di ambiente costiero, che ricopre a sua volta la formazione delle Argille Azzurre.
- Le sezioni evidenziano che, nella zona in esame, l'azione deformativa esercitata dalle strutture sepolte, sui depositi marini e continentali sovrastanti, è stata estremamente limitata.

7 INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

Per quanto riguarda l'interpretazione dei dati ricavati dall'esecuzione delle 20 CPTu e delle 4 SCPTu eseguite nell'ambito del presente studio, non vi sono da segnalare particolari incertezze: il piezocono non ha attraversato terreni particolarmente addensati nei primi metri superficiali in grado di desaturarne la punta, pertanto non è stato necessario ripetere le indagini.

Relativamente alle indagini penetrometriche d'archivio (CPTm, CPTu, SCPTu) utilizzate per gli Studi di MZS 2016, non si segnalano difficoltà interpretative: i dati originali sono sempre risultati di chiara lettura ed è stato possibile estrarne il valore numerico per successive re-interpretazioni e nuove elaborazioni.

Per quanto riguarda le indagini eseguite nell'ambito della MZS 2016, si segnala che in quell'occasione, la caratterizzazione dei terreni era stata eseguita anche tramite la tecnica sismica passiva (tecnica dei rapporti spettrali) o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio); nel database, per ciascuna prova, veniva riportato il grafico del rapporto spettrale H/V naturale con curva H/V sintetica, in cui si possono osservare picchi caratteristici, in corrispondenza di determinate frequenze (cfr. Figg. 28 e 29).

Figura 27 - Esempio di curva H/V naturale con curva H/V sintetica – ex Comune di Sorbolo

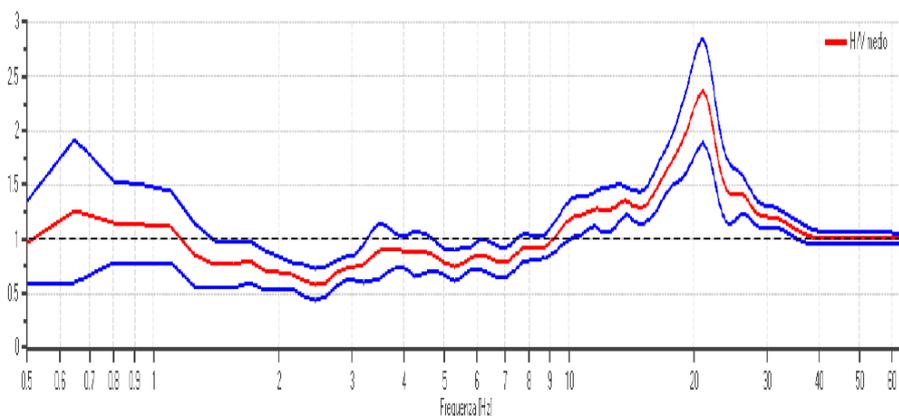
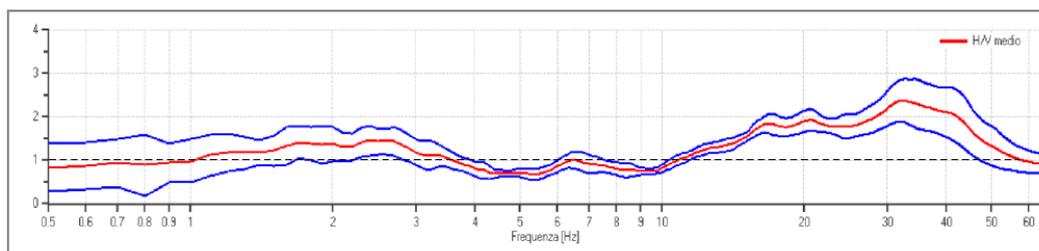


Figura 28 - Esempio di curva H/V naturale con curva H/V sintetica - ex Comune di Mezzani



Al fine di determinare la qualità delle singole misure HVSR effettuate e la loro relativa affidabilità, si era provveduto alla classificazione delle prove valutando, in accordo con i più recenti studi in materia, le caratteristiche dei fondamentali principi su cui si basa la tecnica di indagine a sismica passiva utilizzata.

Nello specifico si era proceduto all'analisi della durata complessiva delle singole registrazioni, utilizzando esclusivamente quelle capaci di produrre stime "robuste" del campo medio delle vibrazioni ambientali, soddisfacendo in tal senso i primi 3 criteri del progetto SESAME (linee guida 2005), relativi alla robustezza statistica del segnale. Quindi, per ogni singola acquisizione era stato valutato l'andamento complessivo della curva H/V, prestando particolare attenzione, durante la fase di elaborazione, alla plausibilità fisica della curva stessa, verificabile attraverso l'individuazione di massimi caratterizzati da una diminuzione localizzata di ampiezza dello spettro verticale. In fase di elaborazione, sfruttando le possibilità di analisi direzionale e temporale del software utilizzato (EasyHVSR di Geostru), era stata valutata la stazionarietà temporale dei rapporti spettrali misurati, prestando inoltre particolare attenzione alle variazioni azimuthali di ampiezza, nel rispetto della condizione di isotropia del segnale.

Quanto ai criteri delle linee guida SESAME 2005 relativi alla "chiarezza" del picco di possibile risonanza, essi risultavano spesso non soddisfatti per i motivi già anticipati nel precedente capitolo 6.

8 METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

Come già detto nel capitolo introduttivo di questa relazione, gli ex comuni di Sorbolo e di Mezzani si sono dotati separatamente di studi di microzonazione sismica di III livello di approfondimento sebbene non ufficialmente adeguati agli standard dettati dalla DGR 630/2019 e successive integrazioni.

Preliminarmente alla redazione dei diversi elaborati si è resa quindi necessaria la fusione dei database dei due preesistenti comuni per la creazione di un database del nuovo comune di Sorbolo Mezzani; tale operazione è stata supportata dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli (Dott. Luca Martelli).

Per la redazione degli elaborati è stato preso come perimetro di riferimento il “limite delle aree indagate” definito a partire dal perimetro del TU al 31.12.2018 (secondo quanto definito dalla L.R. 24/2017), fornito dai progettisti del PUG in corso di redazione, ampliato di un offset di circa 100 m, in modo da ricomprendere i “*territori contermini al territorio urbanizzato, che non presentano fattori preclusivi o fortemente limitanti alle trasformazioni urbane*” ed opportunamente modificato in alcune zone in modo da ricomprendere gli “*agglomerati posti in territorio rurale di dimensioni significative*”, come per esempio nella zona tra Bogolese e Chiozzola o nella zona meridionale di Sorbolo e l’area produttiva posta a sud.

In seguito all’esecuzione delle nuove indagini (Febbraio 2022) e alla definizione del nuovo “limite delle aree indagate” sono quindi stati aggiornate la **Carta delle indagini**, la **Carta delle frequenze naturali dei terreni**, la **Carta delle velocità delle onde di taglio S**, la **Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica** e la **Carta geologico-technica**, che rispetto alla versione degli studi di MZS 2016 è stata ampliata all’intero territorio comunale.

L’analisi con approfondimenti di III livello ha consentito infine di definire, sulla base di analisi di risposta sismica locale, gli spettri elastici di risposta in superficie (output), rappresentativi delle singole zone, di valutare il grado di pericolosità delle aree instabili e potenzialmente tali e di effettuare una zonazione più affidabile delle amplificazioni locali.

A seguire verranno presentati le metodologie ed i risultati delle analisi di microzonazione sismica di III livello per le aree ricomprese all’interno del “limite delle aree indagate” riportato negli elaborati cartografici.

La disponibilità di indagini geognostiche e geofisiche effettuate per gli “**Studi di MS 2016**”, unitamente alle indagini di nuova esecuzione (24), hanno permesso di condurre l’analisi di risposta sismica locale in un totale di 12 punti all’interno del territorio indagato. Tali punti sono stati individuati in base alla disponibilità di sondaggi penetrometrici SCPTu o carotaggi continui al cui interno sono state effettuate indagini sismiche tipo Down-hole, al fine di poter avere una interpretazione sufficientemente attendibile della litostratigrafia ed una misura diretta della velocità delle onde sismiche “S” nei primi 30 m di profondità.

L’extrapolazione dei valori di Vs da misure Down-hole/SCPTu a profondità superiori ai 30 m indagati dalle indagini geofisiche, è stata effettuata tramite la relazione speditiva messa a punto da Albarello et al. (2011)⁶ e ripresa da Mascandola et al. (2019):

$$V_s(z) = V_0 \cdot (1+z)^x \quad (1)$$

che mette in relazione la Vs alla profondità (z), con il valore di Vs registrato nei primi metri superficiali (V0), con la stessa profondità (z) e con il coefficiente “x”, da variare fino ad ottenere il minimo scarto tra il profilo di Vs così calcolato e quello direttamente ricavato dall’indagine Down-hole.

Ciò permette di extrapolare i valori di Vs ben oltre la profondità raggiunta dall’indagine geofisica, fino a raggiungere, al limite, il valore di 800 m/s (bedrock ingegneristico) o della principale superficie risonante (bedrock sismico) (Figura 29).

⁶ Albarello, D., Cesi, C., Eulilli, V., Guerrini, F., Lunedei, E., Paolucci, E., Pileggi, D., Puzzilli, L., 2011. The contribution of the ambient vibration prospecting in seismic microzonation: an example from the area damaged by the April 6, 2009 L’Aquila (Italy) earthquake. Boll. di Geofis. Teor. e Appl. 52, 513–538.

Figura 29 - Ubicazione dei 12 punti in cui sono state condotte le analisi di risposta sismica locale (RSL)

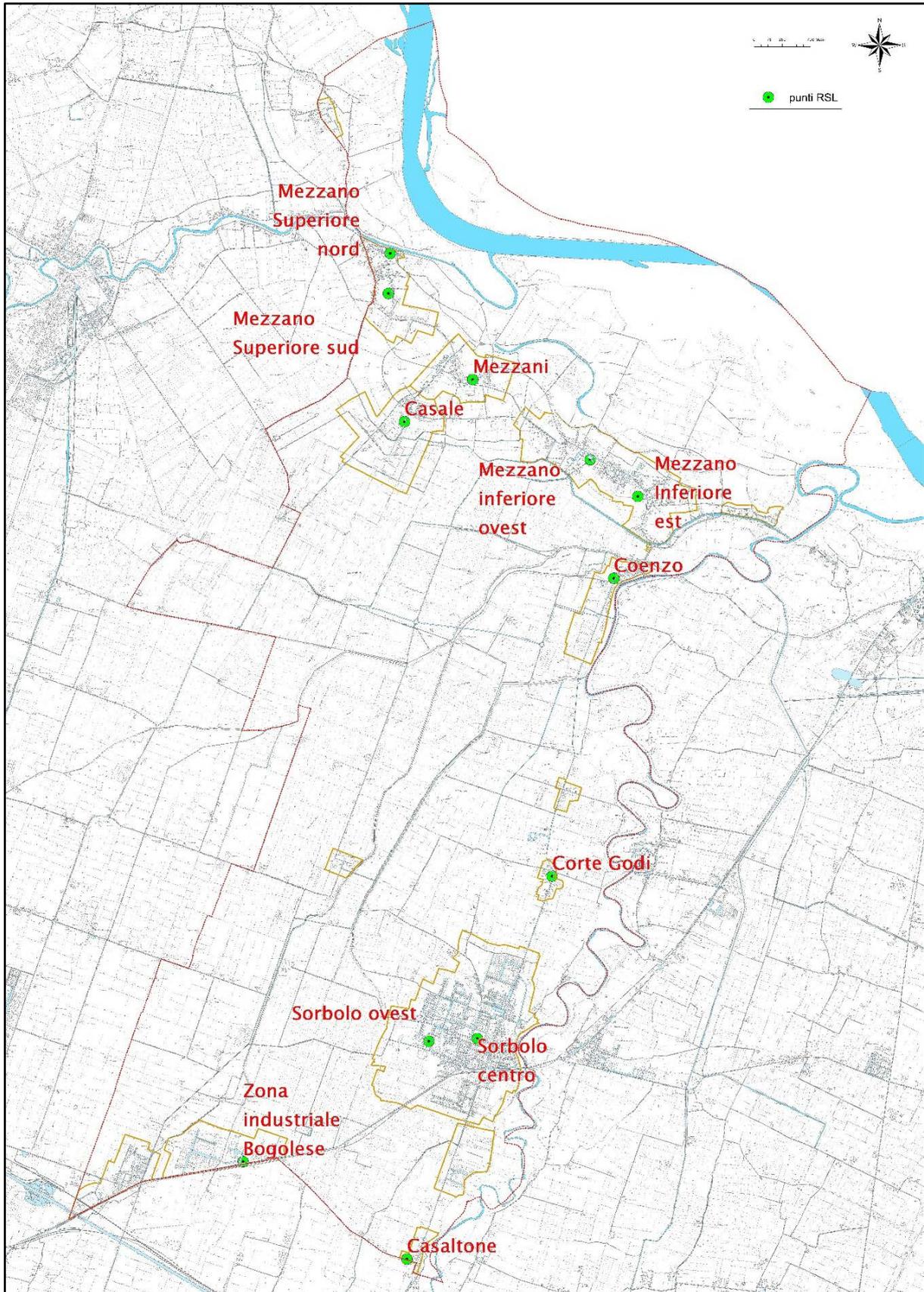
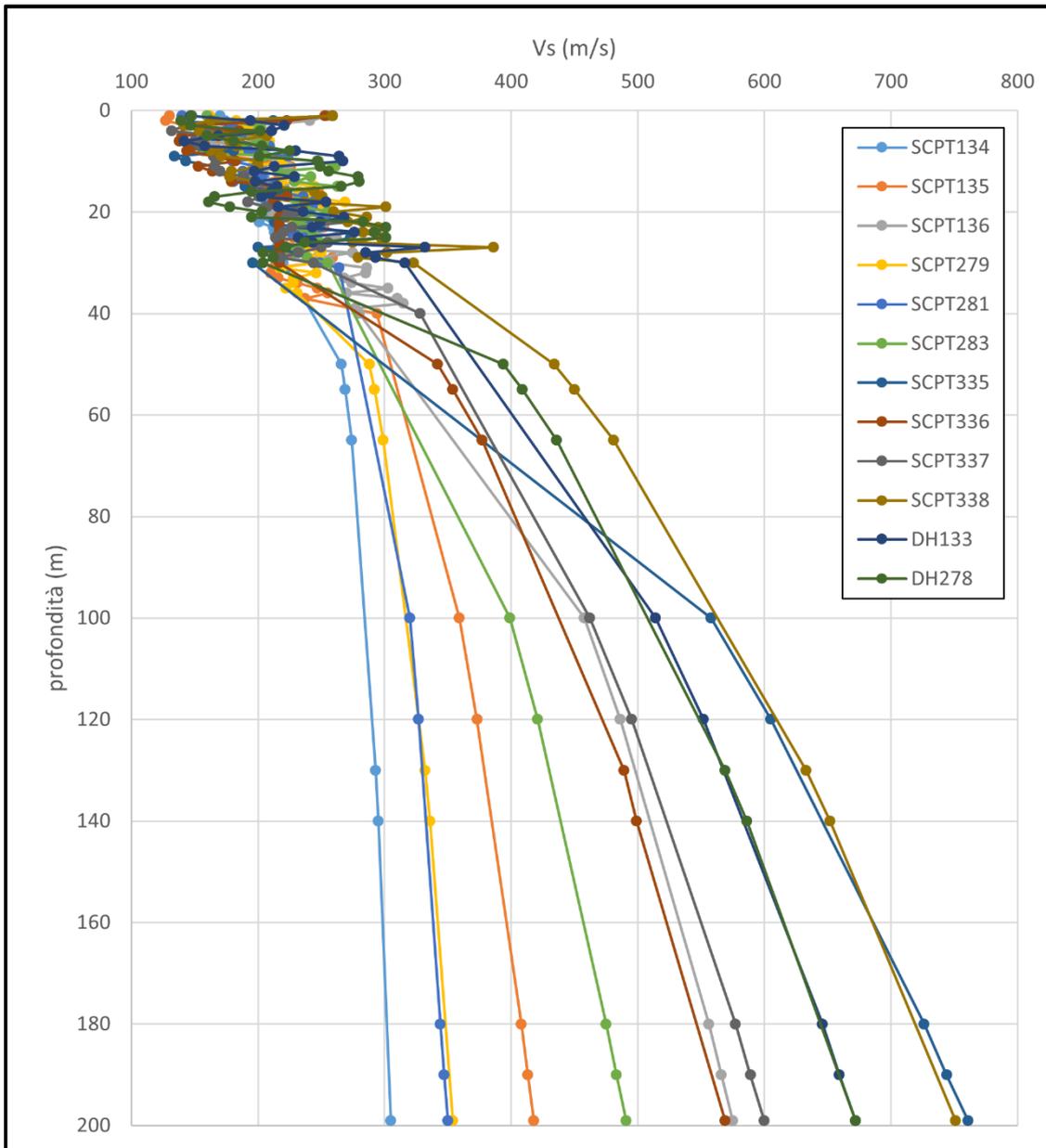


Figura 30 - Profili di Vs con la profondità estrapolati per ognuno dei 12 luoghi d'indagine dai valori di Vs misurati da DH/SCPTu tramite la relazione (1)



In accordo con le indicazioni fornite dal “Servizio Geologico sismico e dei suoli” della Regione Emilia-Romagna, la profondità del livello identificato come bedrock sismico (con velocità delle onde “S” pari a 800 m/s) è stata individuata a 200 metri; tale scelta è in linea con quanto già era avvenuto per i precedenti Studi di MS (MS 2016) dei due territori di Sorbolo e Mezzani (ante-unione), nei quali l’indicazione dello stesso Servizio regionale, era stata quella di utilizzare, in mancanza di specifiche indagini geofisiche per una diversa identificazione, la profondità del bedrock individuata per il limitrofo territorio comunale di Colorno.

La successiva tabella riassume i risultati dell’applicazione del metodo di Albarello et al. (2011) nei 12 siti di indagine di analisi di risposta sismica locale.

Tab. 2 - Tabella riassuntiva dei punti di risposta sismica locale

Ubicazione	Codice prova	Profondità raggiunta	V ₀ (m/s)
Mezzano Superiore nord	SCPT134	30	201
Casale	SCPT135	37	203
Mezzano inferiore ovest	SCPT136	40	219
Sorbolo centro	SCPT279	36	220
Coenzo	SCPT281	31	205
Zona industriale Bogolese	SCPT283	30	217
Casaltone	SCPT335	30	192
Corte Godi	SCPT336	30	189
Mezzani	SCPT337	30	193
Mezzano Superiore sud	SCPT338	30	221
Mezzano Inferiore est	DH133	30	221
Sorbolo ovest	DH278	30	207

La valutazione del coefficiente di amplificazione litostratigrafico è stata condotta attraverso un'analisi di risposta sismica locale monodimensionale, lineare equivalente, nel dominio delle frequenze, utilizzando il codice di calcolo "STRATA"⁷, includendo l'effetto delle possibili incertezze sui dati di base e valutando:

- lo spettro di risposta elastico (al 5% di smorzamento) in superficie ed al bedrock sismico,
- i parametri dello spettro semplificato previsto dalla normativa che meglio si adatti allo spettro di risposta ottenuto dall'analisi numerica.

Un importante vantaggio legato a questo codice di calcolo è la possibilità che esso offre di gestire le significative incertezze presenti nei dati di modellazione (moto di riferimento, profilo di Vs, curve di smorzamento e riduzione del modulo di taglio), permettendo di fornire stime adeguatamente conservative degli spettri di scuotimento attesi.

Il moto di riferimento prescelto è costituito dalle componenti orizzontali di 7 accelerogrammi forniti da EUCENTRE per la Regione Emilia-Romagna per l'intera regione⁸, per una vita nominale di 50 anni ed una classe d'uso II e lo stato limite SLV.

Le analisi di risposta sismica locale 1D hanno permesso di ricavare, per ognuno dei 12 punti:

- i profili di accelerazione dell'input sismico dal bedrock sismico alla superficie;
- i profili di massima deformazione dal bedrock sismico alla superficie;
- gli spettri elastici di risposta, in termini di pseudo-accelerazione al basamento sismico e alla superficie;
- l'amplificazione relativa ai valori di PGA e dell'Intensità di Housner nei periodi indicati dalle DGR 630/2019, 476/2021 e 564/2021;
- gli accelerogrammi in superficie.

Per la caratterizzazione della sismo-stratigrafia, per ogni strato occorre determinare:

- Il peso di volume γ in Kg/m³,
- La velocità delle onde s in m/s
- Le curve di decadimento dei materiali (G/G_0 e $D\%$)

Tutti i parametri geotecnici e geofisici da assegnare ad ogni strato, necessari per la modellazione, possono essere estrapolati fino alla profondità assunta del bedrock sismico tramite i seguenti passi:

⇒ L'estrapolazione delle V_s al bedrock è, come visto, realizzata attraverso il metodo proposto da Albarello et al. (2011);

⁷ Kottke, A.R. & Rathje, E.M. (2008) – Technical Manual for Strata. PEER Report 2008, Pacific Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California, Berkeley, 81 p.

⁸ <https://rer.eucentre.it/mainpage.jsp>

- ⇒ Tramite i profili di velocità di V_s e V_p nei primi 30 m del Down-hole, è possibile ricavare l'equazione della relazione tra V_s e V_p e, quindi, estrapolare anche le velocità delle onde P fino al bedrock sismico;
- ⇒ Di seguito, è possibile ricavare il profilo del coefficiente di Poisson fino al bedrock sismico utilizzando la formula che lo lega alle V_s ed alle V_p ;
- ⇒ Dalla relazione matematica ricavabile tra G_0 e V_s nei primi 30 m si ricava, inoltre, l'estrapolazione di G_0 al bedrock sismico;
- ⇒ L'estrapolazione di γ al bedrock sismico viene realizzata dalla formula che lega γ a G_0 ed alla V_s .

Per quanto riguarda le curve di decadimento, sono state utilizzate quelle messe a disposizione dal "Servizio Geologico sismico e dei suoli" della Regione Emilia-Romagna, ricavate da prove di laboratorio geotecnico dinamico su campioni di terreni simili a quelli dell'area in esame, in occasione della campagna geognostica effettuata all'interno del "cratere" interessato dagli eventi sismici del maggio-giugno 2012.

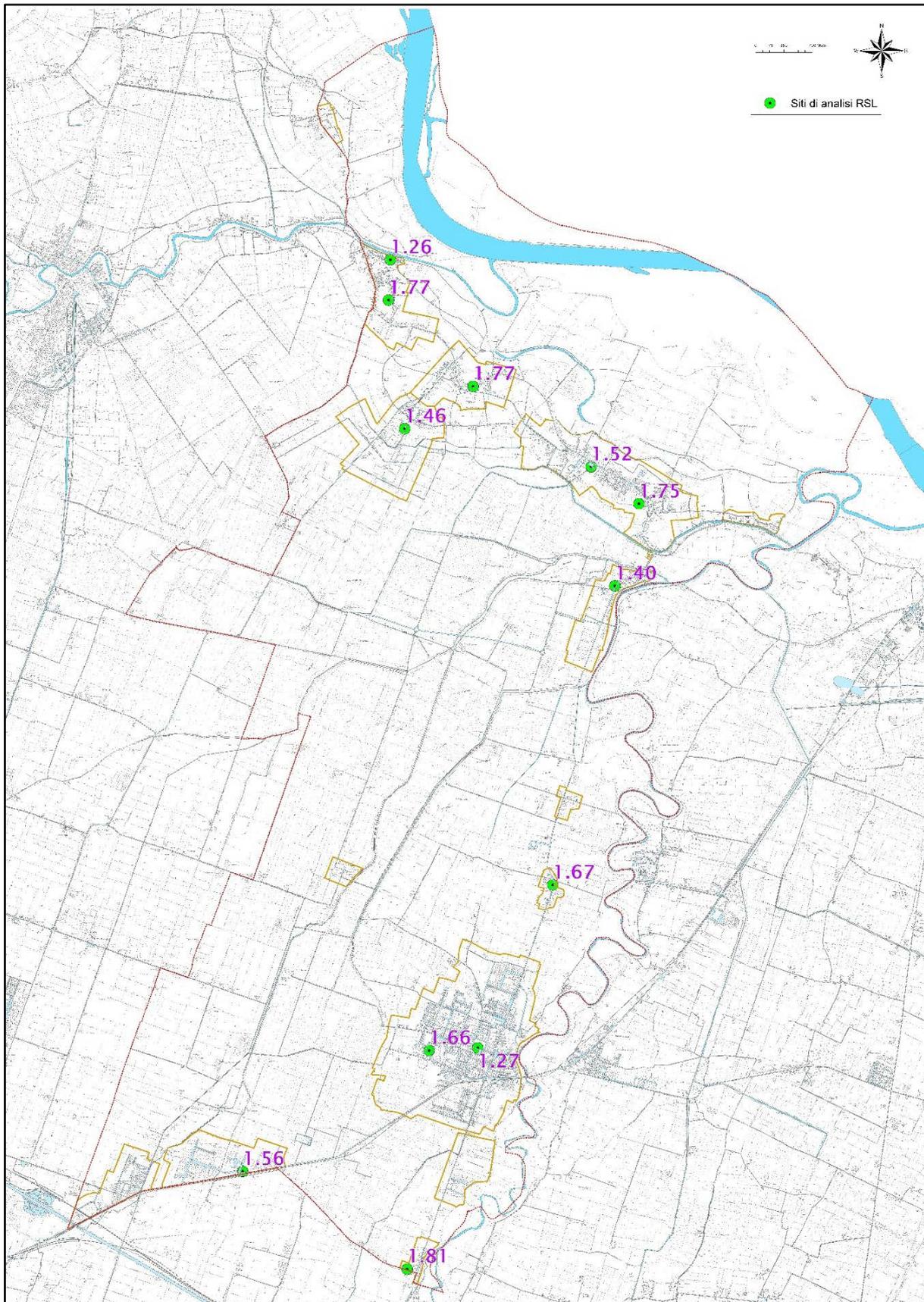
Per ogni sito d'indagine, la stratigrafia dei primi 20/30 m dal p.d.c. è stata ricavata dall'analisi delle indagini penetrometriche (SCPTu/CPTu) e/o dei sondaggi a carotaggio continuo; per profondità superiori rispetto a quella raggiunta dalle indagini, in mancanza di dati certi provenienti da sondaggi geognostici che raggiungano la profondità del bedrock sismico, la stratigrafia è stata ricavata, operando un'evidente approssimazione, da quella ricostruita con la sezione profonda F'F' estratta dal Foglio 182 "Guastalla" del Progetto CARG e riportata al precedente capitolo 6 (Modello del sottosuolo).

Per ognuno dei 7 accelerogrammi di ingresso, è stato indicato al codice di calcolo di eseguire 100 iterazioni facendo variare le V_s entro un intervallo di variazione, che è minimo nei metri superficiali indagati dalle prove Down-hole e SCPTu e che viene reso progressivamente più ampio, con l'aumentare della profondità. Non sono state invece variate né le proprietà dei materiali, né gli spessori degli strati.

Le profondità del bedrock sismico sono state mantenute costanti a 200 metri per ogni sito.

I risultati, in termini di fattori di amplificazione, si riportano a seguire (Figura 31) per la sola PGA, rimandando alle cartografie specifiche per tutti gli altri fattori d'amplificazione richiesti dalle DGR 630/2019, 476/2021 e 564/2021.

Figura 31 – Carta dei fattori di amplificazione della PGA calcolati, con analisi di risposta sismica locale, in corrispondenza dei 12 punti prescelti.



Tra le 12 analisi di risposta sismica locale, di 3 coppie corrispondenti a punti relativamente vicini e con condizioni litostratigrafiche simili, sono stati utilizzati gli spettri medi risultanti da ciascuno; tali coppie sono visibili nella tabella seguente, individuate con le lettere A, B e C e localizzate rispettivamente a Mezzano Superiore, Mezzano Inferiore e Sorbolo.

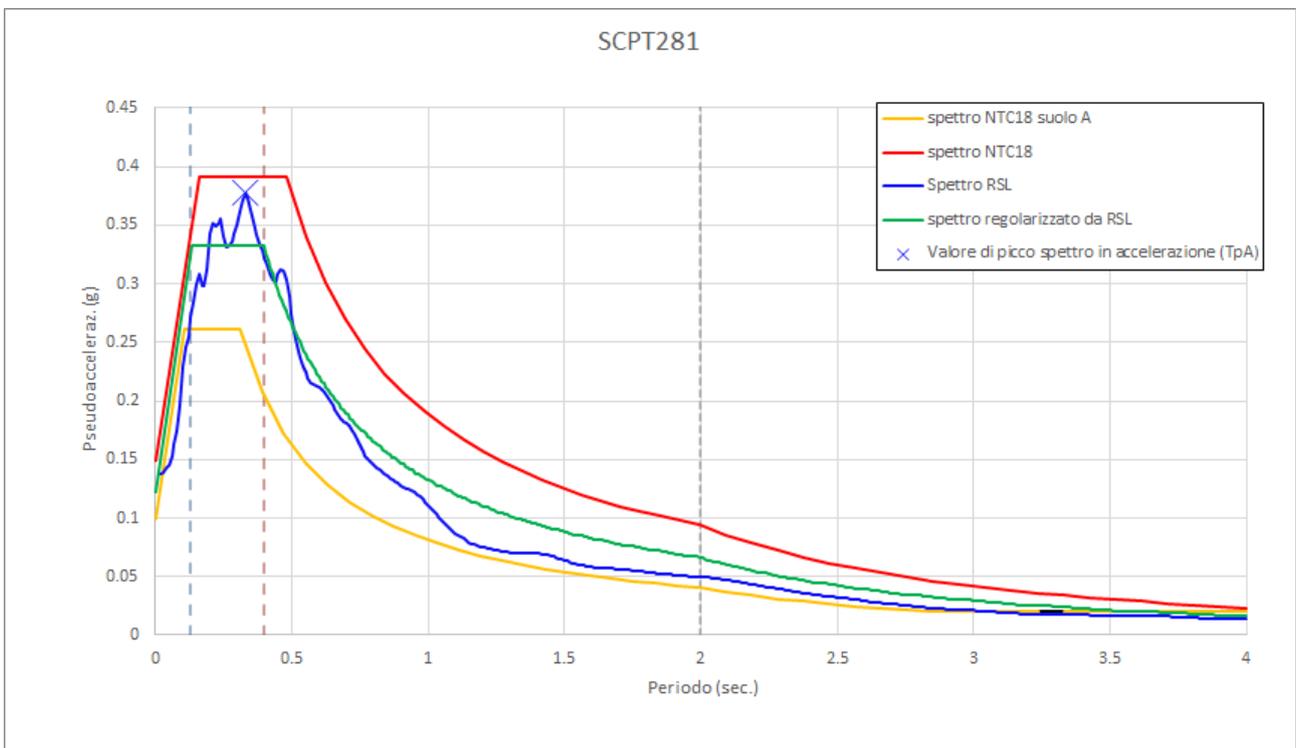
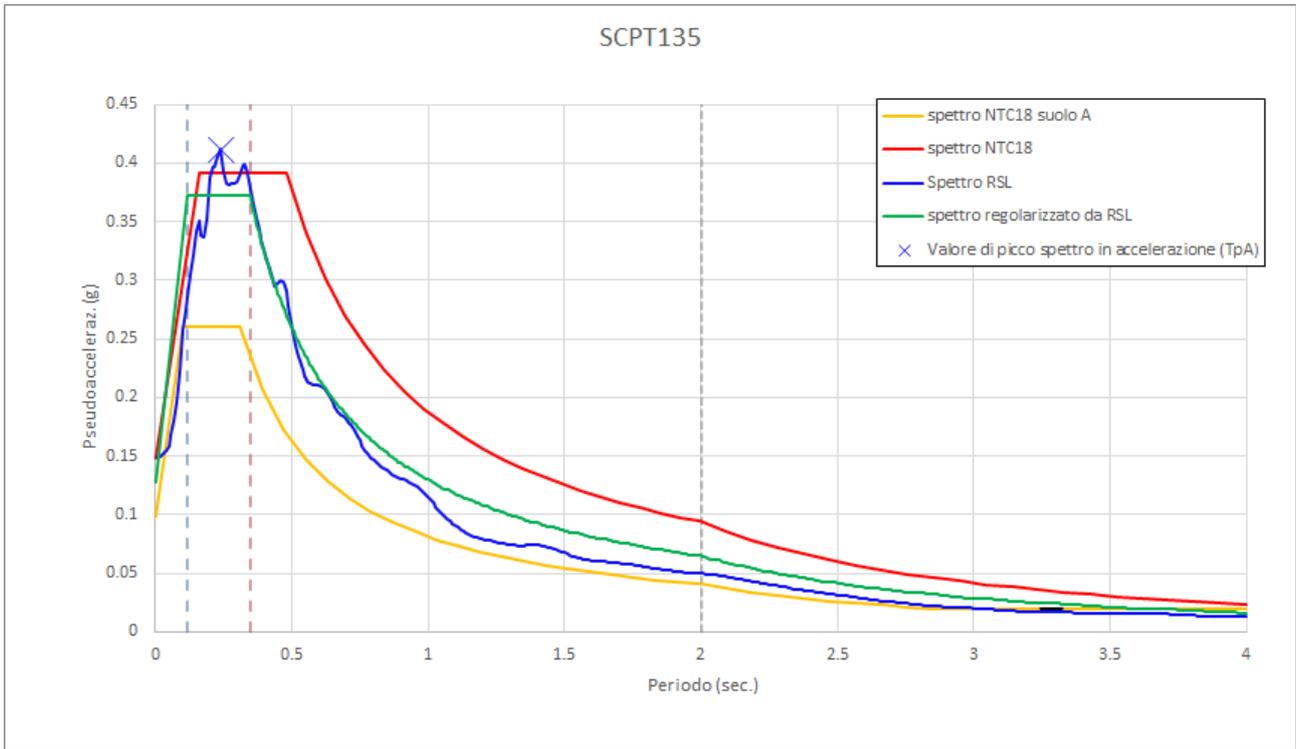
Tab. 3 - Tabella dei punti di risposta sismica locale e visualizzazione e confronto dello spettro regolarizzato con quello di normativa NTC18

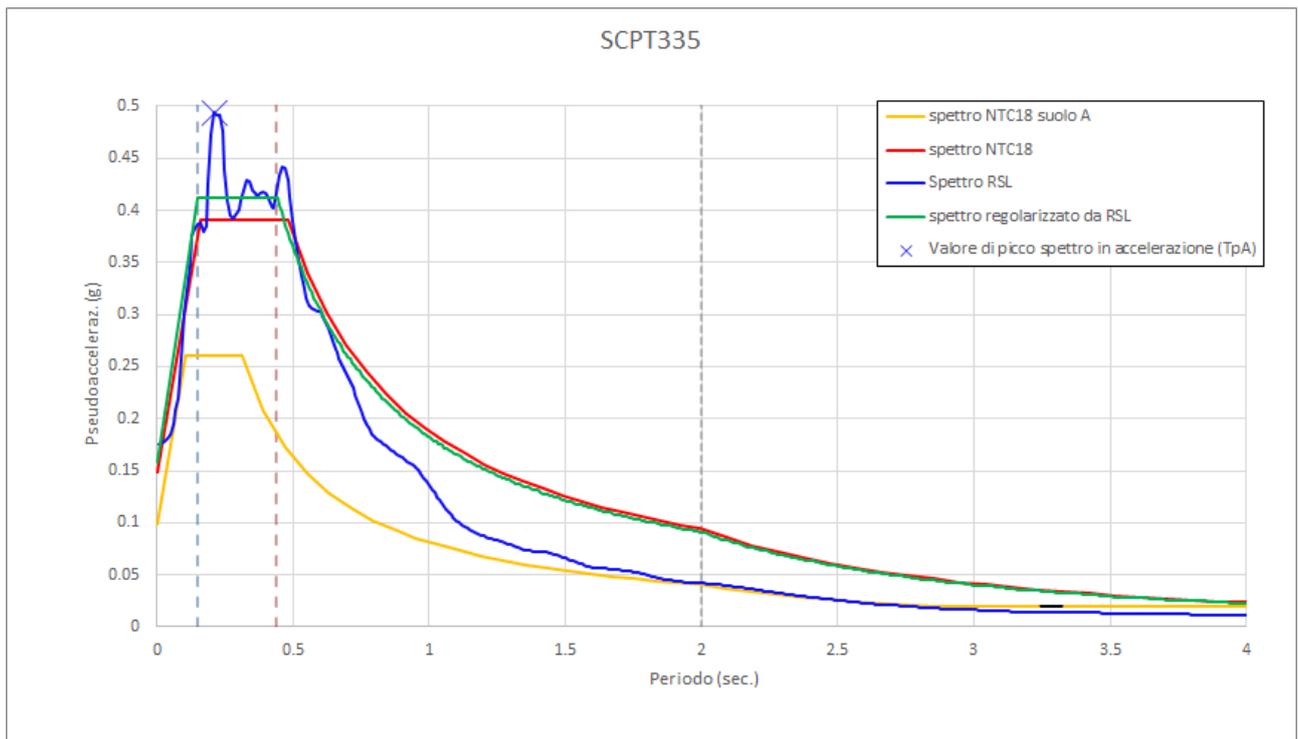
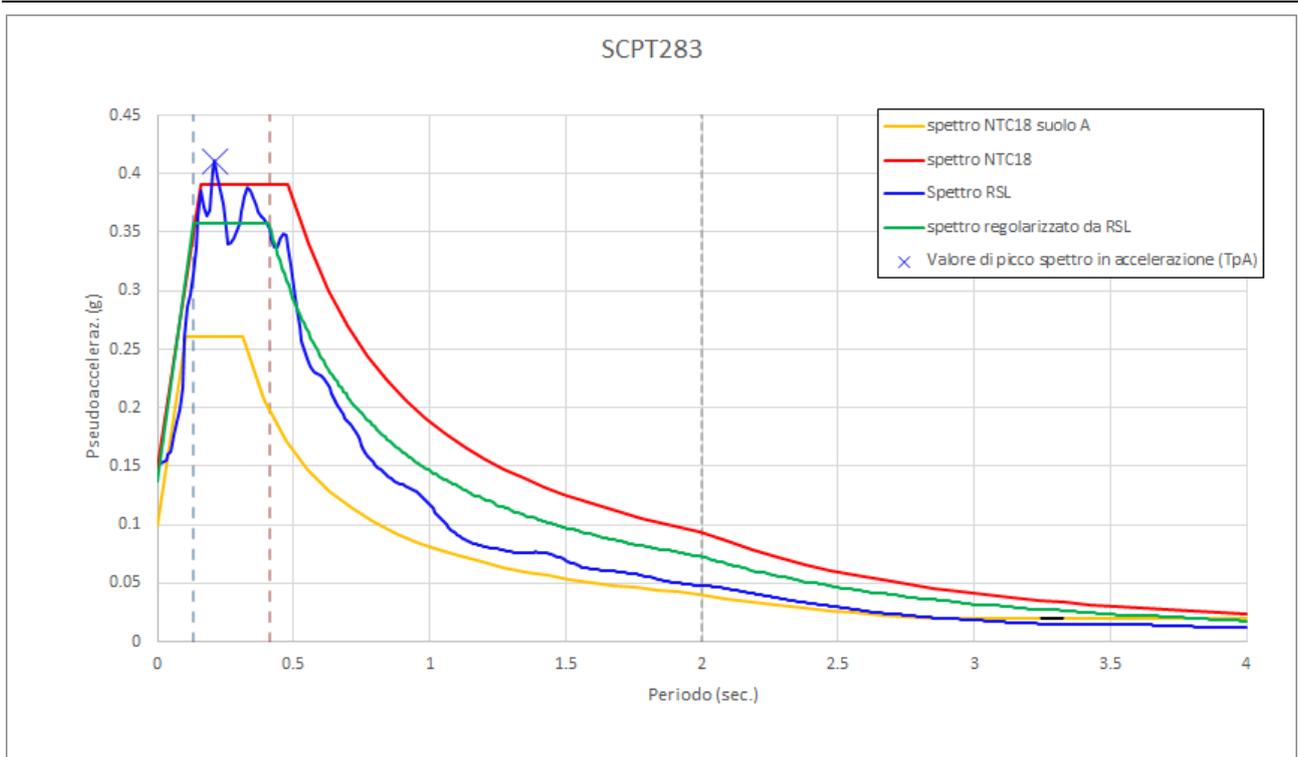
Ubicazione	Codice prova	Codice media	< NTC18 >
Mezzano inferiore ovest	SCPT136	B	simile
Mezzano Inferiore est	DH133		
<hr/>			
Casale	SCPT135	-	minore
Coenzo	SCPT281	-	minore
Zona industriale Bogolese	SCPT283	-	minore
Mezzano Superiore sud	SCPT338	A	minore
Mezzano Superiore nord	SCPT134		
Sorbolo ovest	DH278	C	minore
Sorbolo centro	SCPT279		
<hr/>			
Casaltone	SCPT335	-	maggiore
Corte Godi	SCPT336	-	maggiore
Mezzani	SCPT337	-	maggiore

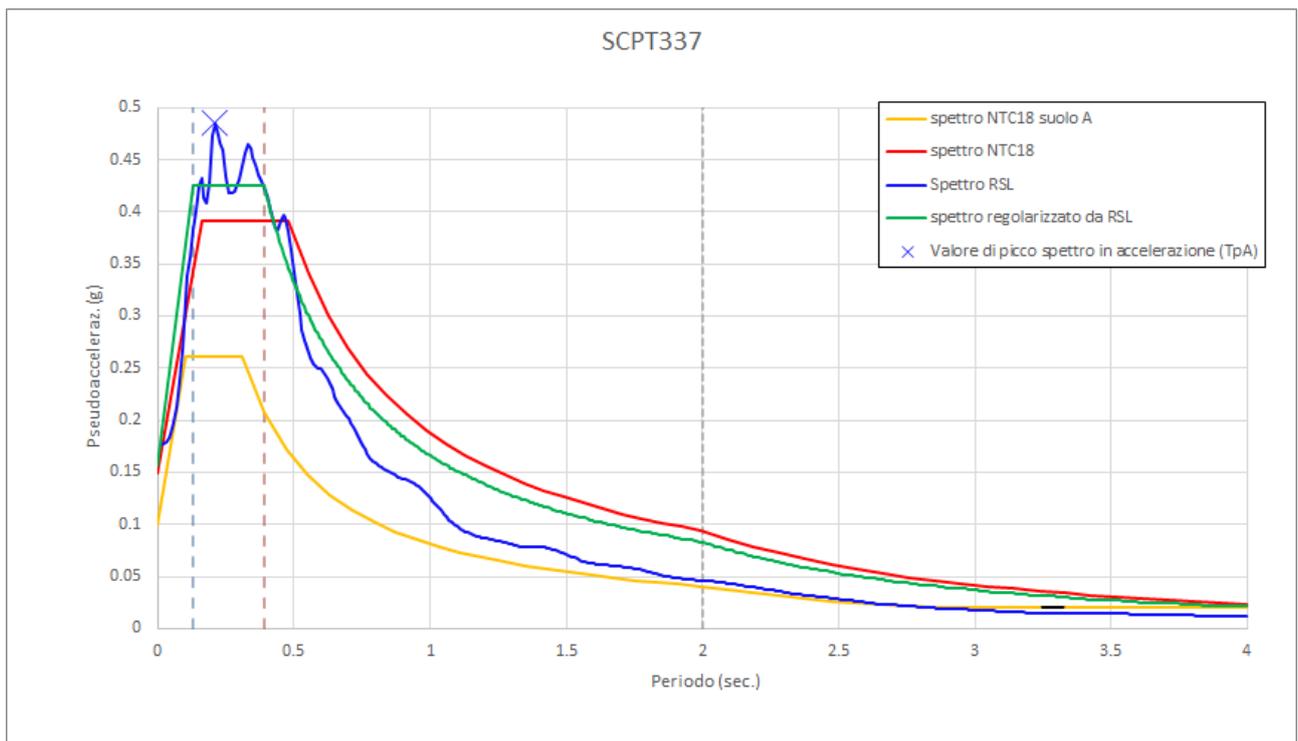
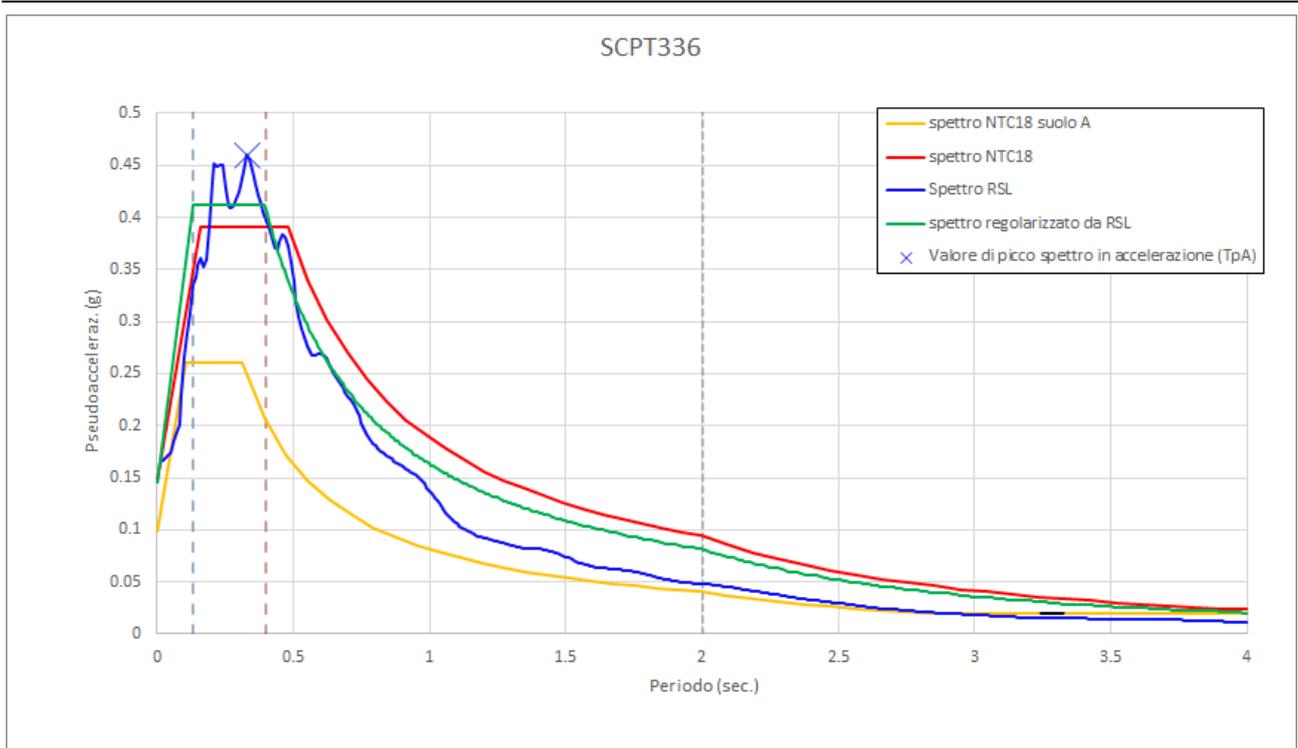
Di seguito si riportano i grafici degli spettri di risposta in superficie da analisi di risposta sismica locale.

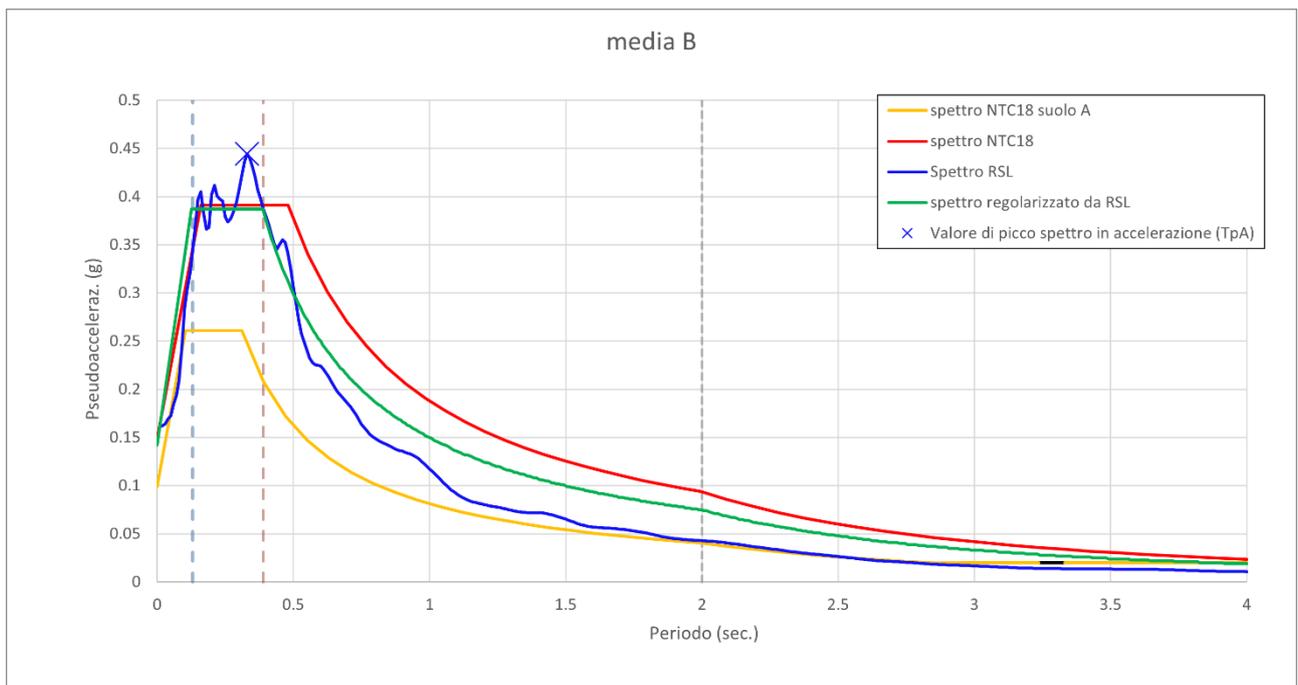
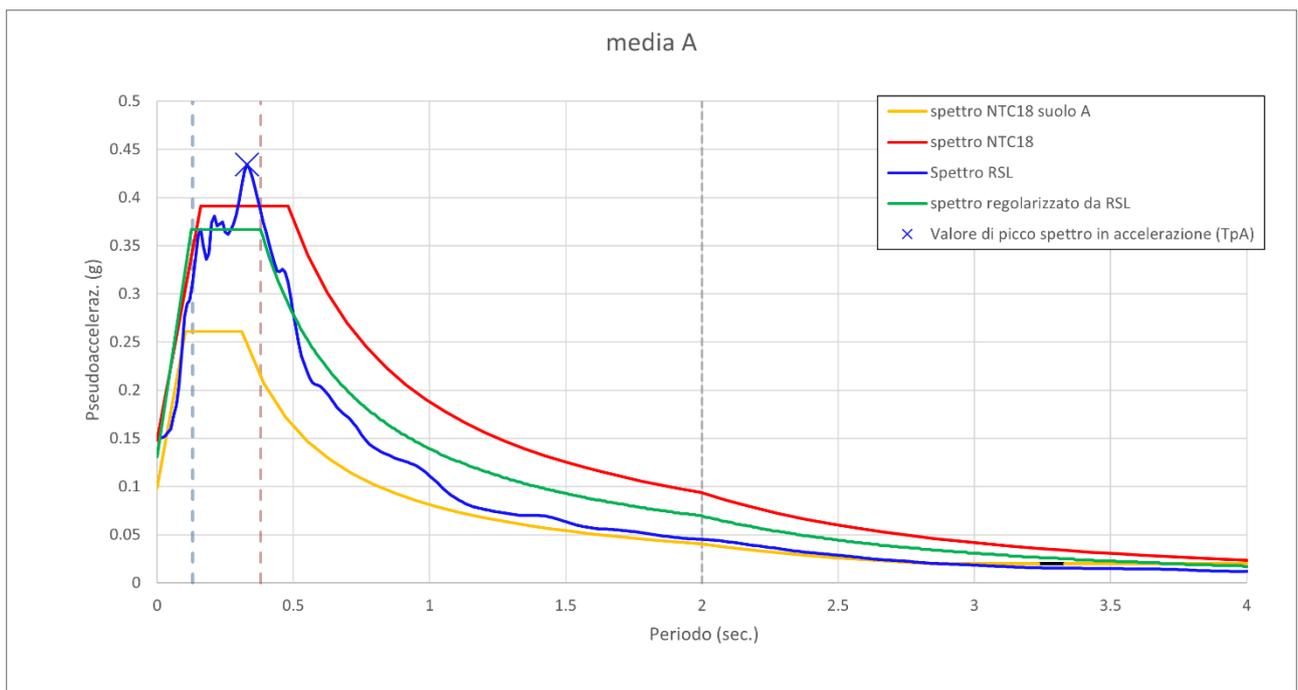
Se si mettono a confronto i risultati delle analisi di risposta sismica locale - in termini di spettri di risposta normalizzati - con gli spettri semplificati di Normativa per pari classe di suolo (Figura 32), si osserva come le curve siano simili in un solo caso, con plateau ad accelerazione costante molto vicini; in 5 casi il plateau da RSL risulta minore rispetto a quello di Normativa, mentre nei restanti 3 casi risulta maggiore.

Figura 32 - Spettri di risposta in superficie da analisi di risposta sismica locale (blu: spettro medio; verde normalizzato) per i siti esaminati. Si ricorda che di 3 coppie di punti di analisi sono stati utilizzati gli spettri medi. Per confronto: spettri di risposta da metodo semplificato NTC18 su suolo A e su suolo specifico.

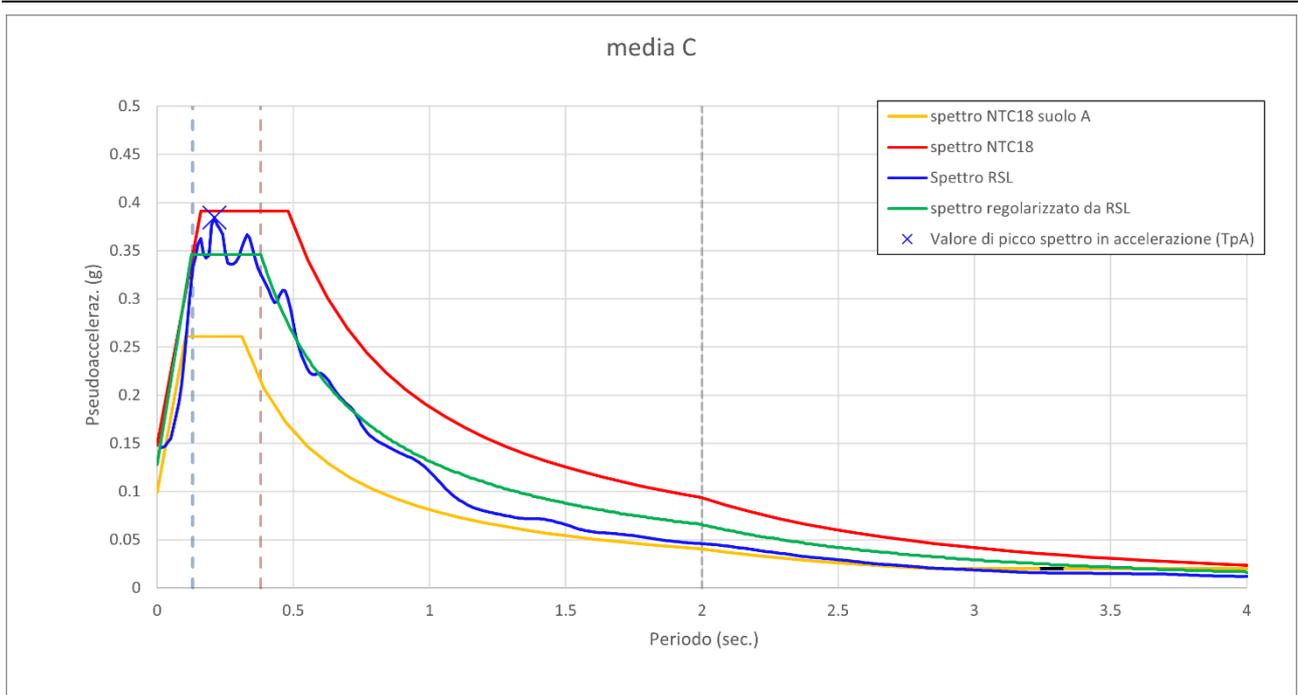








COMUNE DI SORBOLO MEZZANI - PROVINCIA DI PARMA
Microzonazione Sismica - APPROFONDIMENTO DI III LIVELLO
RELAZIONE ILLUSTRATIVA



8.1 Analisi della suscettività alla liquefazione

Il calcolo dell'Indice di Potenziale Liquefazione (IPL) è stato eseguito in corrispondenza di ogni verticale CPTu/SCPTu e dei due sondaggi disponibili nel database costruito per il presente studio, per un totale di 40 punti, considerando una profondità della falda media, su tutto il territorio, pari a -2 m dal piano campagna.

L'analisi è stata effettuata tramite l'approccio di calcolo di Boulanger & Idriss (2014) all'interno del codice di calcolo "CLiq2" della Geologismiki©.

Il valore di magnitudo momento di ingresso è stato scelto pari a quello della zona sismogenetica più vicina all'area, ZS9 nr. 913, ovvero 5,8, mentre i valori di accelerazione di picco al suolo sono stati ricavati dagli spettri ricavati dalle singole analisi di risposta sismica locale, ovvero dallo spettro medio delle singole microzone omogenee individuate.

Il risultato dei calcoli eseguiti sulle 40 CPTu/SCPTu è visibile nella figura seguente.

Le verifiche a liquefazione sono riportate nel file "Report verifiche del rischio di liquefazione" (cartella "Plot\MS").

I valori relativamente più alti di IPL, compresi nella fascia di pericolosità alta, si concentrano nella parte settentrionale del Comune; a Mezzano inferiore e a Enzano si registrano valori massimi di oltre 10, a Mezzano Casale (parte nord) intorno ai 7, mentre a Mezzano Superiore l'indice IPL arriva al massimo a 6.1. Da segnalare poi anche due situazioni puntuali, in località Frassinara e Bogolese, dove si registrano valori di IPL rispettivamente di 8.5 e 8.2.

Nel restante territorio, compresi gli abitati di Sorbolo, Coenzo e Mezzano Casale (parte sud), la pericolosità è risultata bassa (Figura 33).

Se si osserva la successiva Figura 34 risulta evidente come la maggior parte degli IPL di alta pericolosità ricadano in corrispondenza di litologie associate a depositi sabbiosi di origine fluviale (terreni di copertura del Fiume Po), nella fascia di Mezzani e Coenzo, mentre nei casi di Frassinara e Bogolese, tali valori sono associati alla presenza di paleoalveo con direzione N-S, a cui si associano litologie generalmente sabbiose.

Nella Figura 35 viene infine riportata la zonizzazione delle aree potenzialmente liquefacibili, come ricostruite sulla base delle verifiche eseguite sulle verticali CPTu/SCPTu e sui due sondaggi; la zonizzazione è riferita al alle aree indagate, il cui limite è evidenziato con bordo giallo.

Come da Standard di rappresentazione, le zone con $IPL \leq 2$ non vengono evidenziate.

Figura 33 - Classificazione dei valori di IPL calcolati per il presente studio in corrispondenza di 40 CPTu/SCPTu, in base alla suddivisione proposta da Sonmez (2003).

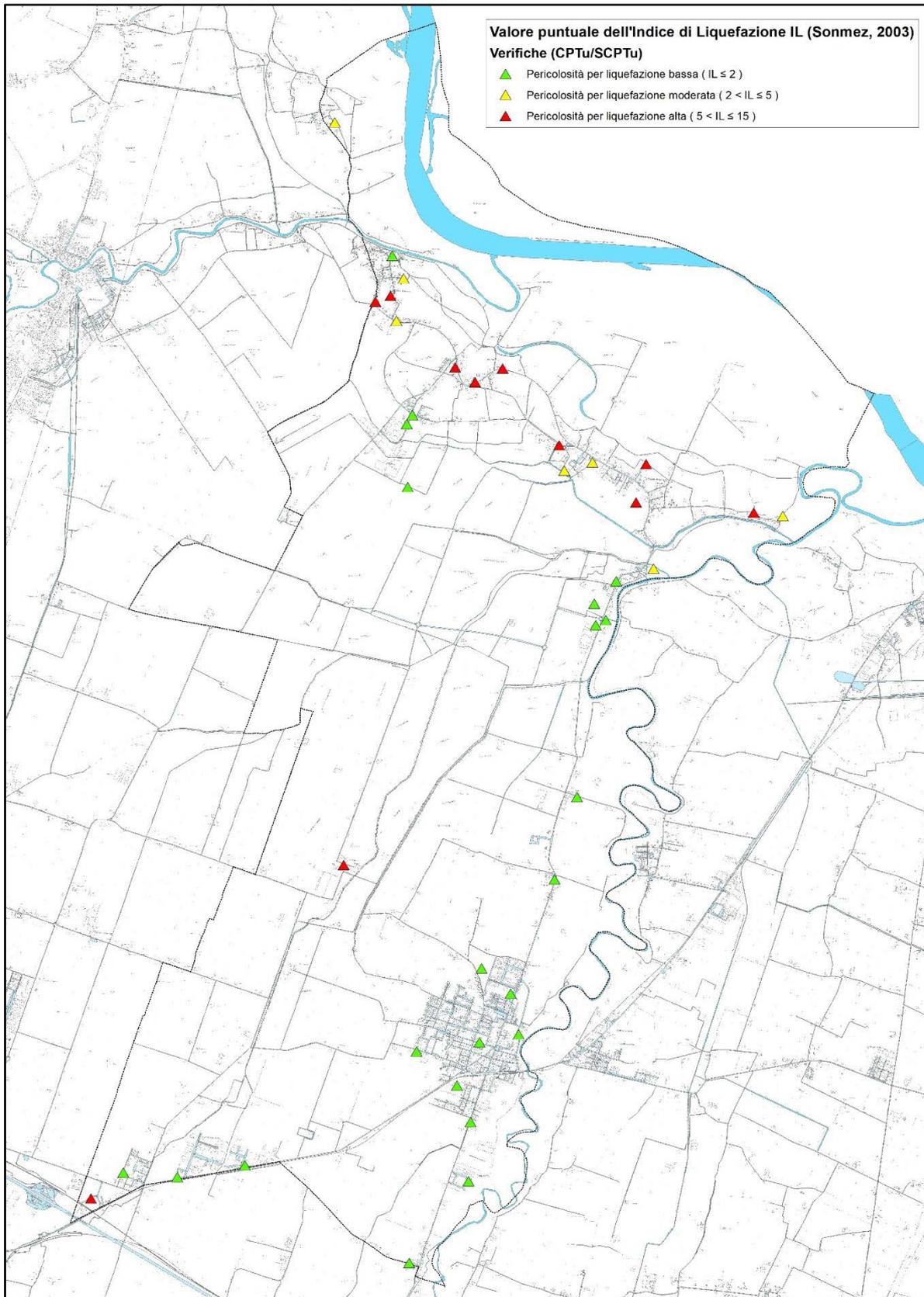


Figura 34 - Sovrapposizione dei punti di verifica dell'IPL e la litologia di superficie.

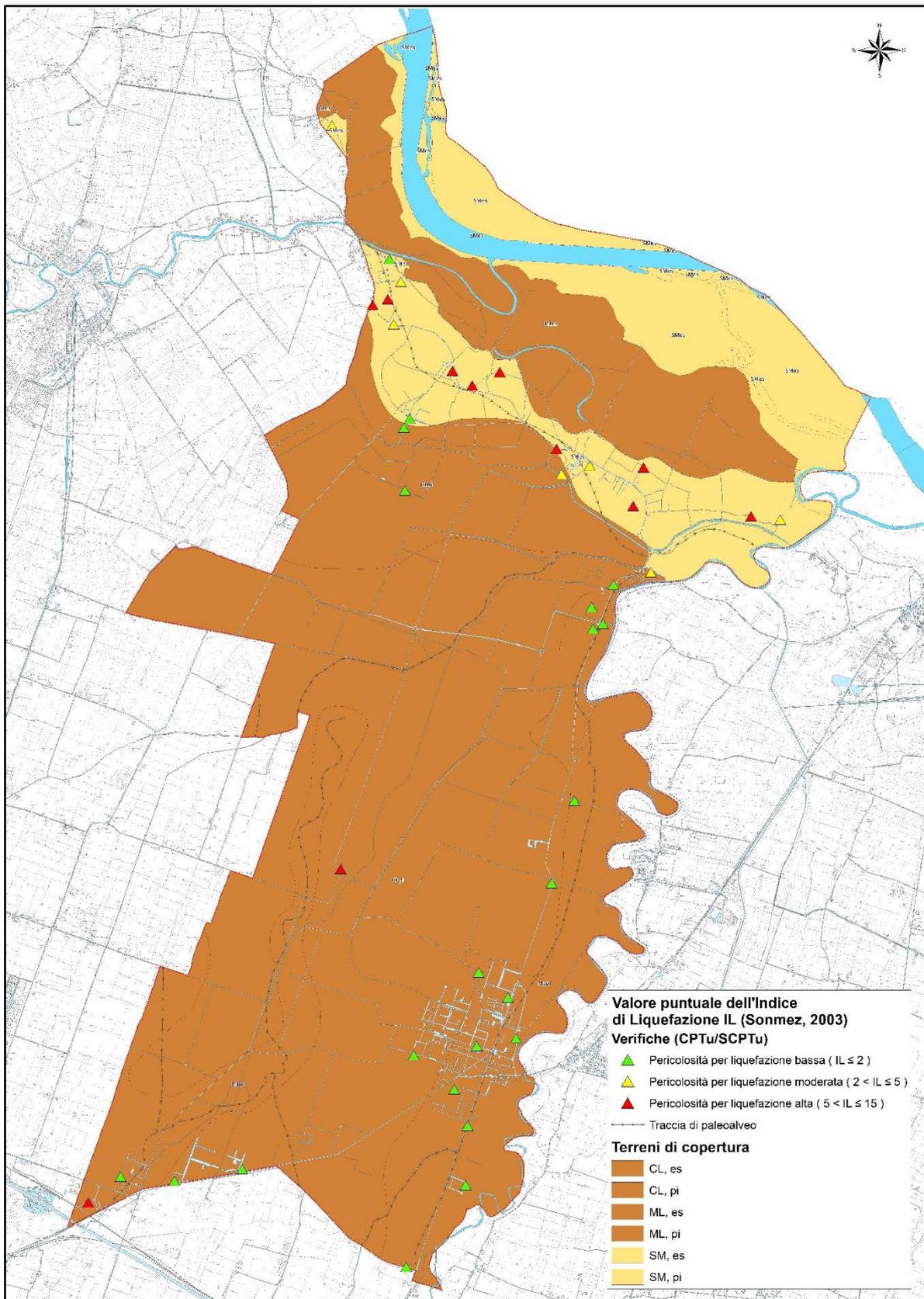
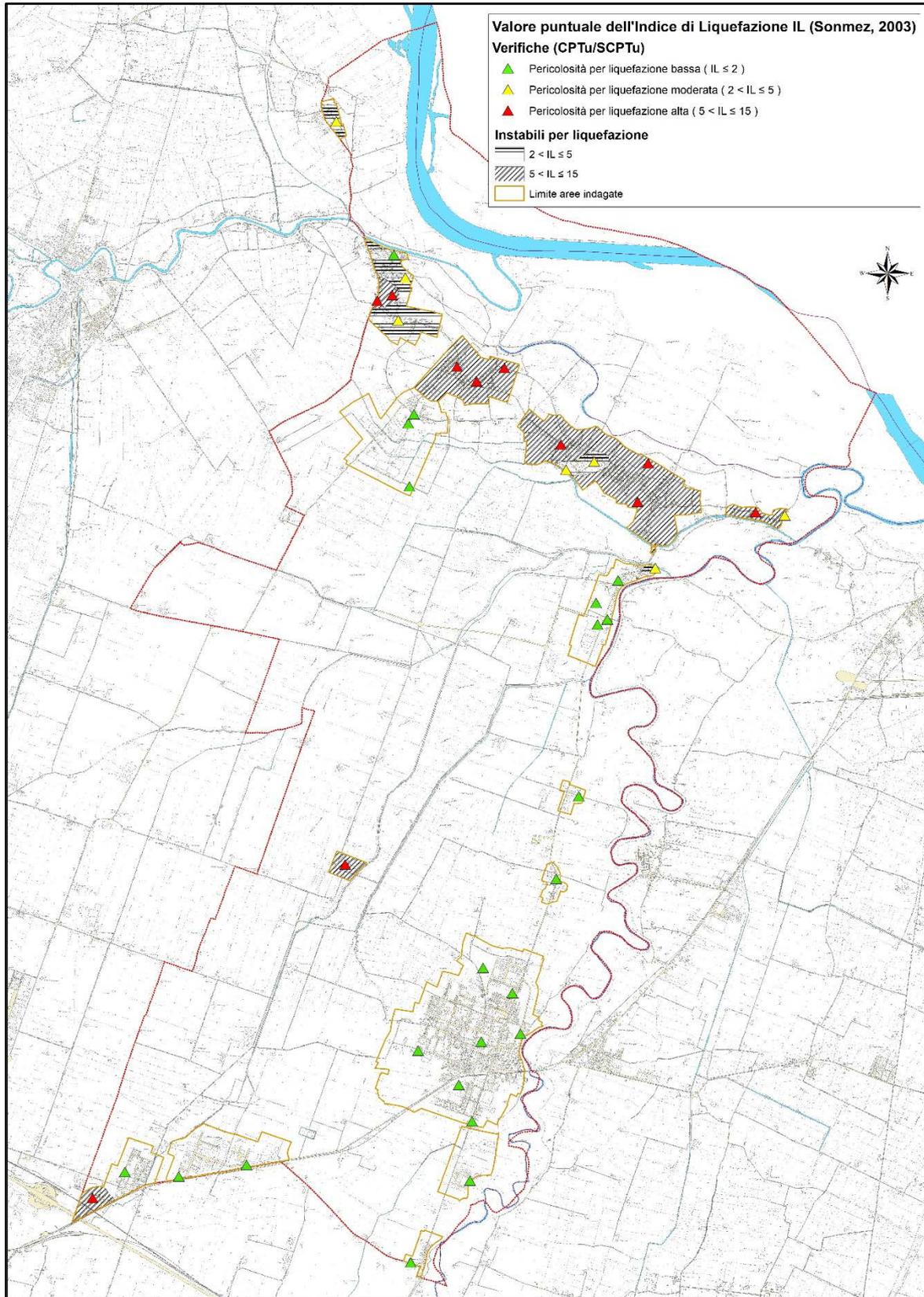


Figura 35 - Zonizzazione delle aree potenzialmente liquefacibili sulla base delle verifiche eseguite sulle verticali CPTu/SCPTu e sui due sondaggi (Zonizzazione eseguita all'interno del "Limite aree indagate" individuate con bordo giallo)



8.1.1 Calcolo dei cedimenti post-sismici

Il calcolo dei cedimenti post-sismici nel terreno indagato dalle 40 CPTu/SCPTu, è stato eseguito tenendo conto della sommatoria dei cedimenti che possono aver luogo sia nei terreni granulari insaturi, che in quelli granulari saturi, sia in quelli coesivi soffici.

Per il calcolo dei cedimenti post-sismici nei livelli granulari saturi è stato utilizzato il metodo di Boulanger & Idriss (2014), implementato nel codice di calcolo "CLiq2" della Geologismiki©, che mette in relazione la deformazione volumetrica dovuta alla ri-consolidazione post-ciclica (ε_v %) con la resistenza alla punta (CPT) equivalente a sabbie pulite (q_{c1Ncs}) tramite la relazione:

$$\varepsilon_v = 1.5 \cdot \exp \left(2.551 - 1.147 (q_{c1Ncs})^{0.264} \right) \cdot \min (0.08, \gamma_{\max}) \quad (4)$$

dove γ_{\max} è la deformazione di taglio massima in semplice ampiezza indotta dal terremoto, integrando il risultato nello spessore d'interesse:

$$S_{v-1D} = \int_0^{z_{\max}} \varepsilon_v \cdot dz \quad (5)$$

Il calcolo dei cedimenti nei terreni granulari insaturi è stato effettuato, sempre all'interno del codice di calcolo sopra citato, utilizzando le formule proposte da Robertson & Lisheng (2010), che sostanzialmente modifica il metodo di Pradel (1998), costruito sulle prove SPT, per adattarlo alle CPTu. Nella modifica proposta da Robertson & Lisheng (2010), la deformazione volumetrica dopo 15 cicli viene espressa in funzione della resistenza normalizzata alla punta equivalente per sabbie pulite ($Q_{tn,cs}$), dell'indice di comportamento del suolo (I_c) e della deformazione di taglio ciclica (γ), quest'ultima calcolata con Pradel (1998):

$$\varepsilon_{vol(15)} = \gamma \left[\frac{Q_{tn,cs}}{8.5 \left(\frac{1-I_c}{4.6} \right)} \right]^{-1.2} \quad (6a)$$

$$\varepsilon_{vol} = \varepsilon_{vol(15)} \left(\frac{N_c}{15} \right)^{0.45} \quad (6b)$$

$$N_c = (M - 4)^{2.17} \quad (6c)$$

dove N_c è il numero equivalente di cicli per un sisma di magnitudo M .

Come detto, i risultati hanno portato a cedimenti dell'ordine di 1 mm, quindi non sono stati considerati.

Il calcolo dei cedimenti nei terreni coerenti poco consistenti è stato effettuato sia tramite il metodo proposto da Robertson (2009) che tramite il metodo proposto dalla DRG 630/2019.

Per il metodo DGR 630/2019 si rimanda alla DGR stessa. Il metodo di Robertson (2009) si basa sul rapporto tra la variazione di tensione efficace indotta dal sisma ($\Delta\sigma'_v$) e il modulo edometrico (M) durante la ri-consolidazione, solitamente maggiore rispetto a quello statico (M_{CPT}):

$$\varepsilon_{vol} = (\Delta\sigma'_v / M) \quad (7a)$$

$$\Delta\sigma'_v = r_u \sigma'_{v0} \quad (7b)$$

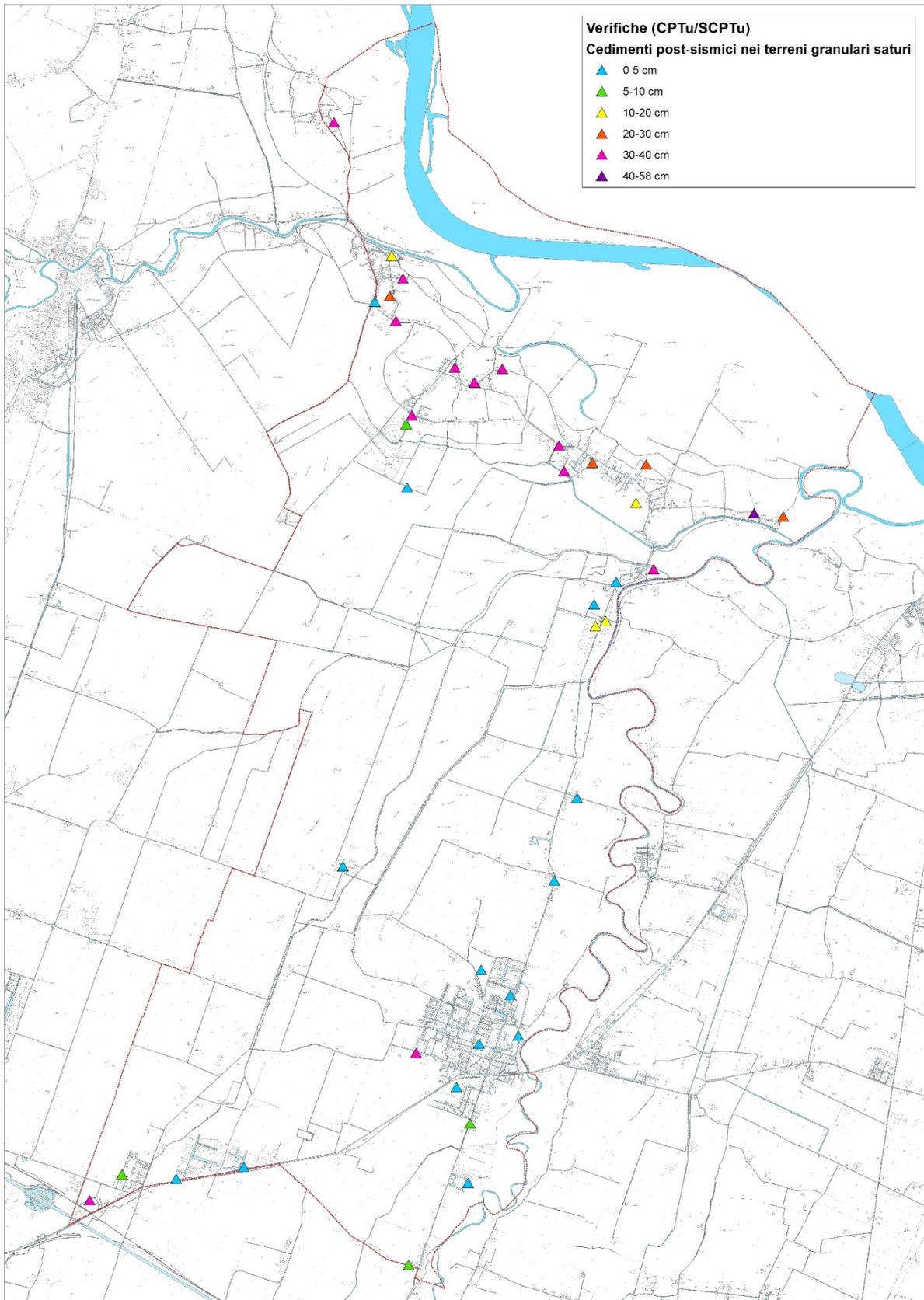
$$r_u = [0.8 - 2.66 \log(FS)] / OCR \quad (7c)$$

$$M = M_{CPT} [10 - 9 \log(OCR)] \quad (7d)$$

dove FS è il fattore di sicurezza alla liquefazione che, per le argille, vede un $CRR_{7.5}$ modificato rispetto a quello per i terreni incoerenti.

Anche nel caso dei cedimenti nei livelli coerenti poco consistenti, i risultati conseguiti per il presente studio hanno dimostrato valori sempre nulli, sia applicando il metodo Robertson (2009) che quello DGR 630/2019.

Figura 36 – Distribuzione dei cedimenti post-sismici calcolati in corrispondenza delle 40 CPTu/SCPTu utilizzate per il presente studio



9 ELABORATI CARTOGRAFICI

Lo Studio di Microzonazione Sismica del Comune di Sorbolo Mezzani, si è composto di due diverse fasi: lo **Studio di I Livello**, concluso e consegnato ad Aprile 2022, che ha costituito la prima fase di avanzamento secondo le indicazioni della D.G.R. 566 del 26/04/2021 “Approvazione dei criteri per l'attribuzione, la concessione e la liquidazione di contributi per studi di microzonazione sismica e analisi della condizione limite per l'emergenza nei comuni caratterizzati da una pericolosità sismica ag inferiore a 0,125g” e lo **Studio di III livello**, oggetto della presente, che ha inglobato al proprio interno anche i contenuti e gli elaborati della prima fase, opportunamente rivisti.

Gli elaborati sono stati sviluppati prendendo a riferimento il “Limite delle aree indagate” che comprende al proprio interno il Territorio Urbanizzato (perimetrato ai sensi della L.R. 24/2017 e quindi corrispondente al perimetro del TU al 31.12.2018) e gli “*agglomerati posti in territorio rurale di dimensioni significative*”(Frassinara), ampliato di un offset di circa 100 m, in modo da ricomprendere i “*territori contermini al territorio urbanizzato, che non presentano fattori preclusivi o fortemente limitanti alle trasformazioni urbane*” e opportunamente modificato in alcune zone, unificando perimetri vicini, come nel caso del l'area di Sorbolo con l'area produttiva posta a sud o per le aree di Bogolese e Chiozzola, la cui unificazione ha permesso di includere una parte di territorio in cui sono presenti alcuni edifici che costituiscono agglomerato sparso.

9.1 Elaborati cartografici di I LIVELLO

Di seguito vengono descritti brevemente i contenuti delle cartografie di I livello di approfondimento della microzonazione sismica di Sorbolo Mezzani, per la quale sono stati prodotti i seguenti elaborati:

- **Carta geologico-tecnica:** vi vengono rappresentati gli elementi geologici e morfologici che possono modificare il moto sismico in superficie; in particolare sono distinte le aree caratterizzate da un'omogenea litologia di superficie (primi 5 m dal piano campagna indagati dalle indagini penetrometriche e dai sondaggi a carotaggio), insieme alle forme di superficie e sepolte, agli elementi tettonico-strutturali ed agli elementi geologici ed idrogeologici, solitamente già disponibili nelle banche dati digitali regionali;
- **Carta delle indagini:** in tale cartografia sono riportate le ubicazioni delle indagini (geognostiche e geofisiche) di nuova esecuzione, appositamente eseguite per il presente studio e quelle pregresse; tutte le prove vengono classificate in base alla tipologia;
- **Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs):** in cui sono ubicati tutti i punti di misura di Vs con indicazione, per ogni punto misura, del valore di Vs₃₀; non essendo state eseguite nuove indagini, la cartografia deriva dall'unione delle precedenti.
- **Carta delle frequenze naturali dei terreni:** riporta i punti di misura e i risultati di indagini di sismica passiva (misure HVSR); in particolare, sono stati indicati il valore F0 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 (F1). In entrambi i casi sono stati presi in considerazione solo i picchi ricadenti nell'intervallo di frequenza 0,1÷20Hz. Non essendo state eseguite nuove indagini, la cartografia deriva dall'unione delle precedenti;
- **Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS):** 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 e zone suscettibili di amplificazioni locali, all'interno delle quali sono state operate ulteriori distinzioni, identificando delle microzone omogenee, sulla base delle caratteristiche litostratigrafiche; su indicazione del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della RER, l'elaborato è stato predisposto solo all'interno delle aree indagate, in corrispondenza delle quali sono disponibili i dati necessari.

Le cartografie sono state realizzate alla scala 1:10.000, suddividendo il territorio comunale in due parti (nord e sud).

Negli elaborati Carta delle indagini, Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs) e Carta delle frequenze naturali dei terreni, è stato sostituito il “Perimetro TU (Luglio 2021 da QC PUG)” con il “Limite aree indagate”.

Nella Carta delle indagini si è inoltre provveduto ad inserire il Codice identificativo delle Indagini nuove e pregresse.

9.1.1 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 funzionali alla realizzazione delle Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (Livello 1), descritta di seguito (paragrafo 9.1.5).

Per la stesura della Carta geologico tecnica, si è fatto riferimento, in particolare, alla seguente documentazione, opportunamente verificata:

- elaborati del QC del PUG di Sorbolo Mezzani in fase di redazione, redatti dalla scrivente;
- elaborati del Quadro Conoscitivo dei PSC Vigenti;
- “Carta Geologica d’Italia” alla scala 1: 50.000, Foglio 182 “Guastalla” realizzato secondo le disposizioni del Progetto CARG;
- Carta Geologica di Pianura dell’Emilia-Romagna, alla scala 1:250.000, realizzata dalla Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli Regione della Emilia-Romagna;
- indagini puntuali, per la descrizione delle quali si rimanda al successivo paragrafo 9.2;
- Carta Geologico Tecnica redatta negli Studi di MS 2016; in quell’occasione la cartografia era stata prodotta per le sole aree interne al Territorio urbanizzato e urbanizzabile, identificato come “Territorio indagato”. Nel presente lavoro l’elaborazione è stata estesa all’intero territorio comunale, secondo quanto richiesto dagli Standard di microzonazione sismica nazionali più recenti (versione 4.1, 2018).

Allo scopo di migliorare la comprensione del modello geologico locale, si rimanda alle sezioni riportate nel precedente Cap. 6.

Nelle Carta geologico tecnica sono rappresentate le caratteristiche litologiche dei terreni presenti nei primi 5 metri di profondità dal p.c., classificati sulla base della tessitura prevalente; in particolare sono state distinte, sulla base delle caratteristiche tessiturali, le seguenti unità di terreni di copertura:

- **SM** – Sabbie limose, miscela di sabbie e limo;
- **ML** - Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità;
- **CL** – Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre

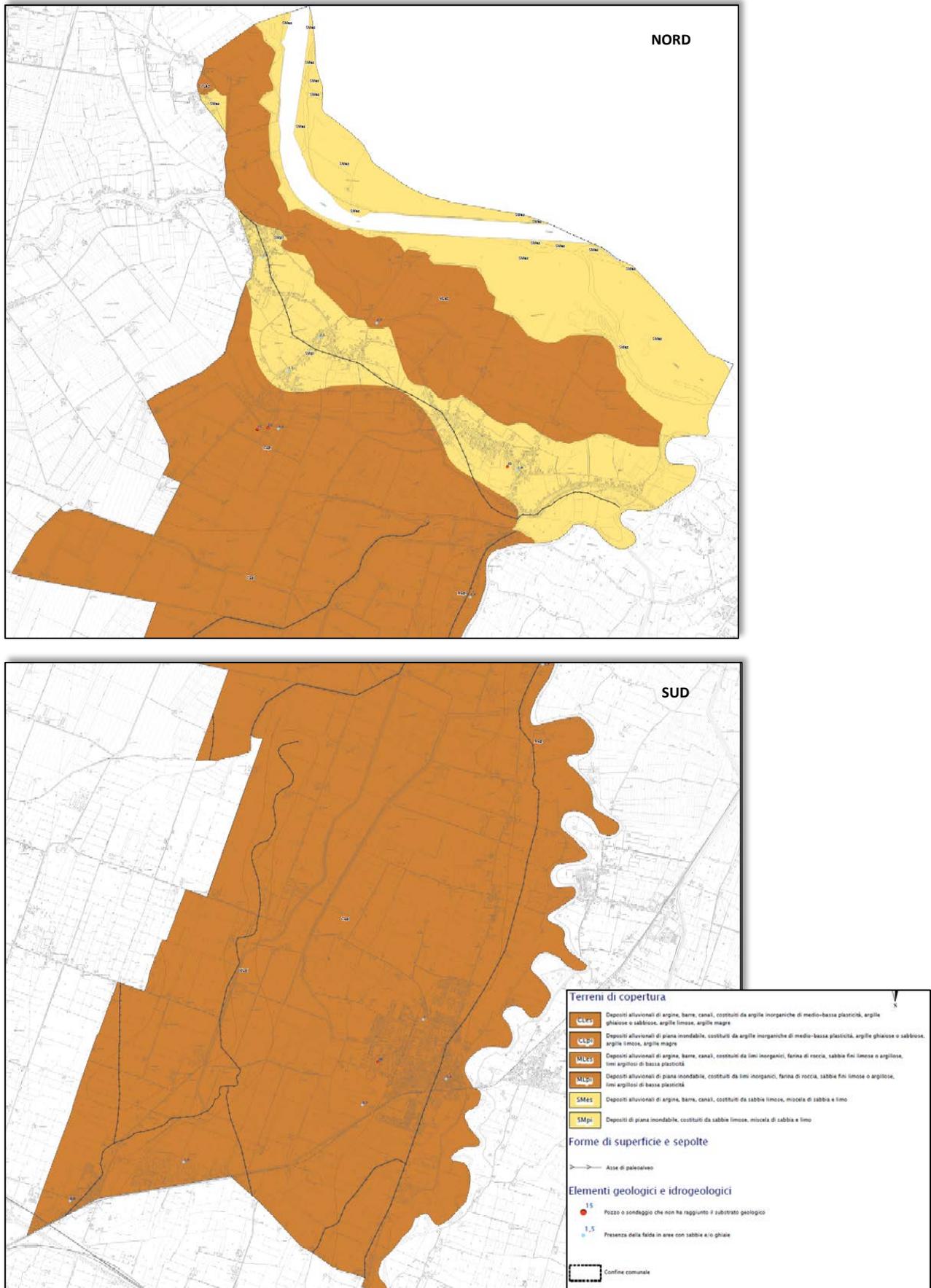
Sono stati altresì indicati gli ambienti genetico - deposizionali dei terreni di copertura secondo le seguenti classi:

- pi - piana inondabile;
- es – argini, barre, canali.

Infine nella Carta geologico-tecnica sono stati indicati i pozzi e i sondaggi profondi (che, comunque, non hanno mai intercettato il substrato geologico), indicandone la profondità raggiunta e sono stati riportati i valori di soggiacenza della falda freatica, necessari alla definizione delle zone potenzialmente instabili per fenomeni liquefazione.

Dalla **Carta geologico tecnica**, riportata nella figura seguente su base semplificata, si evidenzia come le litologie di copertura prevalenti sul territorio comunale siano le argille, che caratterizzano tutta la parte centrale del comune e i limi, presenti nelle zone poste tra l’abitato di Mezzani e l’area golenale, oltre che nell’area dell’abitato di Sorbolo e nella zona più a sud del territorio (Bogolese e Zona Industriale); le sabbie invece gli abitati di Mezzano Superiore, Casale e di Mezzano Inferiore, parte di Mezzano Rondani, oltre alla zona golenale.

Figura 37 - Carta Geologico Tecnica



9.1.2 Carta delle indagini

Nella Carta delle indagini sono state riportate le ubicazioni delle prove di nuova esecuzione (24 prove) e di quelle pregresse, relative alle indagini geognostiche e/o sismiche eseguite nell'ambito degli studi di MZS 2016, quelle a corredo di pratiche edilizie depositate presso gli Uffici Tecnici Comunali e quelle contenute nel database fornito dal Servizio Geologico Regionale.

Le indagini sono state distinte in base alla tipologia in:

- sondaggio a carotaggio continuo
- sondaggio da cui sono stati prelevati dei campioni
- trincea o pozzetto esplorativo
- prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)
- prova penetrometrica statica con piezocono (CPTU)
- prova penetrometrica statica con piezocono e cono sismico (SCPTU)
- MASW
- profilo sismico a rifrazione
- stazione microtremore a stazione singola

Nella figura seguente si riporta un estratto della Carta delle Indagini; per tutte le indagini è stata indicata la numerazione, apportando, in tal senso, una modifica rispetto alla versione della carta consegnata con il I Livello, dove era riportata la numerazione solo per le indagini di nuova esecuzione.

Nella carta sono riportate tutte le indagini utili a definire le caratteristiche litostratigrafiche del territorio indagato.

Dagli Studi di MZS 2016 sono state acquisite le seguenti indagini:

⇒ *indagini reperite presso gli Uffici Tecnici ex Comune Sorbolo (S) e ex Comune Mezzani (M):*

- N° 2 sondaggi a carotaggio continuo (M)
- sondaggi da cui sono stati prelevati dei campioni: N° 1 (S) e N° 1 (M)
- prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT): N° 112 (S) e N° 69 (M)
- prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU): N° 3 (S) e N° 4 (M)
- N° 6 prove penetrometriche dinamiche medie (M)
- N° 3 trincee o pozzetti esplorativi (S)
- MASW: N° 2 (S) e N° 9 (M)
- N° 1 stazioni microtremore a stazione singola (S)
- profili sismici a rifrazione: N° 2 (S) e N° 1 (M)

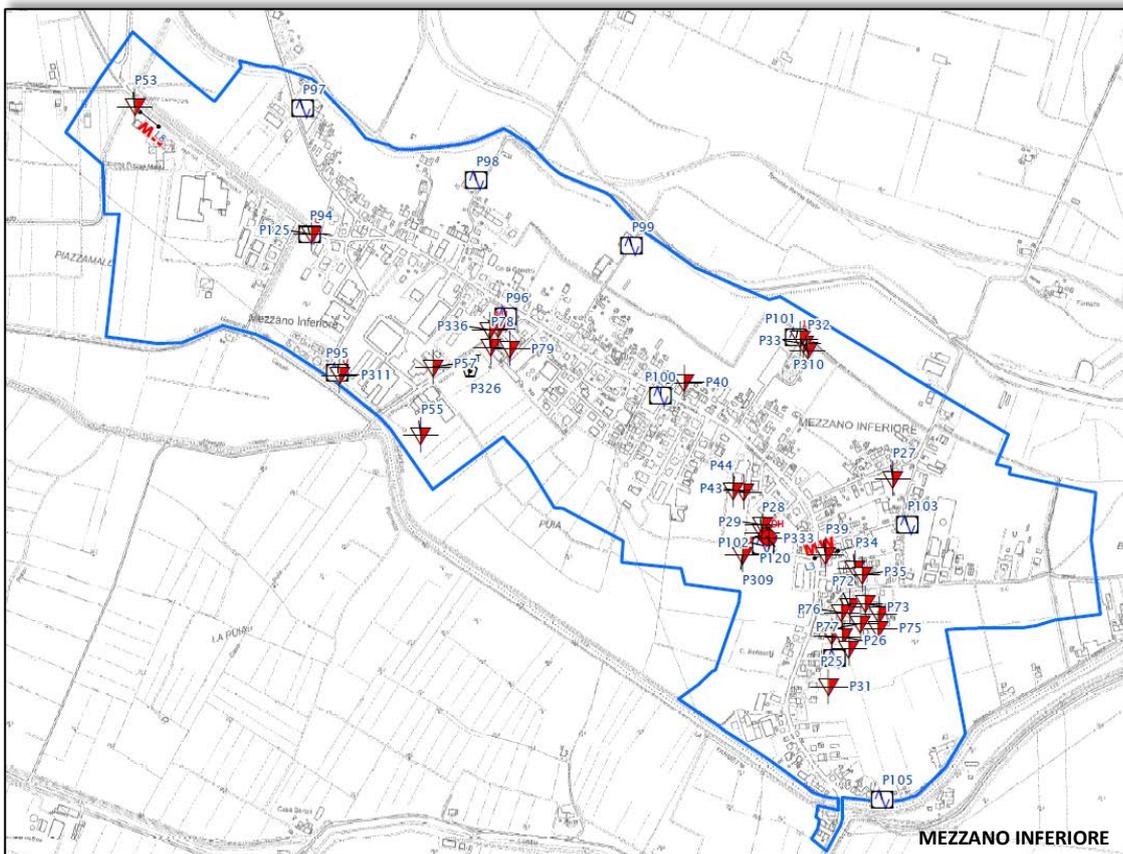
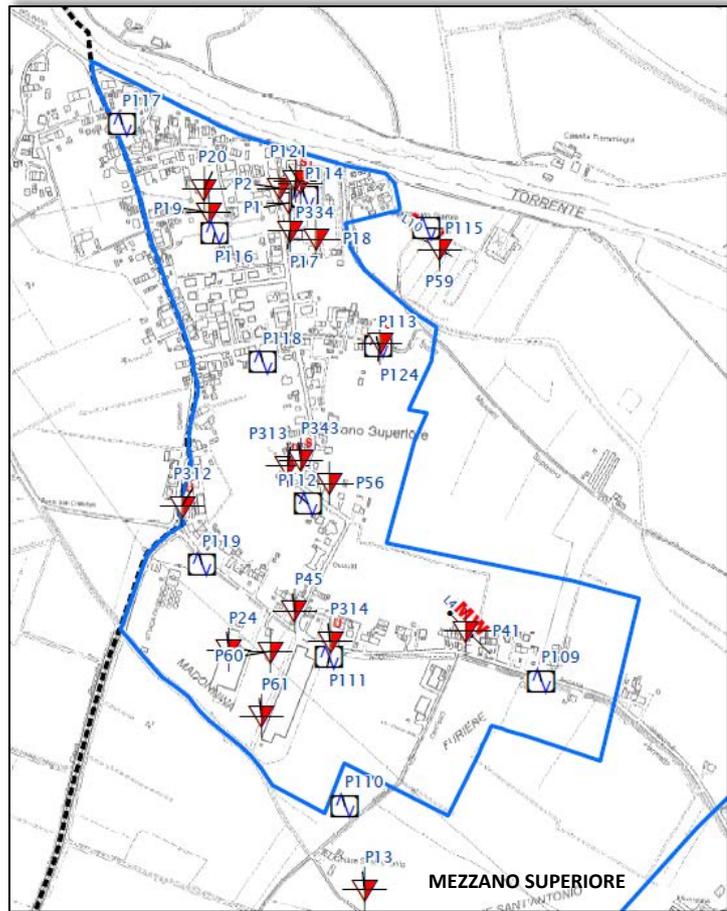
⇒ *indagini da specifica campagna eseguite per gli Studi di MZS (2016):*

- sondaggi a carotaggio continuo: N° 1 (S) e N° 1 (M)
- prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU): N° 6 (S) e N° 4 (M)
- prove penetrometriche statiche con piezocono e cono sismico (SCPTU): N° 3 (S) e N° 3 (M)
- prova Down-Hole: N° 1 (S) e N° 1 (M)
- stazioni di microtremore a stazione singola (HVSR): N° 40 (S) e N° 40 (M).

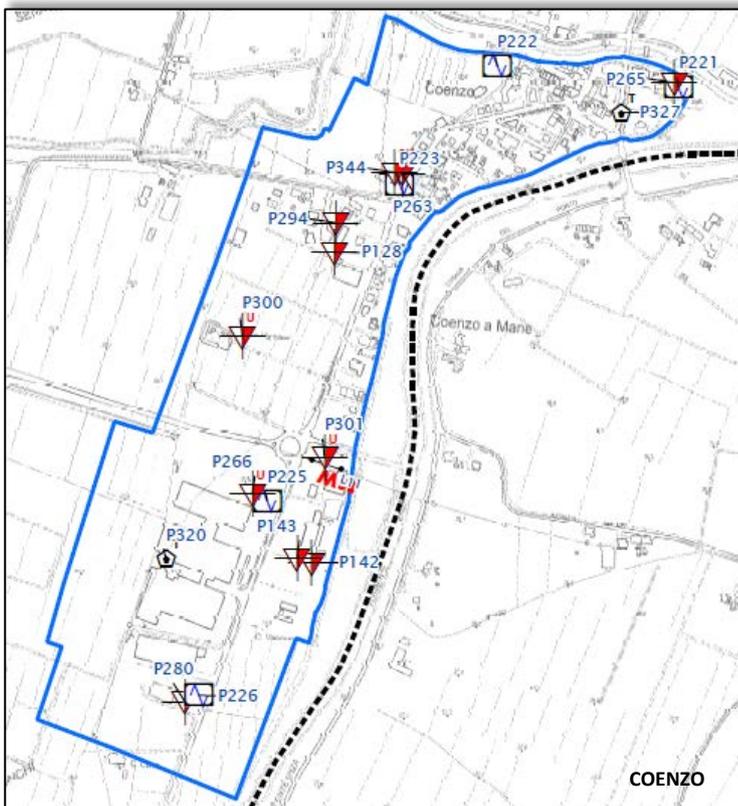
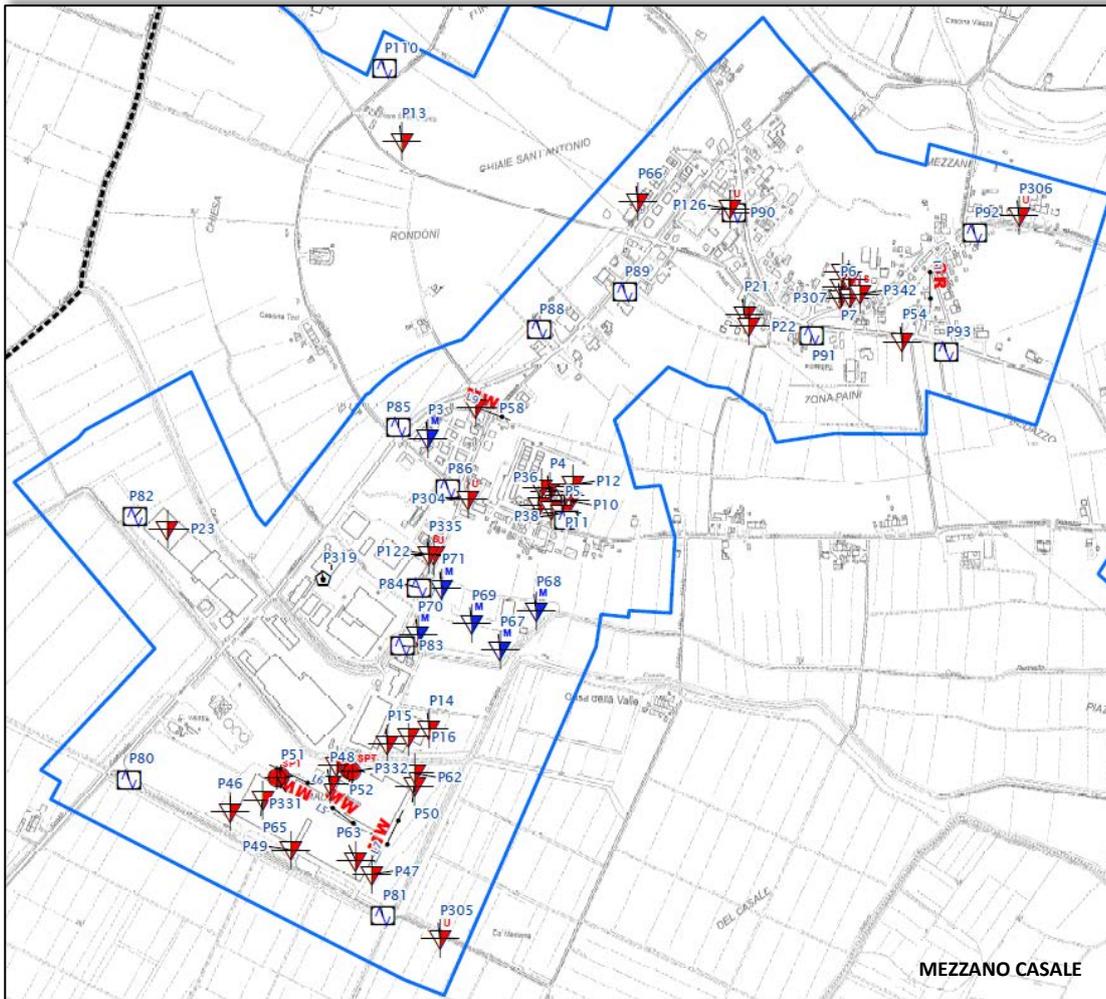
Per il presente studio sono state inoltre eseguite

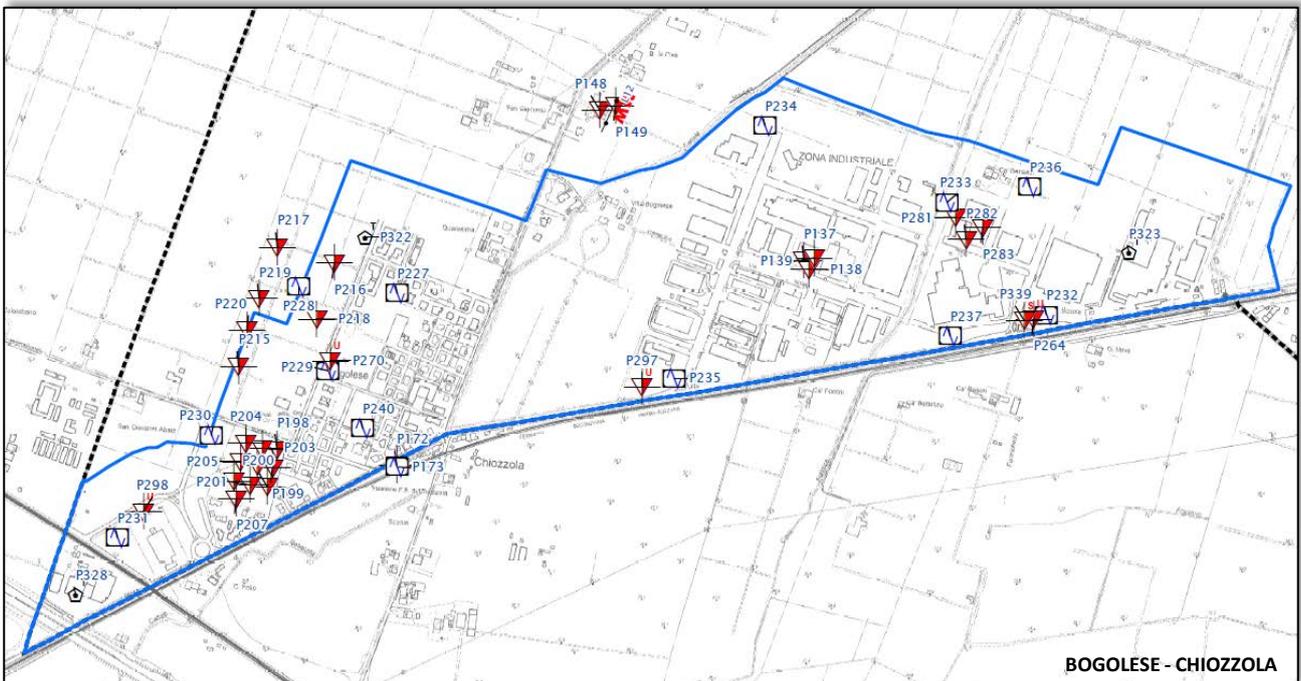
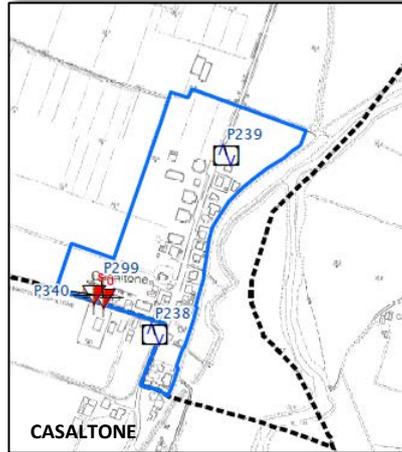
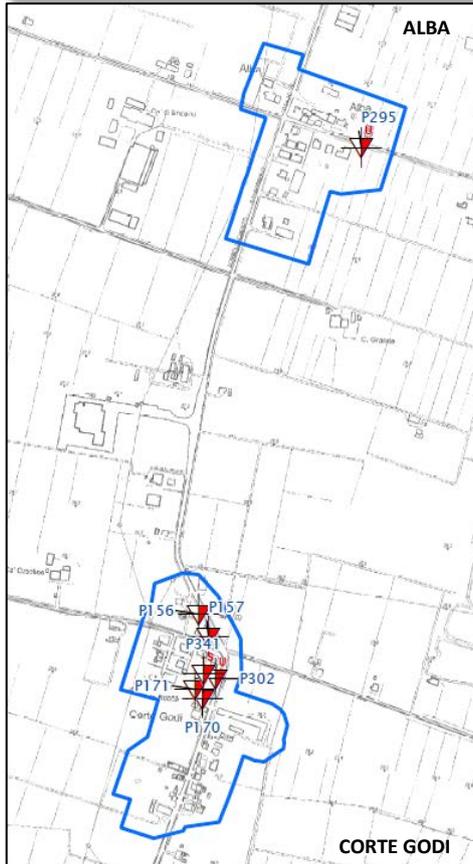
- 20 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU)
- 4 prove penetrometriche statiche con piezocono e cono sismico (SCPTU).

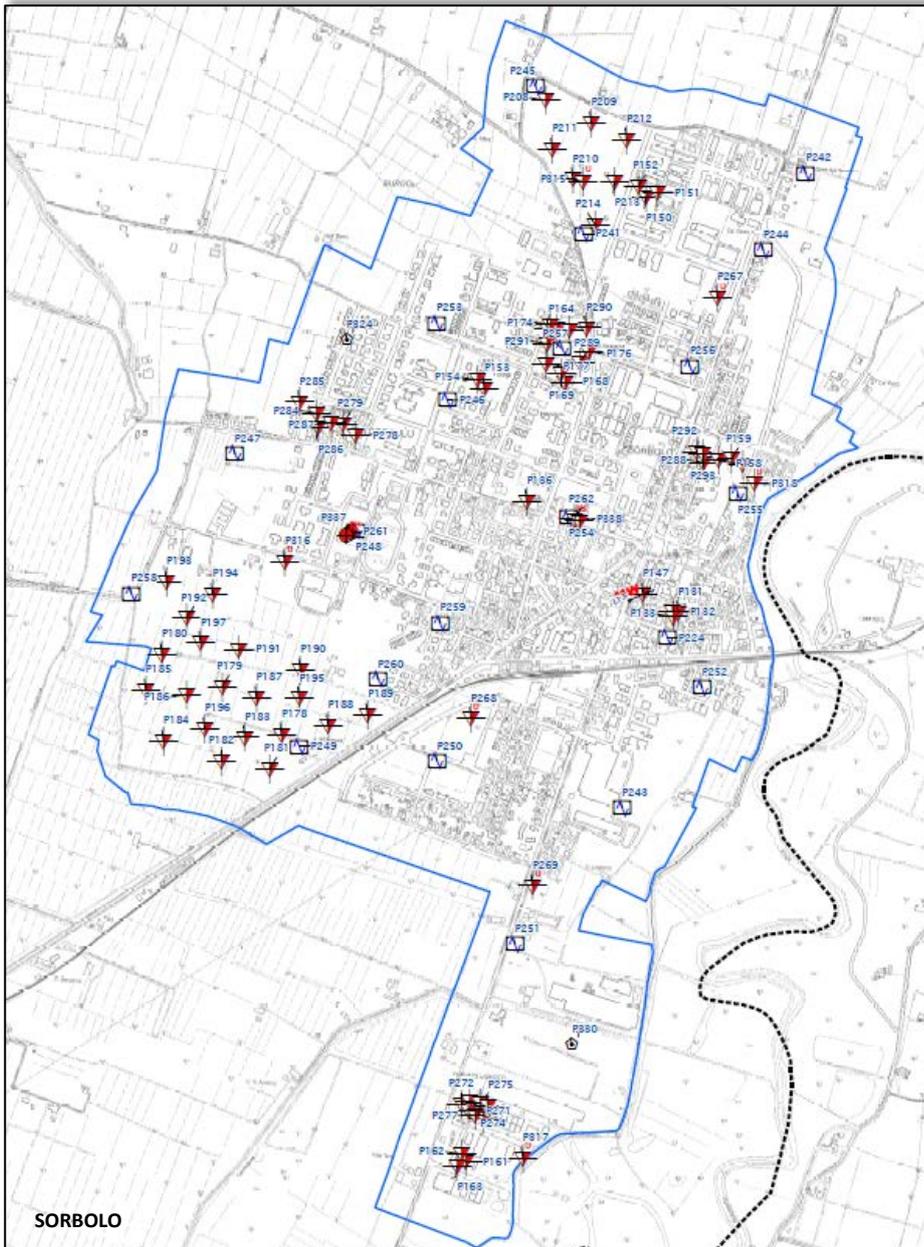
Figura 38 – Estratti Carta delle indagini



COMUNE DI SORBOLO MEZZANI - PROVINCIA DI PARMA
Microzonazione Sismica - APPROFONDIMENTO DI III LIVELLO
RELAZIONE ILLUSTRATIVA







SORBOLO

INDAGINI PREGRESSE (MZS 2016)
 Il numero si riferisce al Sito Puntuale

- P246 Prova penetrometrica in foro (SPT)
- P135 Prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)
- P125 Prova penetrometrica statica con piezocono
- P290 Prova penetrometrica dinamica media
- P158 Stazione microtremore a stazione singola
- P111 Sondaggio a carotaggio continuo
- P231 Prova penetrometrica con cono sismico
- P246 Trincea o pozzetto esplorativo
- P111 Sondaggio da cui sono stati prelevati campioni
- P120 Prova sismica in foro tipo Downhole

L123 MASW

L118 Profilo sismico a rifrazione

INDAGINI DI NUOVA ESECUZIONE (2022)
 Il numero si riferisce al Sito Puntuale

- P315 Prova penetrometrica statica con piezocono
- P335 Prova penetrometrica con cono sismico
- P255 Stratigrafia zona MS (teorica)

Limite aree indagate

Confine comunale

9.1.3 Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs)

La Carta delle velocità delle onde di taglio S (Vs) mostra la distribuzione spaziale di tutti i valori di Vs₃₀ ricavati dalle indagini d'archivio presenti sul territorio comunale; in particolare i punti di misura sono stati distinti a seconda della tipologia di prova effettuata (prova Down-Hole, cono sismico, prova tromografica o MASW). Nella carta sono ubicati tutti i punti di misura, distinguendoli in base al tipo d'indagine; a ciascuno è associato il corrispondente valore di Vs₃₀ (in m/s), dove:

$$V_{S_{30}} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{S_i}}}$$

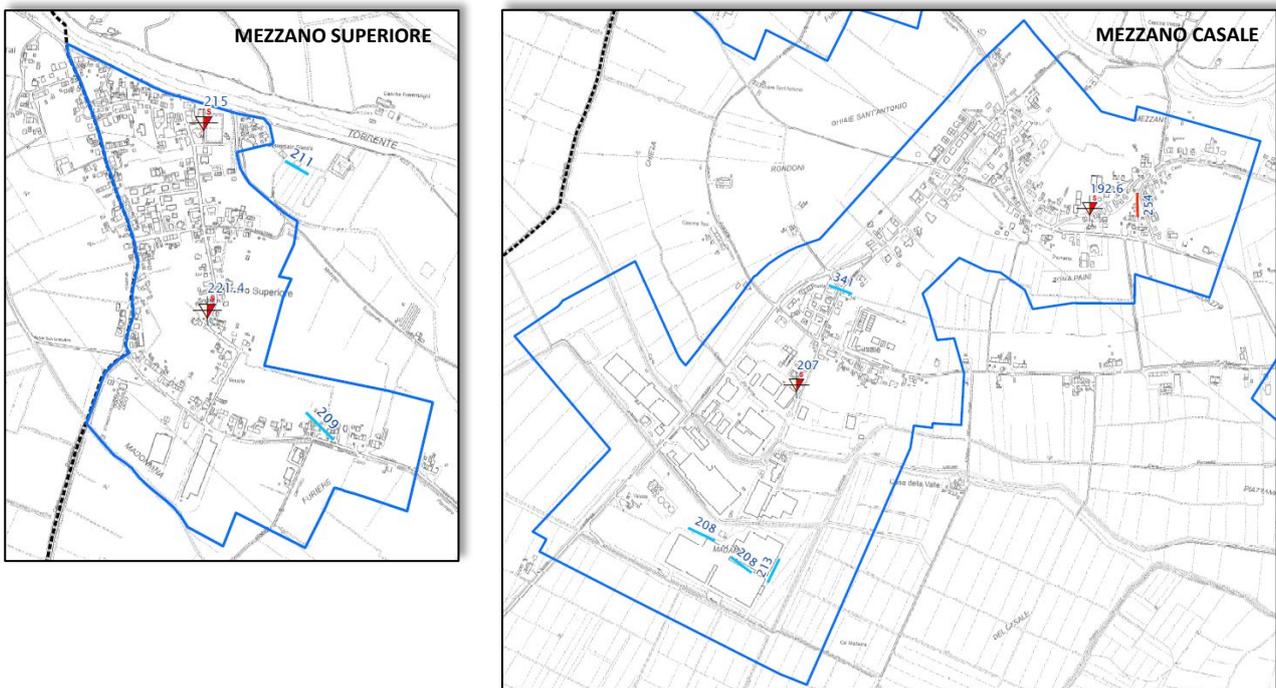
h_i = spessore (in metri) dello strato i-esimo (fino alla profondità di 30 m);
 V_{S_i} = velocità (in m/s) dello strato i-esimo (fino alla profondità di 30 m).

Non sono stati indicati valori di Vs_H in quanto si è ipotizzato che il substrato rigido sia localizzato a profondità maggiori di 50 metri, in considerazione del fatto che nelle misure HVSR eseguite nella MZS 2016, non sono stati riscontrati picchi H/V significativi alle medie frequenze.

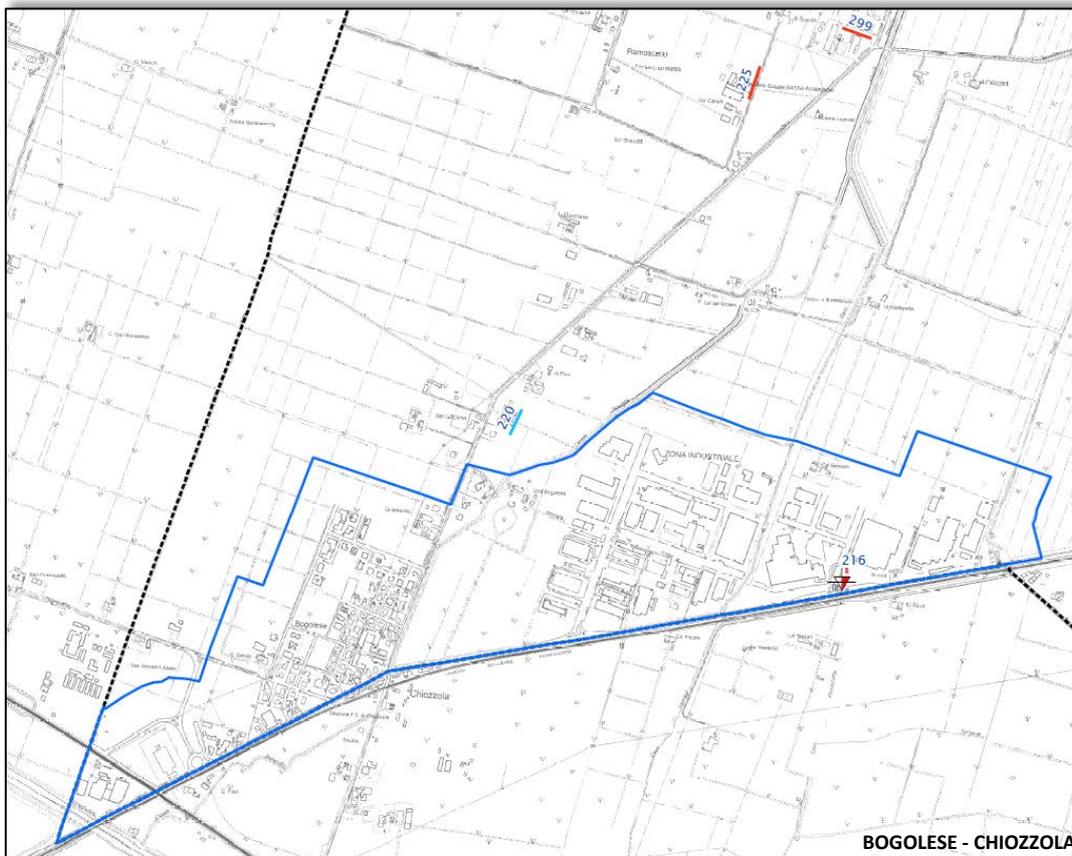
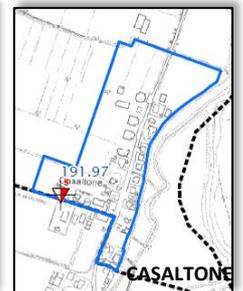
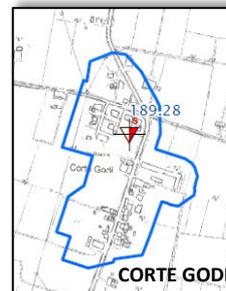
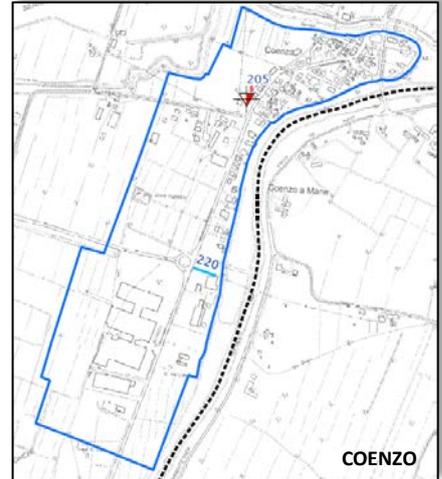
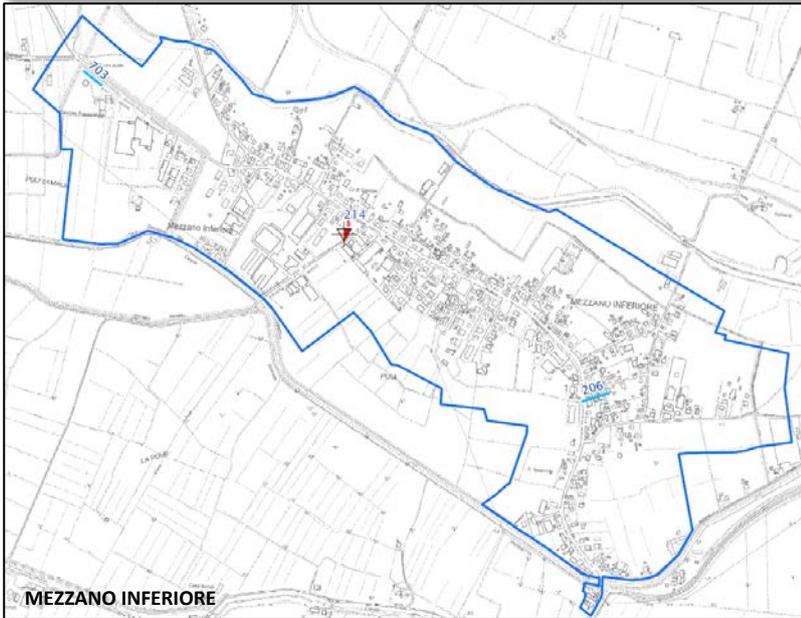
Per la stesura di questa carta, non essendo state eseguite nuove indagini specifiche, sono state utilizzate le indagini già reperite nell'archivio comunale, allegate a pratiche edilizie e le prove geofisiche eseguite a supporto degli Studi di MZS 2016. Facendo riferimento, in particolare, ai risultati di queste ultime indagini, dalle cartografie è possibile osservare valori di Vs₃₀ che risultano ricompresi nel range 185÷221 m/s per l'ex comune di Sorbolo e nel range 198÷341 m/s per l'ex comune di Mezzani.

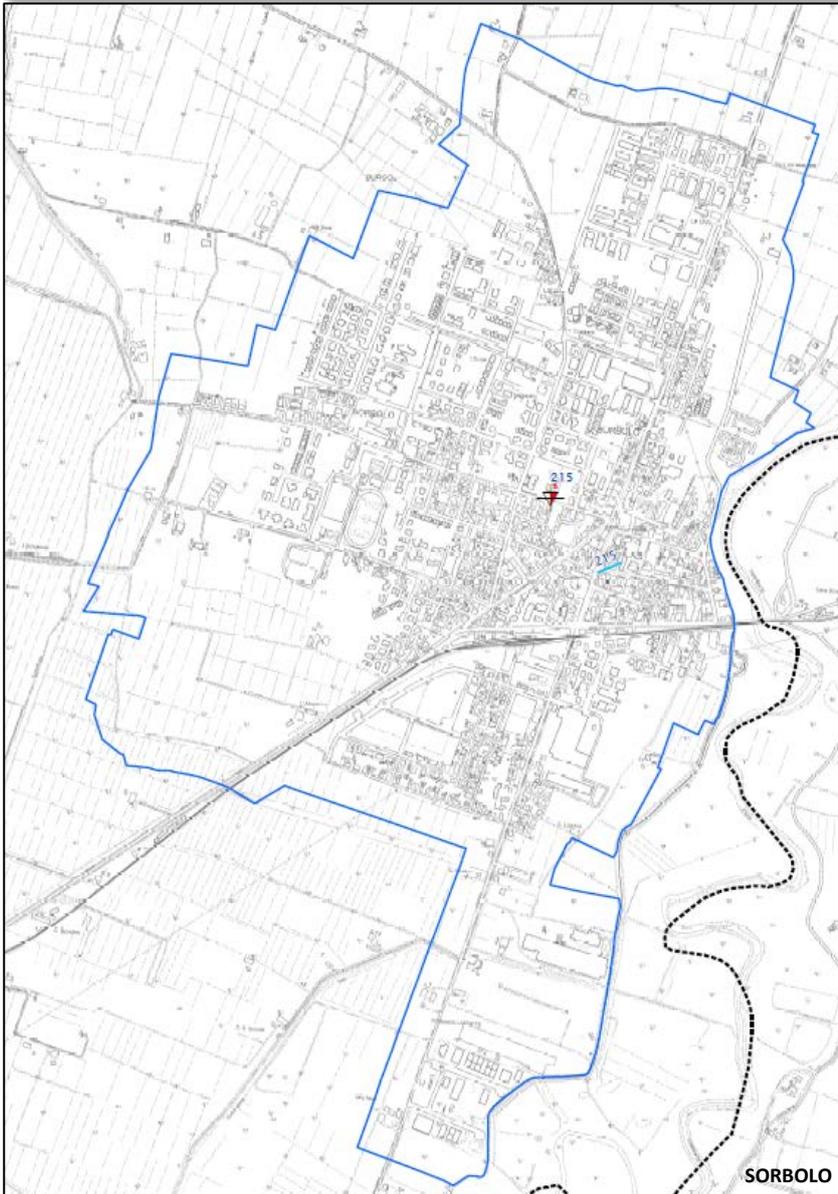
Nella figura seguente si riportano estratti della cartografia.

Figura 39 – Estratti Carta delle velocità delle onde di taglio



COMUNE DI SORBOLO MEZZANI - PROVINCIA DI PARMA
Microzonazione Sismica - APPROFONDIMENTO DI III LIVELLO
RELAZIONE ILLUSTRATIVA





Nel complesso, la V_{s30} media del territorio è prossima ai 244 m/s, con un valore medio di 262 m/s ottenuto dalle indagini MASW e SR e un valore più basso, di circa 200 m/s, ottenuto dalle indagini in SCPT.

9.1.4 Carta delle frequenze naturali dei terreni

Nella **Carta delle frequenze naturali dei terreni** sono stati riportati tutti i punti di misura (81 complessivamente di cui 41 per Sorbolo e 40 per Mezzani) derivanti dalle indagini della MS 2016, con associati i risultati delle singole prove. In particolare assumendo quanto già effettuato nei precedenti studi di MS, 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 inoltre tralasciati i picchi con frequenze superiori ai 20 Hz, in quanto di scarso significato ai fini della MZS. Per rendere graficamente più evidenti le variazioni in relazione alla posizione, sono state utilizzate colorazioni differenti per distinguere le prove a seconda della frequenza principale ottenuta, definendo le seguenti classi:

- $F_0 \leq 0,6$ Hz
- $0,6 \text{ Hz} < F_0 \leq 1$ 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, da un contrasto di impedenza elevato (ampiezza picco $HVSR \geq 3$), moderato (ampiezza picco $2 \leq HVSR < 3$), basso (ampiezza picco $1.5 \leq HVSR < 2$) o non significativo (ampiezza picco $H/V \leq 1.5$).

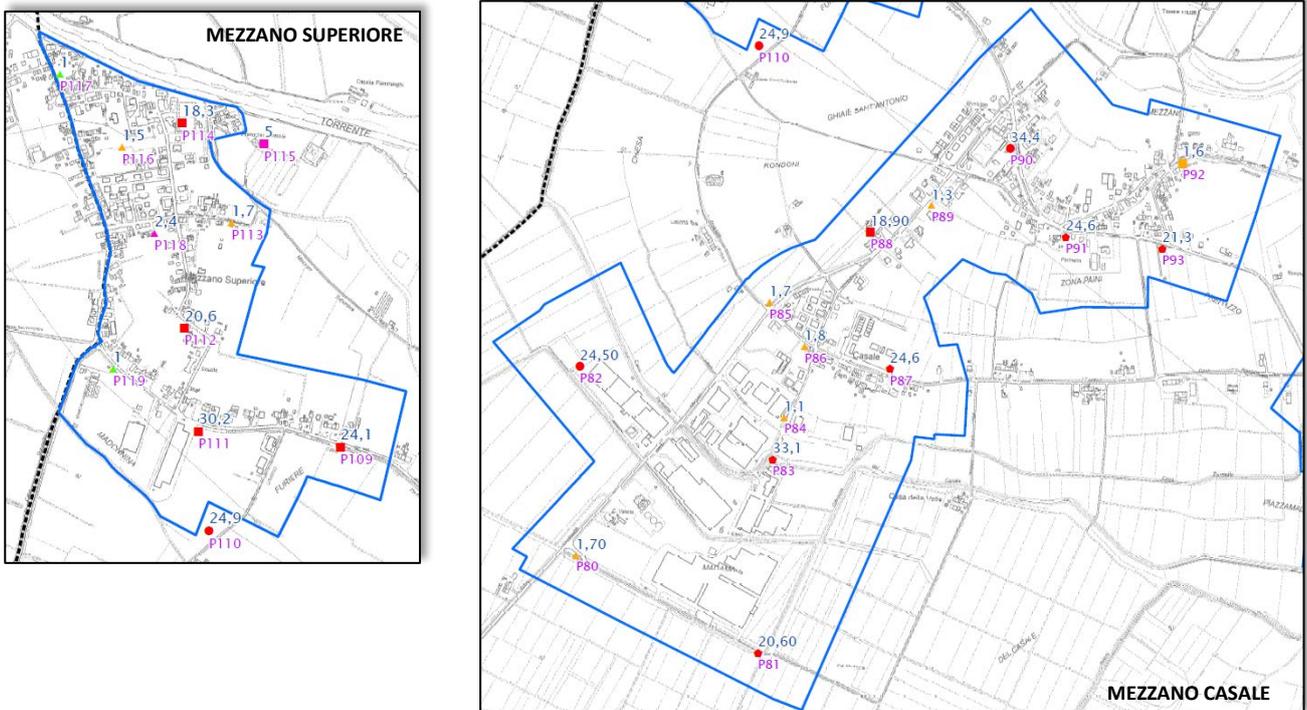
Dalla lettura della Carta delle frequenze naturali dei terreni, si osserva che, nel territorio comunale di Sorbolo Mezzani, predominando le prove con frequenze fondamentali appartenenti alla classe $F_0 > 8$ Hz, conseguenza del fatto che, spesso si registrano netti aumenti nel profilo delle Vs al passaggio suolo/sottosuolo, oltre a inversioni di velocità, coincidenti con la base della copertura sovraconsolidata, in grado di mascherare superfici d'impedenza più profonde.

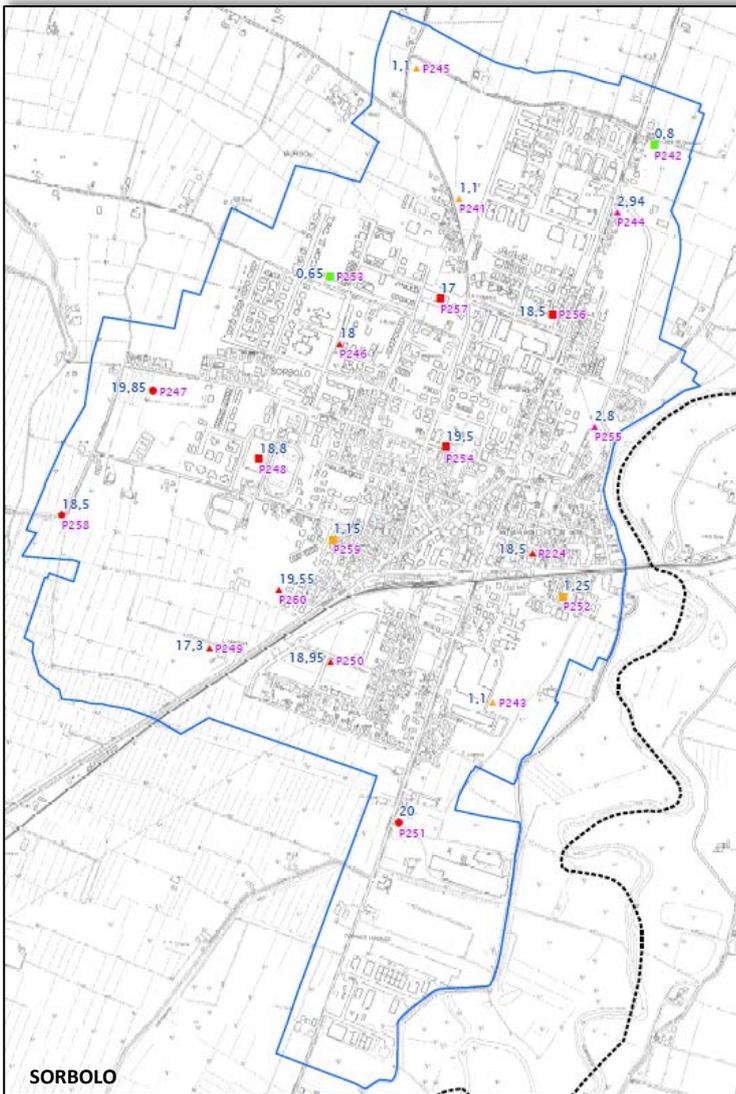
Ciononostante non è possibile effettuare una zonazione del territorio in classi di frequenza, in quanto, sono presenti anche numerose prove, che non hanno "disturbi" superficiali, con picchi a frequenze più basse.

Frequenze nell'intervallo tra 1 e 2 Hz si distribuiscono insieme alle altre, all'interno del territorio "urbanizzato" con amplificazioni che rimangono comprese prevalentemente tra 1 e 2. Le restanti classi ($0,6 \text{ Hz} < F_0 \leq 1 \text{ Hz}$ e $2 \text{ Hz} < F_0 \leq 8 \text{ Hz}$) sono distribuite negli stessi areali delle classi sopracitate ma in numero minore. La classe $F_0 \leq 0,6 \text{ Hz}$ invece non è presente.

Di seguito si riporta una riproduzione della cartografia.

Figura 40 – Estratti Carta delle frequenze naturali dei terreni





Frequenza picco significativo (Hz)	Ampiezza picco			
	< 1,5	1,5 ≤ H/V < 2	2 ≤ H/V < 3	≥ 3
0,6 < f ₀ ≤ 1	▲	■	◆	
1 < f ₀ ≤ 2	▲	■		
2 < f ₀ ≤ 8	▲	■		
f ₀ > 8	▲	■	◆	●

A lato del simbolo sono riportate le seguenti indicazioni:

1,7 frequenze del primo picco significativo

P85 numero del sito di indagine

9.1.5 Carta delle MOPS

La Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS), rappresenta il documento fondamentale del **primo livello di approfondimento**.

La Carta delle MOPS è stata realizzata all'interno del "Limite aree indagate" utilizzato in questo studio secondo quanto già definito in precedenza.

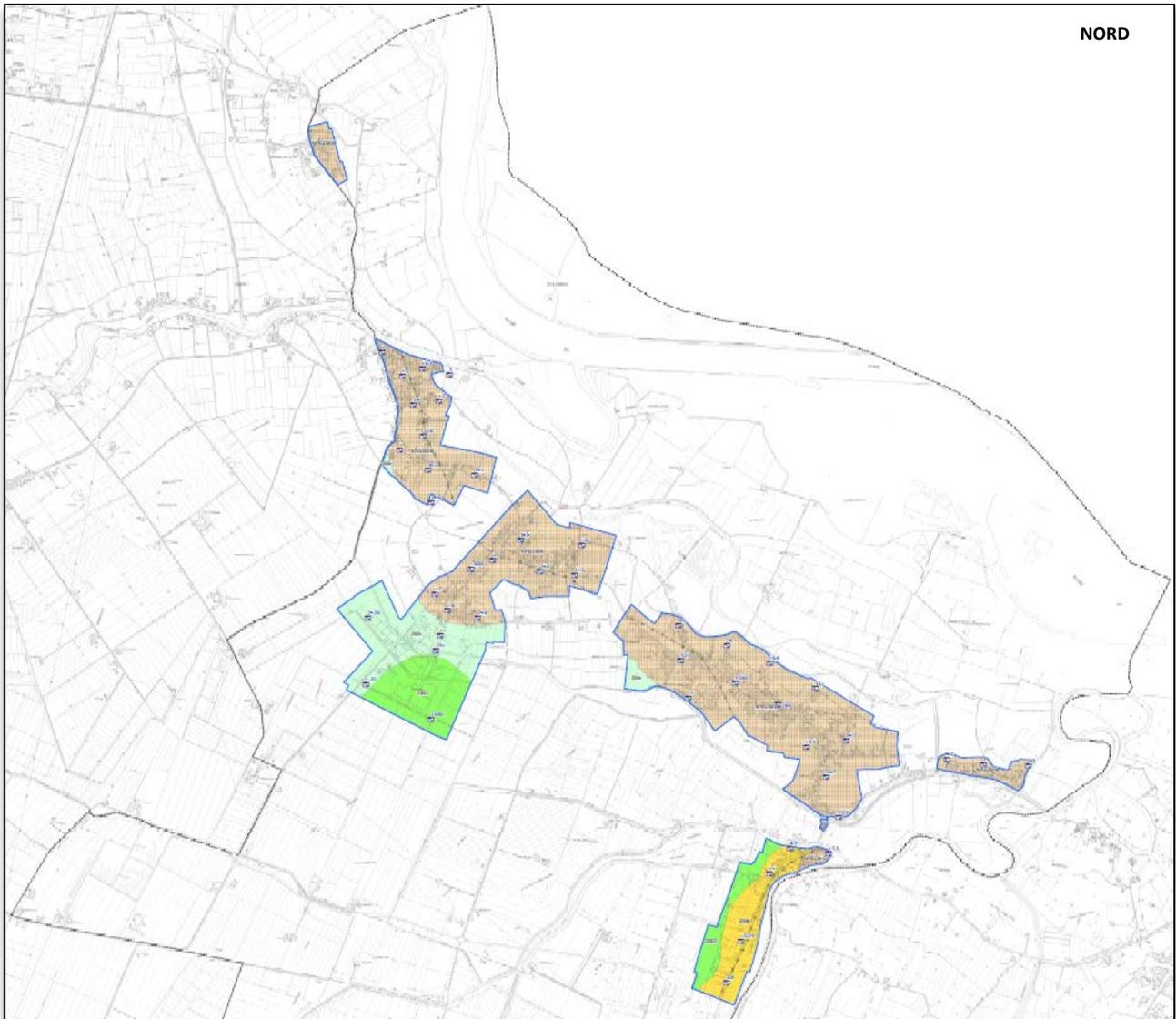
Nella cartografia il territorio in esame viene distinto a seconda dell'appartenenza a una delle seguenti categorie:

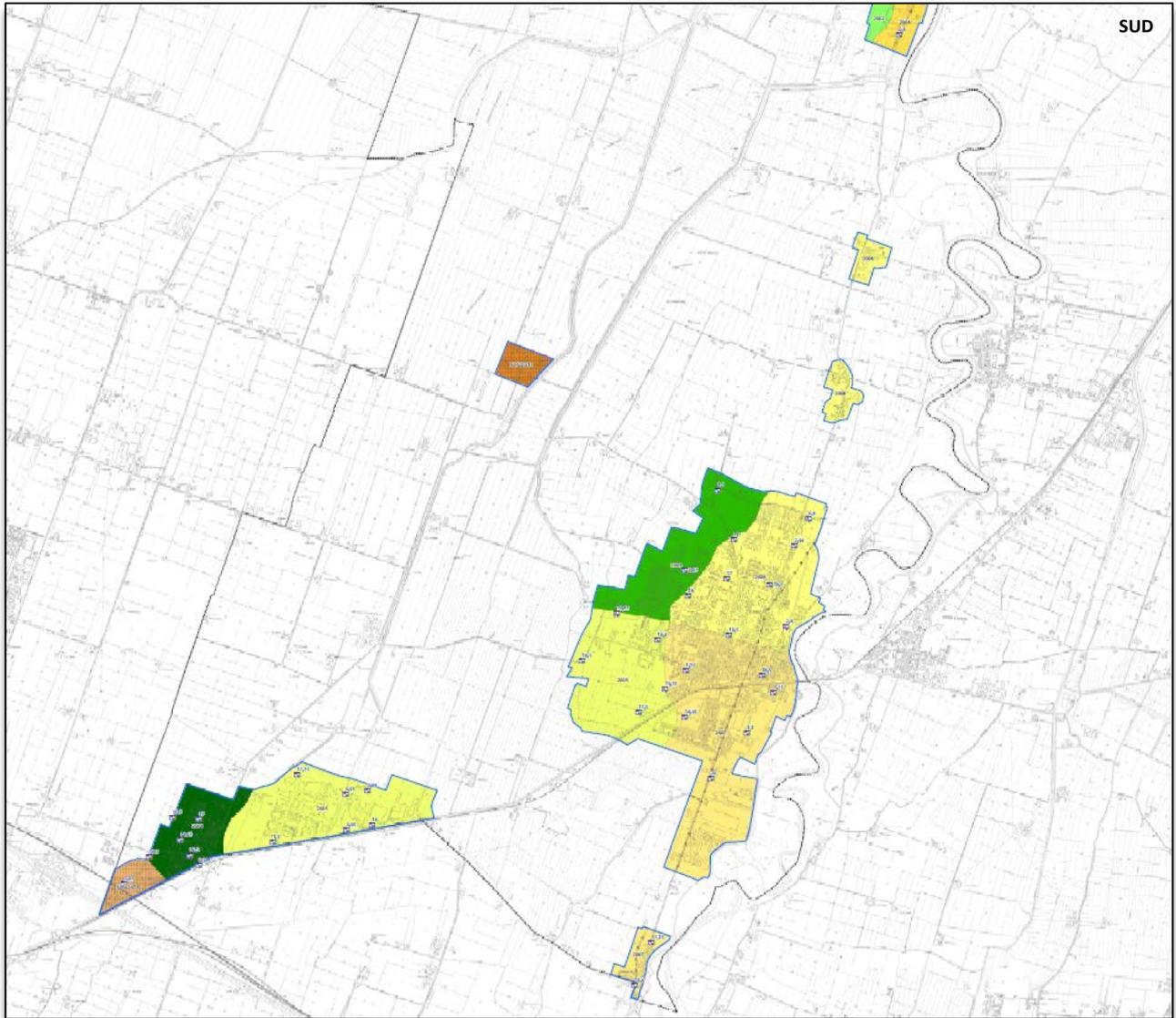
1. zone stabili suscettibili di amplificazioni locali. Si tratta di aree in cui sono attese amplificazioni del moto sismico, causate dall'assetto litostratigrafico e/o morfologico locale;

2. zone di attenzione per 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 liquefazioni e densificazione.

Di seguito si riporta una riproduzione della cartografia.

Figura 41 - Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)





Legenda

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

- 2001** Zona 1: Depositi alluvionali di piana inondabile, costituiti da argille limose a profondità variabili tra 5 e 10 m dal piano campagna; seguono sabbie da fini a grossolane con locali accumuli di depositi ghiaiosi per oltre 25-30 metri. $V_{s30} = 207$ m/sec.
- 2002** Zona 2: Nei primi 10-15 m dal piano campagna, presenza di depositi alluvionali di piana inondabile, costituiti, prevalentemente da argille inorganiche con intercalazioni decimetriche di argille limose e sabbiose. A seguire sabbie da fini a grossolane con locali accumuli di depositi ghiaiosi per oltre 25-30 metri. $208 \leq V_{s30} \leq 213$ m/sec.
- 2003** Zona 3: Nei primi 15-20 m dal piano campagna, presenza di depositi alluvionali di piana inondabile, costituiti, prevalentemente da argille inorganiche con intercalazioni decimetriche di argille limose e sabbiose. A seguire sabbie da fini a grossolane con locali accumuli di depositi ghiaiosi per oltre 25-30 metri.
- 2004** Zona 4: Nei primi 7-10 m dal piano campagna, presenza di argille limose di piana inondabile, con intercalazioni di sabbie miste a ghiaietto; seguono argille, argille limose e limi fino a profondità variabili tra 20-30 metri dal p.d.c. con isolati depositi torbosi e successivamente depositi sabbiosi da fini a grossolani di spessore variabile con isolati livelletti di ghiaia.
- 2005** Zona 5: Depositi alluvionali di piana inondabile nei primi 10-20 m dal piano campagna, costituiti da argille organiche seguiti da depositi sabbiosi da fini a grossolani di spessore variabile con isolati livelletti di ghiaia. $V_{s30} = 216$ m/sec.
- 2006** Zona 6: Nei primi 15-20 m dal piano campagna, presenza di depositi alluvionali di piana inondabile, costituiti prevalentemente da limi, limi argillosi, argille limose; seguono sabbie da fini a grossolane con locali accumuli di depositi ghiaiosi per oltre 25-30 metri. Area interessata dalla presenza di dosso fluviale del Fiume Enza. $189 \leq V_{s30} \leq 215$ m/sec.
- 2007** Zona 7: Nei primi 10-20 m dal piano campagna, presenza di depositi alluvionali di piana inondabile, costituiti prevalentemente da limi, limi argillosi, argille limose; seguono depositi sabbiosi da fini a grossolani di spessore variabile con livelletti di ghiaia. Area interessata dalla possibile presenza di dosso fluviale del Fiume Enza. $192 \leq V_{s30} \leq 215$ m/sec.
- 2008** Zona 8: Nei primi 10-15 m dal piano campagna, presenza di depositi alluvionali di piana inondabile, costituiti prevalentemente da limi, limi argillosi, argille limose; seguono sabbie da fini a grossolane con locali accumuli di depositi ghiaiosi per oltre 25-30 metri. Area interessata dalla possibile presenza di dosso fluviale del Fiume Enza. $205 \leq V_{s30} \leq 220$ m/sec.

Zone di attenzione per le instabilità

- 30502009** ZALQ - Zona di Attenzione per Liquefazioni - Zona 2009: Sabbie da fini a grossolane, con locali accumuli in profondità di depositi ghiaiosi per oltre 30 metri con a tetto depositi limosi di spessore variabile da un minimo di 2 a circa 10 metri; area interessata dalla presenza di dosso fluviale del Fiume Po. $192,6 \leq V_{s30} \leq 341$ m/sec.
- 30502010** ZALQ - Zona di Attenzione per Liquefazioni - Zona 2010: Nei primi 10 m dal piano campagna, presenza di depositi alluvionali di piana inondabile, costituiti, prevalentemente da limi, limi argillosi, argille limose; seguono sabbie da fini a grossolane con locali accumuli di depositi ghiaiosi per oltre 25-30 metri. Area interessata dalla presenza di dosso fluviale del Fiume Enza.
- 30502011** ZALQ - Zona di Attenzione per Liquefazioni - Zona 2011: Nei primi 6 m dal piano campagna, presenza di argille limose di piana inondabile, seguite da uno strato di 5-7 metri di sabbie miste a ghiaietto legate a un possibile dosso fluviale sepolto; seguono argille, argille limose e limi fino a profondità variabili tra 20-30 metri dal p.d.c. con isolati depositi torbosi e successivamente depositi sabbiosi da fini a grossolani di spessore variabile con isolati livelletti di ghiaia.
- 30502012** ZALQ - Zona di Attenzione per Liquefazioni - Zona 2012: Nei primi 6-7 m dal piano campagna, presenza di uno strato di sabbie limose legate a un possibile dosso fluviale sepolto; seguono argille e argille limose di piana inondabile con intercalazioni di livelli metrici di sabbie limose fino alla profondità di 20 m dal piano campagna.

Punti di misura di rumore ambientale

- 3,1**
 Punto di misura a stazione singola del microtremore ambientale, con identificazione del valore di f_0

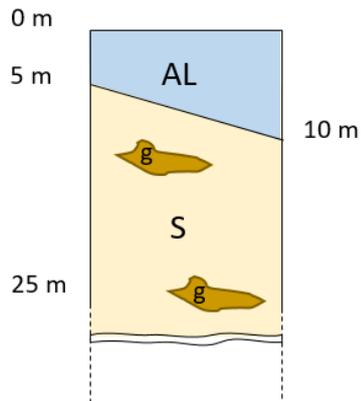
Forme di superficie e sepolte

-  Asse di paleoalveo
-  Limite area indagata
-  Confine comunale

A seguire, vengono descritti tutti i modelli sismostratigrafici che caratterizzano le microzone omogenee relative alle aree indagate del territorio comunale, costituite da 8 microzone stabili, suscettibili di amplificazione (zona 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007 e 2008) e da 4 microzone di attenzione per instabilità (zone 30502009, 30502010, 30502011 e 30502012).

I modelli sismostratigrafici si compongono del dato litostratigrafico descritto al capitolo 6, combinato alla velocità ponderata delle onde "S" nei primi 30 m ed alla possibilità che la stratigrafia sia o meno suscettibile di instabilità (ovvero liquefazione), ipotizzando anche l'intervallo di profondità più suscettibile al fenomeno.

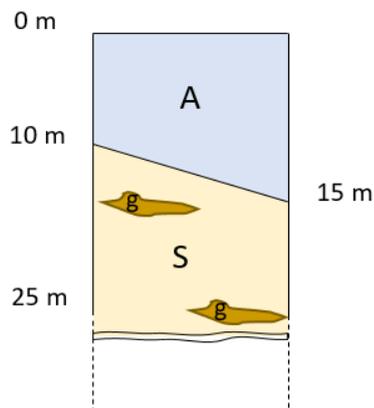
Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



2001

ZONA 1 Depositi alluvionali di piana inondabile, costituiti da argille limose (AL) a profondità variabili tra 5 e 10 m dal piano campagna; seguono sabbie (S) da fini a grossolane con locali accumuli di depositi ghiaiosi (g) per oltre 25-30 metri.

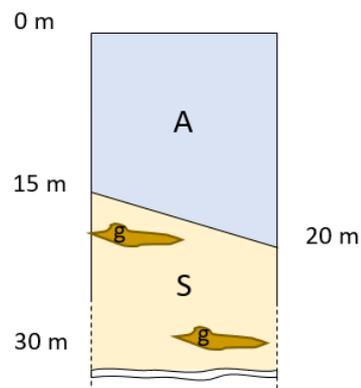
⇒ $V_{S30} = 207$ m/sec



2002

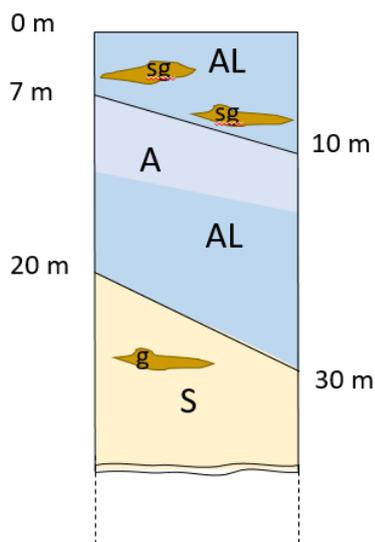
ZONA 2 - Nei primi 10-15 m dal piano campagna, presenza di depositi alluvionali di piana inondabile, costituiti, prevalentemente da argille inorganiche (A) con intercalazioni decimetriche di argille limose e sabbiose. A seguire sabbie (S) da fini a grossolane con locali accumuli di depositi ghiaiosi (g) per oltre 25-30 metri.

⇒ $208 \leq V_{S30} \leq 213$ m/sec.



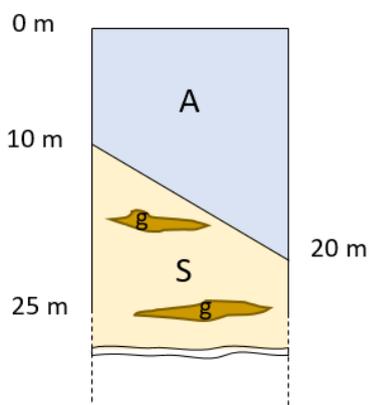
2003

ZONA 3 - Nei primi 15-20 m dal piano campagna, presenza di depositi alluvionali di piana inondabile, costituiti, prevalentemente da argille inorganiche (A) con intercalazioni decimetriche di argille limose e sabbiose. A seguire sabbie (S) da fini a grossolane con locali accumuli di depositi ghiaiosi (g) per oltre 25-30 metri.



2004

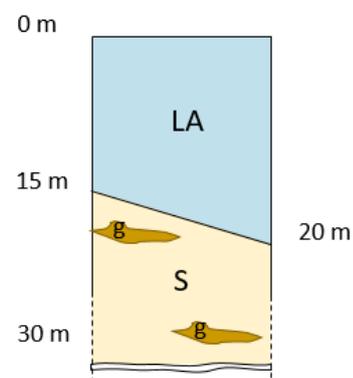
ZONA 4 - Nei primi 7-10 m dal piano campagna, presenza di argille limose (AL) di piana inondabile con intercalazioni di sabbie miste a ghiaietto (s/g), seguono argille, argille limose e limi (A, AL) fino a profondità variabili tra 20-30 metri dal p.d.c. con isolati depositi torbosi e successivamente depositi sabbiosi (S) da fini a grossolani di spessore variabile con isolati livelletti di ghiaia (g).



2005

ZONA 5 - Depositi alluvionali di piana inondabile nei primi 10-20 m dal piano campagna, costituiti da argille organiche (A) seguiti da depositi sabbiosi (S) da fini a grossolani di spessore variabile con isolati livelletti di ghiaia (g).

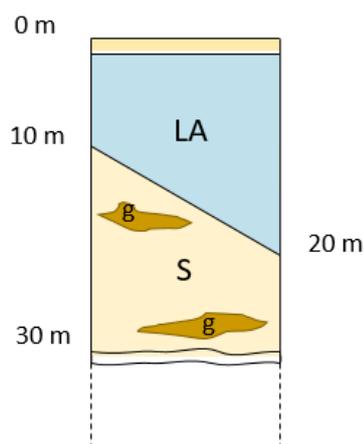
$$\Rightarrow V_{s30} = 216 \text{ m/sec}$$



2006

ZONA 6 - Nei primi 15-20 m dal piano campagna, presenza di depositi alluvionali di piana inondabile, costituiti prevalentemente da limi, limi argillosi, argille limose (LA); seguono sabbie (S) da fini a grossolane con locali accumuli di depositi ghiaiosi (g) per oltre 25-30 metri. Area interessata dalla presenza di dosso fluviale del Fiume Enza.

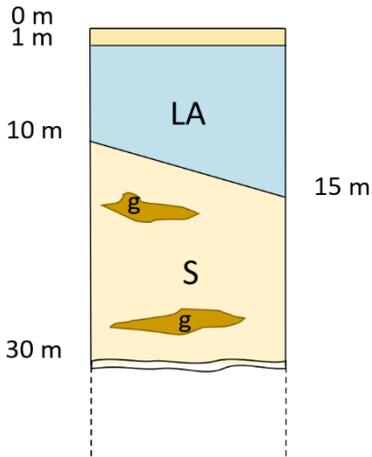
$$\Rightarrow 189 \leq V_{s30} \leq 215 \text{ m/sec.}$$



2007

ZONA 7 - Nei primi 10-20 m dal piano campagna, presenza di depositi alluvionali di piana inondabile, costituiti prevalentemente da limi, limi argillosi, argille limose (LA); seguono depositi sabbiosi (S) da fini a grossolani di spessore variabile con livelletti di ghiaia (g). Area interessata dalla possibile presenza di dosso fluviale del Fiume Enza.

$$\Rightarrow 192 \leq V_{s30} \leq 215 \text{ m/sec.}$$

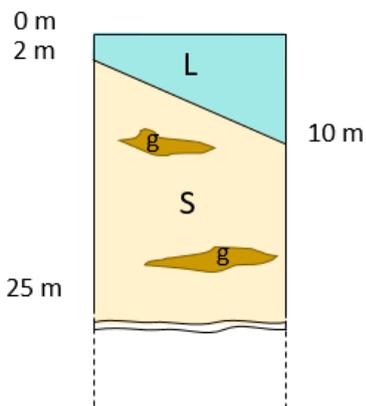


2008

ZONA 8 - Nei primi 10-15 m dal piano campagna, presenza di depositi alluvionali di piana inondabile, costituiti prevalentemente da limi, limi argillosi, argille limose (LA); seguono sabbie (S) da fini a grossolane con locali accumuli di depositi ghiaiosi (g) per oltre 25-30 metri. Area interessata dalla possibile presenza di dosso fluviale del Fiume Enza.

⇒ $205 \leq V_{s30} \leq 220$ m/sec.

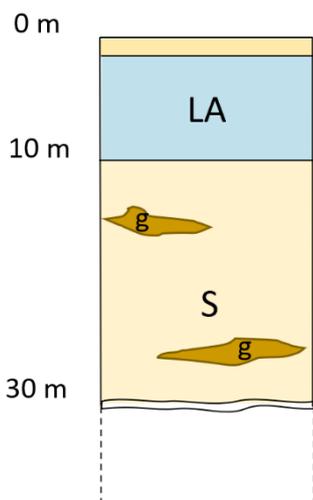
Zone di attenzione per instabilità



30502009

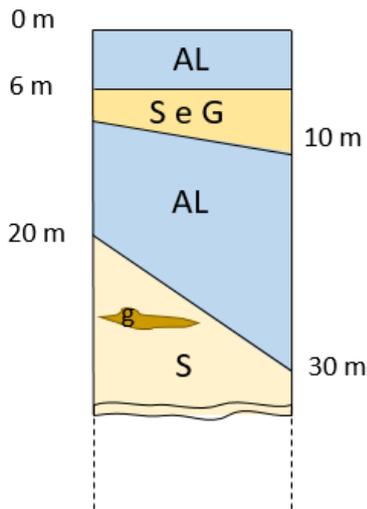
ZALQ - Zona di Attenzione per Liquefazioni - ZONA 2009: Sabbie da fini a grossolane (S), con locali accumuli in profondità di depositi ghiaiosi (g) per oltre 30 metri, con a tetto depositi limosi (L) di spessore variabile da un minimo di 2 a circa 10 metri; area interessata dalla presenza di dosso fluviale del Fiume Po.

⇒ $192.6 \leq V_{s30} \leq 341$ m/sec.



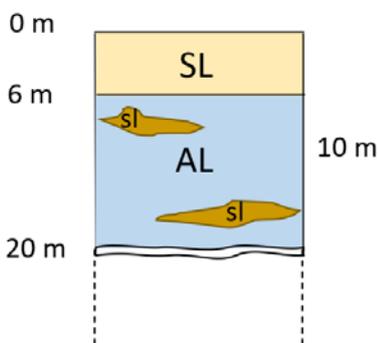
30502010

ZALQ - Zona di Attenzione per Liquefazioni - ZONA 2010: Nei primi 10 m dal piano campagna, presenza di depositi alluvionali di piana inondabile, costituiti prevalentemente da limi, limi argillosi, argille limose (LA); seguono sabbie (S) da fini a grossolane con locali accumuli di depositi ghiaiosi (g) per oltre 25-30 metri. Area interessata dalla presenza di dosso fluviale del Fiume Enza.



30502011

ZALQ - Zona di Attenzione per Liquefazioni - ZONA 2011: Nei primi 6 m dal piano campagna, presenza di argille limose (AL) di piana inondabile, seguite da uno strato di 5-7 metri di sabbie miste a ghiaietto (S e G) legate a un possibile dosso fluviale sepolto; seguono argille, argille limose e limi (AL) fino a profondità variabili tra 20-30 metri dal p.d.c. con isolati depositi torbosi e successivamente depositi sabbiosi (S) da fini a grossolani di spessore variabile con isolati livelletti di ghiaia (g).



30502012

ZALQ - Zona di Attenzione per Liquefazioni - ZONA 2012: Nei primi 6-7 m dal piano campagna, presenza di uno strato di sabbie limose (SL) legata a un possibile dosso fluviale sepolto; seguono argille e argille limose (AL) di piana inondabile con intercalazioni di livelli metrici di sabbie limose (sl) fino alla profondità di 20 m dal piano campagna.

9.2 Elaborati cartografici di III LIVELLO

Le cartografie che compongono la microzonazione di III livello sono 12, in base a quanto richiesto dalla DGR 630/2019, aggiornamento 476/2021, integrata con D.G.R. n. 564/2021 e vengono di seguito elencate; esse riguardano il territorio urbanizzato perimetrato ai sensi della L.R. 24/2017, le parti del territorio extraurbano, contermini al territorio urbanizzato, che non presentano fattori preclusivi o fortemente limitanti alle trasformazioni urbane, le aree permeabili collocate all'interno del territorio urbanizzato, non dotate di infrastrutture per l'urbanizzazione degli insediamenti e gli agglomerati posti in territorio rurale di dimensioni significative (Frassinara).

1. Carta dei fattori di amplificazione della PGA
2. Carta dei fattori di amplificazione dello spettro di risposta in accelerazione nell'intervallo 0,1-0,5 sec.
3. Carta dei fattori di amplificazione dello spettro di risposta in accelerazione nell'intervallo 0,4-0,8 sec.
4. Carta dei fattori di amplificazione dello spettro di risposta in accelerazione nell'intervallo 0,7-1,1 sec.
5. Carta dei fattori di amplificazione dello spettro di risposta in accelerazione nell'intervallo 0,5-1,5 sec.
6. Carta dei fattori di amplificazione dello spettro di risposta in velocità (Intensità di Housner) nell'intervallo 0,1-0,5 sec.
7. Carta dei fattori di amplificazione dello spettro di risposta in velocità (Intensità di Housner) nell'intervallo 0,5-1,0 sec.
8. Carta dei fattori di amplificazione dello spettro di risposta in velocità (Intensità di Housner) nell'intervallo 0,5-1,5 sec.
9. Carta dello scuotimento in accelerazione atteso al sito, in valore assoluto (cm/sec²), nell'intervallo 0,1-0,5 sec.
10. Carta dello scuotimento in accelerazione atteso al sito, in valore assoluto (cm/sec²), nell'intervallo 0,4-0,8 sec.

11. Carta dello scuotimento in accelerazione atteso al sito, in valore assoluto (cm/sec²), nell'intervallo 0,7-1,1 sec.
12. Carta dello scuotimento in accelerazione atteso al sito, in valore assoluto (cm/sec²), nell'intervallo 0,5-1,5 sec.

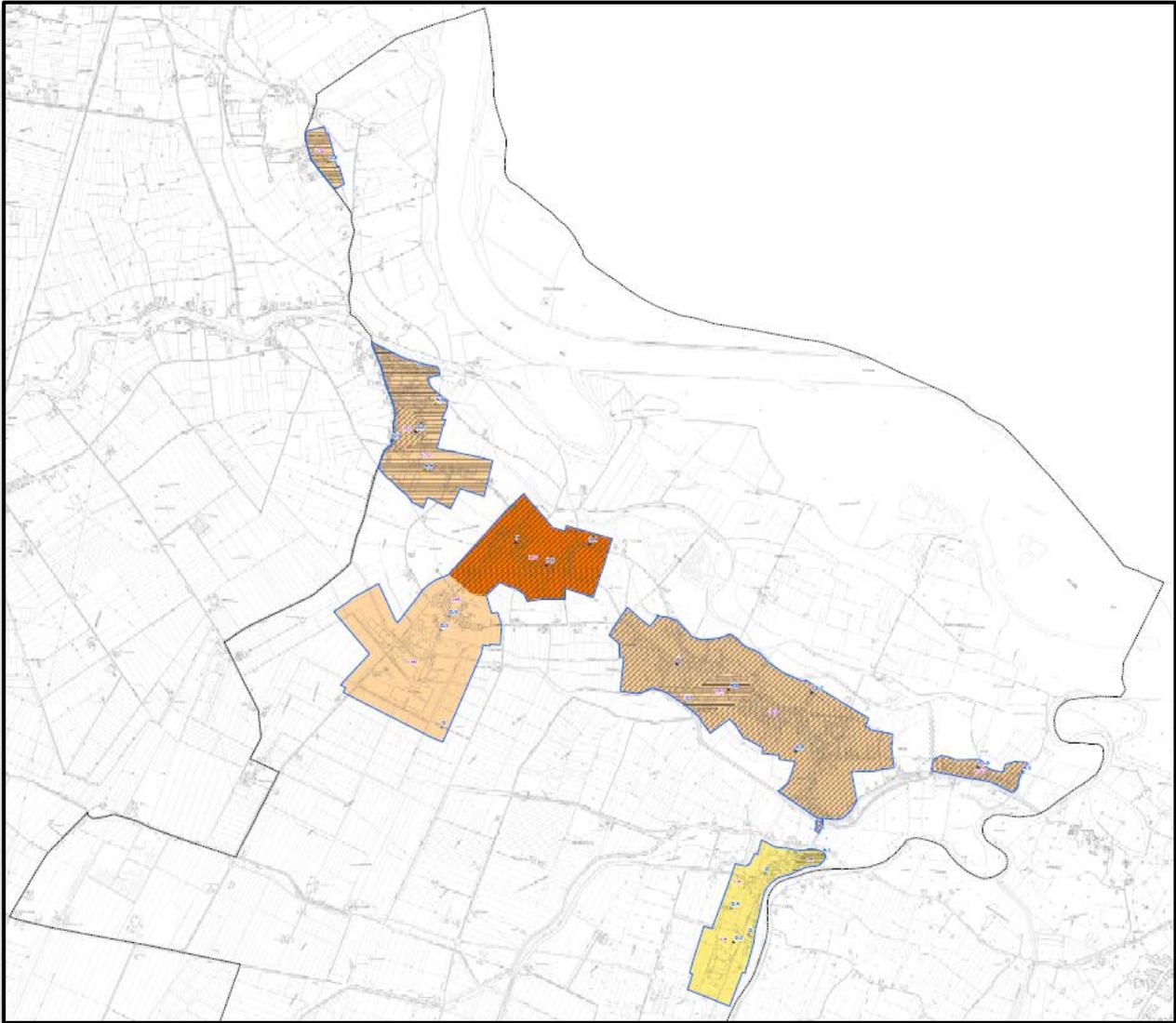
Di seguito vengono descritti brevemente i contenuti delle le seguenti cartografie:

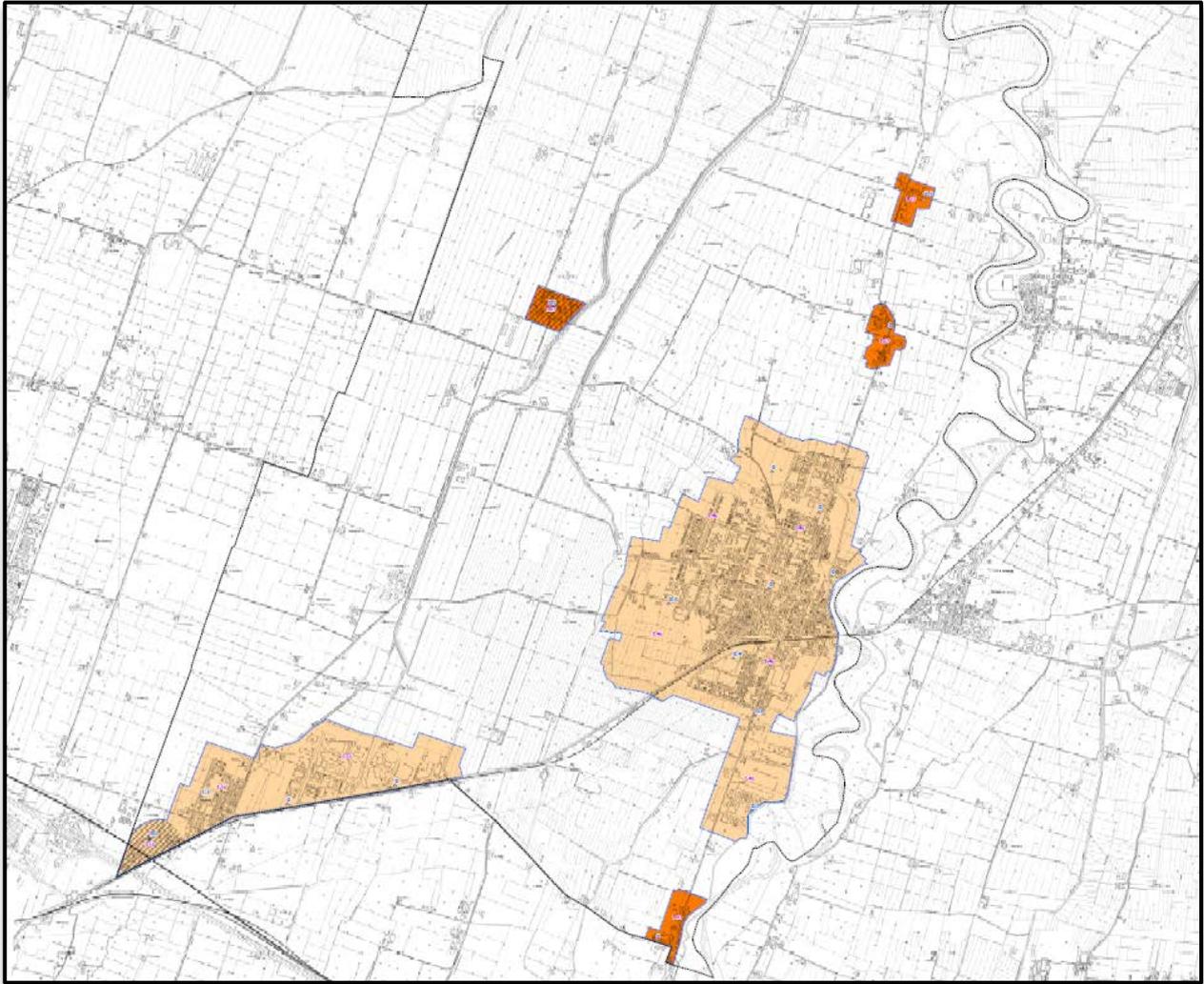
1. Carta dei fattori di amplificazione della PGA,
2. Carta dell'Intensità di Housner nell'intervallo 0,1-0,5 sec. (SI1),
3. Carta dello scuotimento in accelerazione atteso al sito, in valore assoluto (cm/sec²), nell'intervallo 0,1-0,5 sec. (H_{SM}).

Carta dei fattori di amplificazione della PGA, riportata nella Figura seguente: risultano "Zone stabili" gli abitati di Mezzano Casale – parte sud, Coenzo, Sorbolo, le frazioni di Corte Godi, Alba e Casaltone, la quasi totalità di Chiozzola-Bogolese; l'area di Coenzo risulta essere quella a classe di amplificazione litostratigrafica più bassa con valori di FPGA compresi tra 1.3 – 1.4 secondi.

Tutti i centri abitati a nord, oltre alla località Frassinara e l'estremità sud-occidentale di Bogolese, risultano invece "Zone suscettibili di instabilità", con l'abitato di Mezzano Casale – zona nord che presenta i valori più elevati di FPGA (1.7 - 1.8 secondi).

Figura 42 - Carta dei fattori di amplificazione della PGA





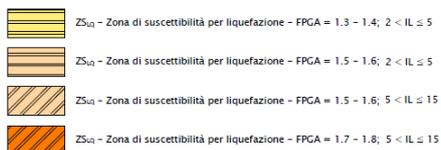
Legenda



Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

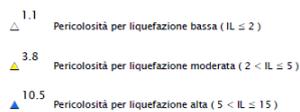


Zone suscettibili di instabilità (Livello 3)



Valore puntuale dell'Indice di Liquefazione IL (Sonmez, 2003)

Verifiche (CPTu/SCPTu)



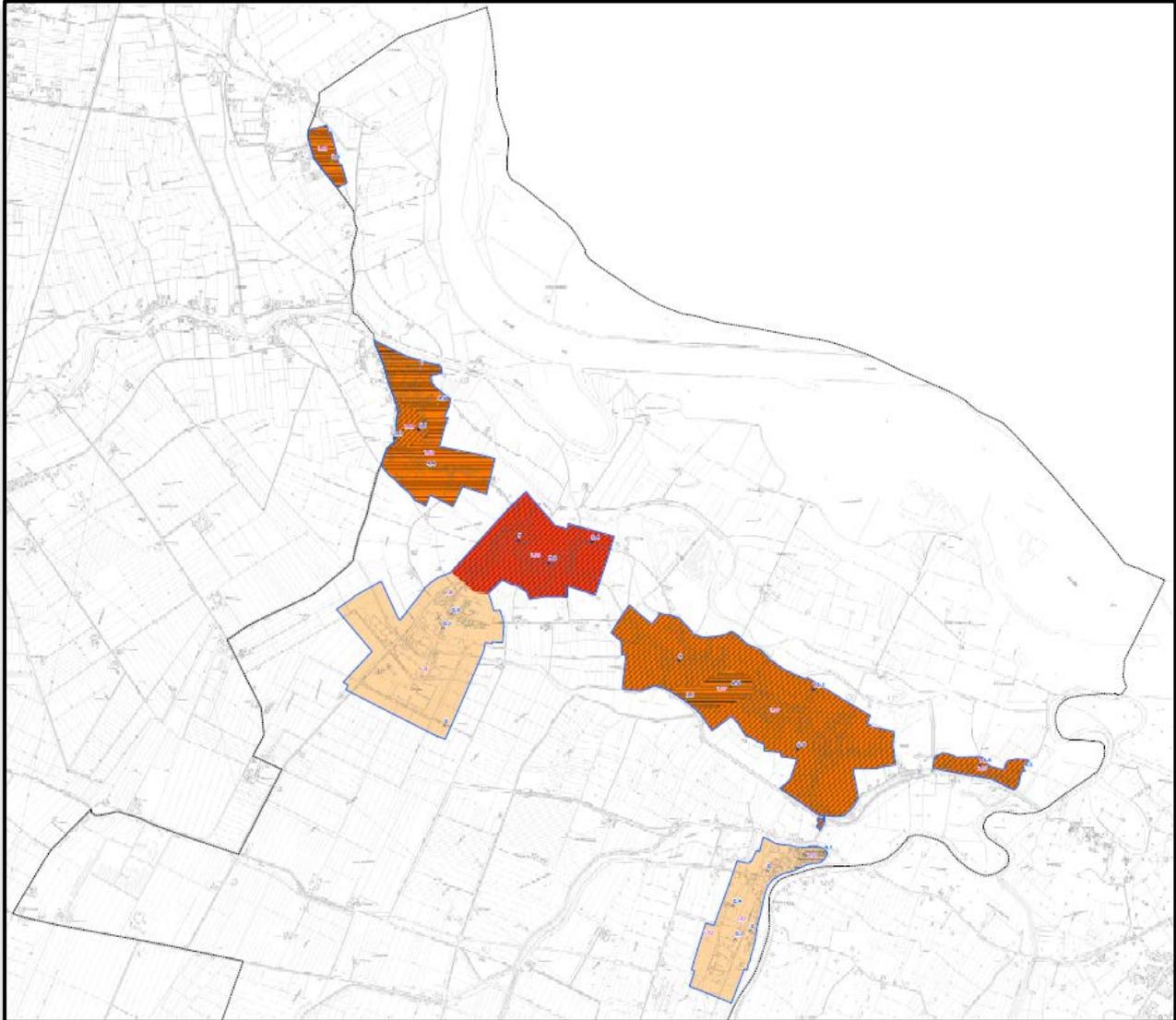
 Limite aree indagate

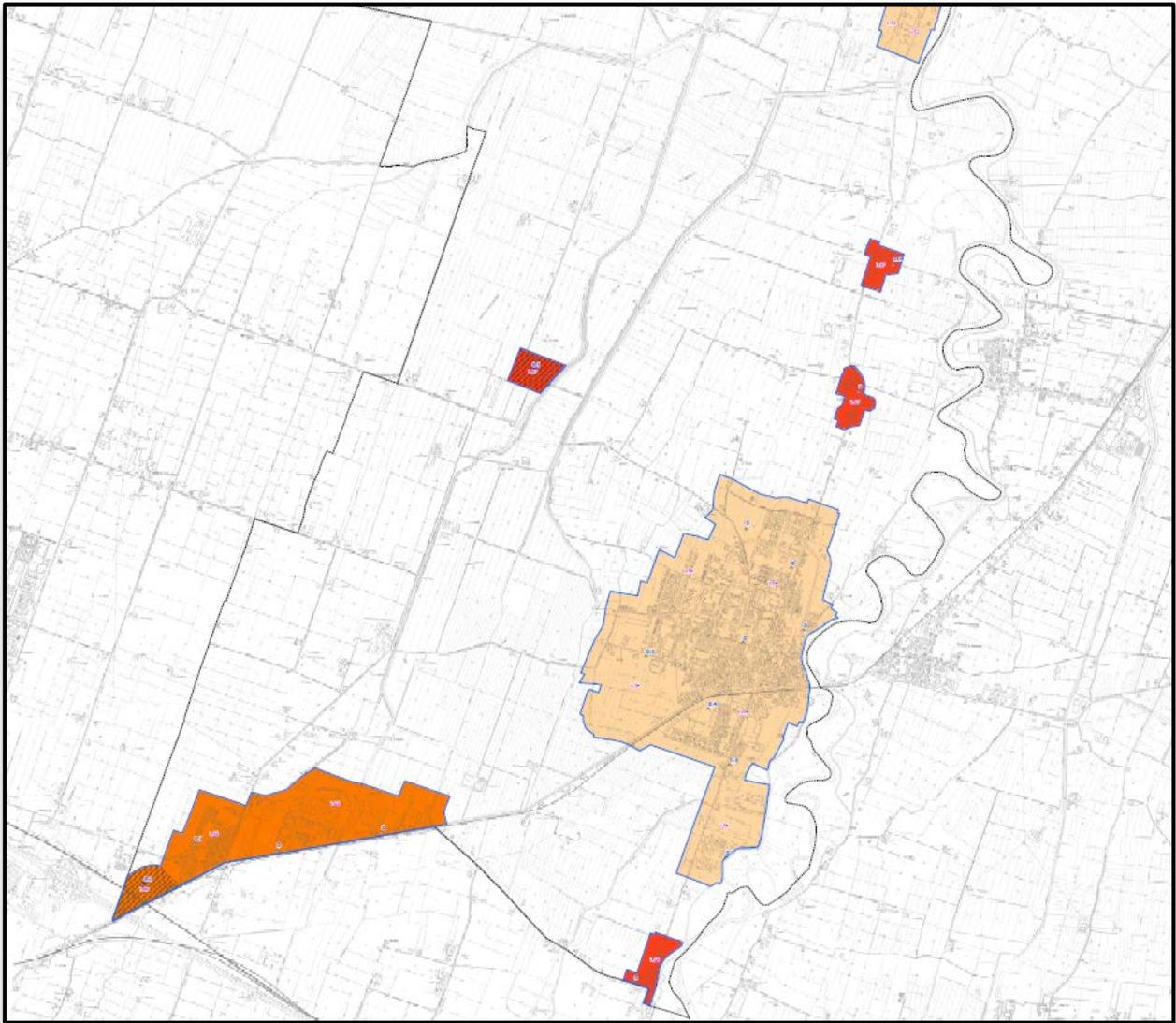
 Confine comunale

Nella **Carta dei fattori di amplificazione dell'intensità di Housner (periodi 1.0 – 05)**, rappresentata nella figura seguente, le differenze nei valori di amplificazione risultano essere maggiormente marcate, in termini

di classi, tra le diverse aree del territorio: ad eccezione della zona sud di Mezzano Casale e la quasi totalità dell'abitato di Coenzo, tutta la fascia nord caratterizzata da Zone suscettibili di instabilità, si colloca nella classe tra 1.7 – 1.8 e 1.9 – 2.0 s; tra le Zone stabili, si evidenzia una sostanziale differenza di classe tra Sorbolo (1.5 – 1.6 s), l'area di Chiozzola-Bogolese (1.7 – 1.8 s) e le frazioni di Casaltone, Alba e Corte Godi, dove si riscontrano i valori più elevati (1.9 – 2.0 s). Nella zona centro meridionale, le aree che presentano instabilità sono l'abitato di Frassinara, con i valori più alti e la porzione sud ovest di Bogolese.

Figura 43 - Carta dei fattori di amplificazione dell'Intensità di Housner nei periodi 0,1-0,5 sec.





Legenda

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali

-  FH0105 = 1.5 - 1.6
-  FH0105 = 1.7 - 1.8
-  FH0105 = 1.9 - 2.0

Zone suscettibili di instabilità (Livello 3)

-  ZS₀ - Zona di suscettibilità per liquefazione - FH0105 = 1.5 - 1.6; 2 < IL ≤ 5
-  ZS₀ - Zona di suscettibilità per liquefazione - FH0105 = 1.7 - 1.8; 2 < IL ≤ 5
-  ZS₀ - Zona di suscettibilità per liquefazione - FH0105 = 1.7 - 1.8; 5 < IL ≤ 15
-  ZS₀ - Zona di suscettibilità per liquefazione - FH0105 = 1.9 - 2.0; 5 < IL ≤ 15

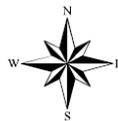
Valore puntuale dell'Indice di Liquefazione IL (Sonmez, 2003)

Verifiche (CPTu/SCPTu)

-  1.1 Pericolosità per liquefazione bassa (IL ≤ 2)
-  3.8 Pericolosità per liquefazione moderata (2 < IL ≤ 5)
-  10.5 Pericolosità per liquefazione alta (5 < IL ≤ 15)

 Limite aree indagate

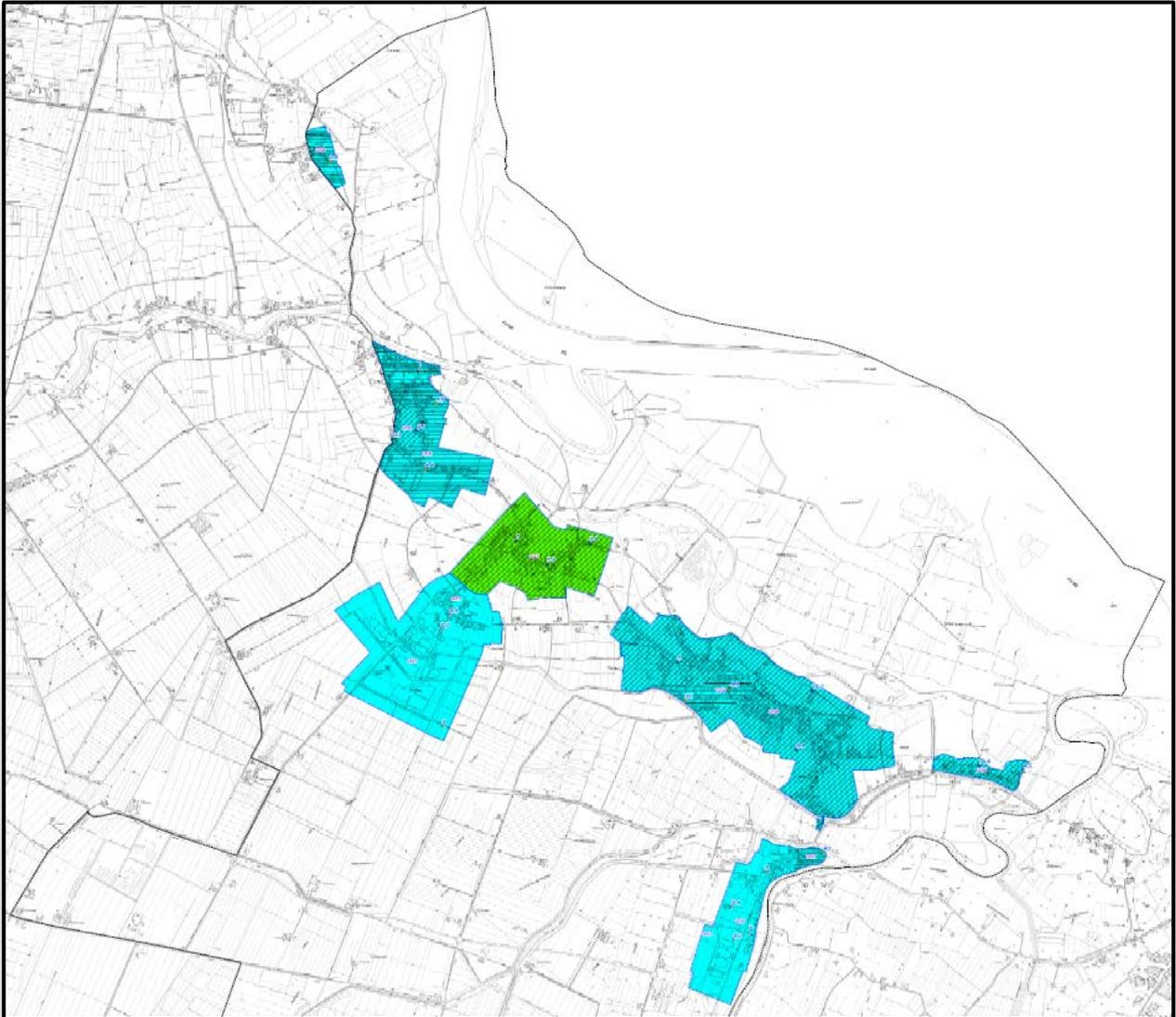
 Confine comunale

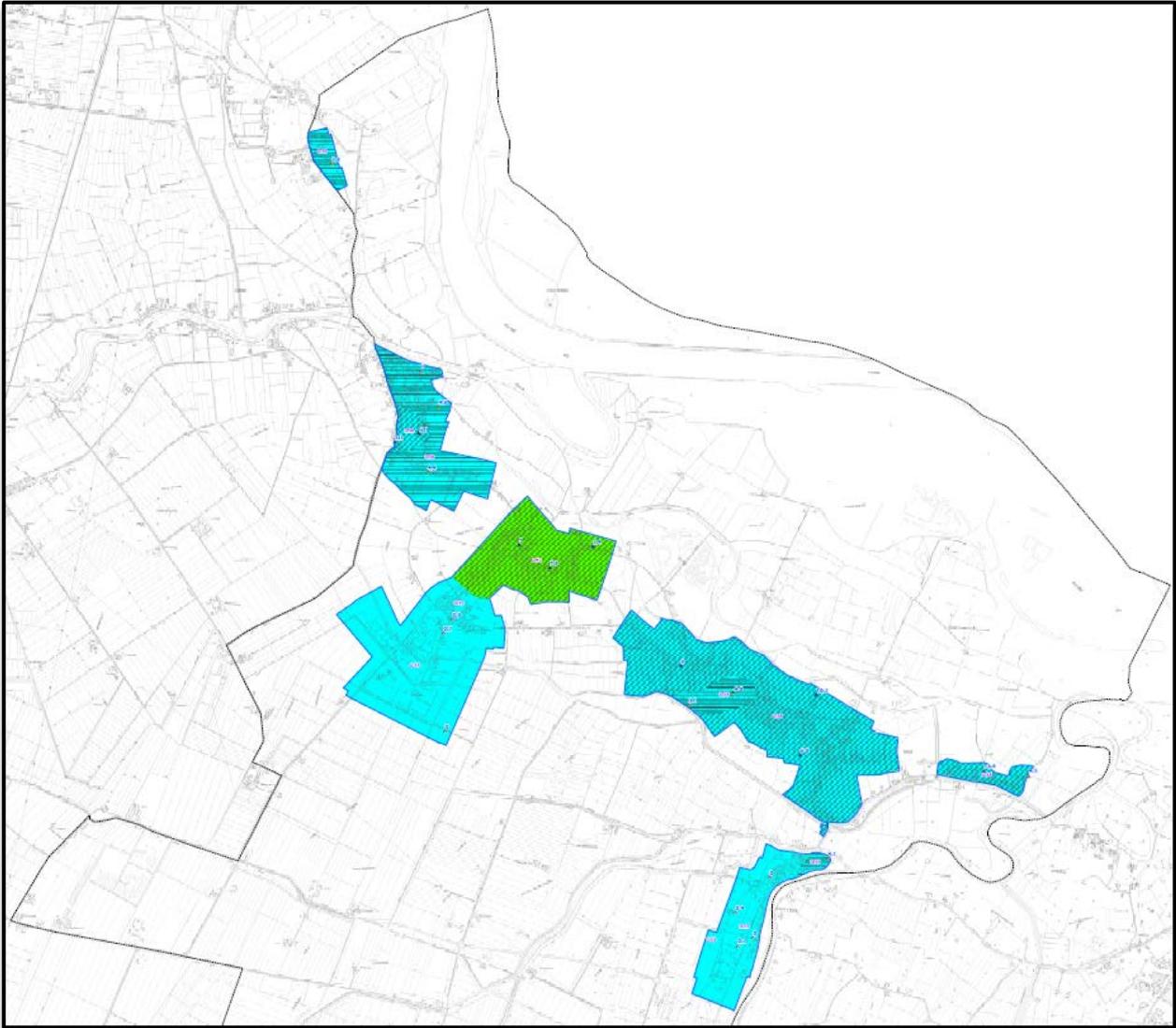


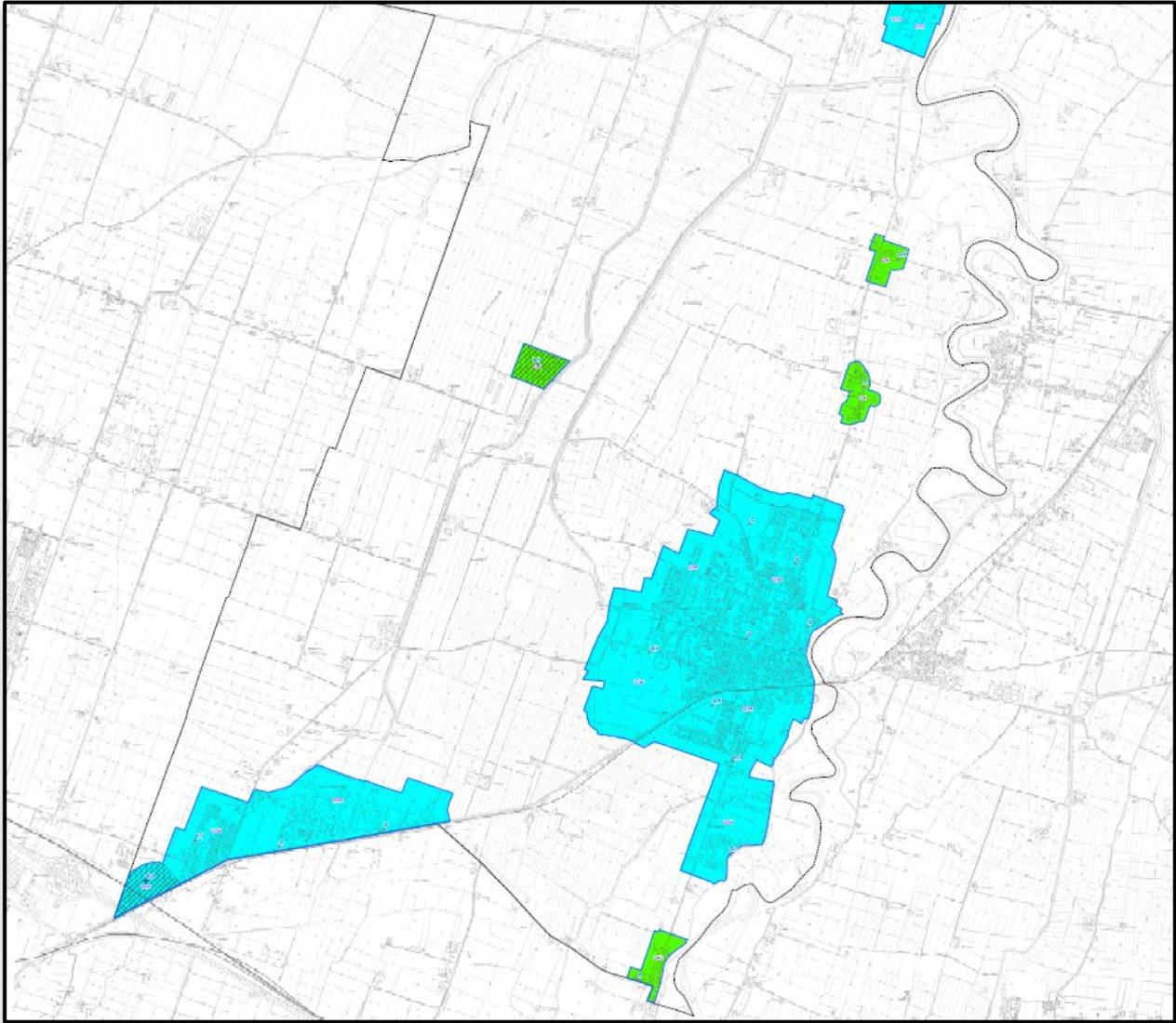
La **Carta dello scuotimento in accelerazione atteso al sito, in valore assoluto (cm/sec²), nell'intervallo 0,1-0,5 sec. (HSM)** mostra come i valori siano sostanzialmente uniformi su buona parte del territorio comunale, compresi tra 0.22g e 0.38g; solo in alcune zone (Mezzano Casale – nord e frazioni di Alba, Corte Godi, Frassinara, Casaltone) i valori di HSM risultano compresi tra 0.39g e 0.54g.

In generale, lo scuotimento atteso è indicativo di un livello di pericolosità sismica “moderata” per l'intero territorio comunale, che prevede un danno potenziale da “moderato-basso” a “moderato” ed equiparabile ad un'intensità strumentale da VII a VIII grado della Scala Mercalli.

Figura 44 - Carta dello scuotimento in accelerazione atteso al sito, in valore assoluto (cm/sec²), nell'intervallo 0,1-0,5 sec. (HSM).

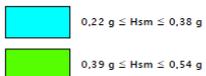




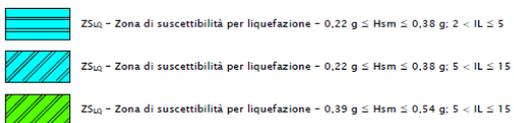


Legenda

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



Zone suscettibili di instabilità (Livello 3)



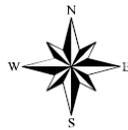
Valore puntuale dell'Indice di Liquefazione IL (Sonmez, 2003)

Verifiche (CPTu/SCPTu)

- 1.1
△ Pericolosità per liquefazione bassa ($IL \leq 2$)
- 3.8
▲ Pericolosità per liquefazione moderata ($2 < IL \leq 5$)
- 10.5
▲ Pericolosità per liquefazione alta ($5 < IL \leq 15$)

Limite aree indagate

Confine comunale



10 BIBLIOGRAFIA

- Albarelo D., Cesi C., Eulilli V., Guerrini F., Lunedei E., Paolucci E., Pileggi D., Puzilli L.M., 2011. *The contribution of the ambient vibration prospecting in seismic microzoning: an example from the area damaged by the 26th April 2009 l'Aquila (Italy) earthquake*, *Boll. Geofis. Teor. Appl.*, 52, 3, 513-538, DOI 10.4430/bgta0013.
- Boccaletti, M., Bonini, M., Corti, G., Gasperini, P., Martelli, L., Piccardi, L., Severi, P., Vannucci, G., 2004. *Carta sismotettonica della Regione Emilia-Romagna, scala 1:250.000 - Note illustrative (M. Boccaletti & L. Martelli (eds.))*. Servizio Geologico, sismico e dei suoli - Regione Emilia-Romagna, S.EL.CA. Firenze.
- Boccaletti, M., Corti, G., Martelli, L., 2011. *Recent and active tectonics of the external zone of the Northern Apennines (Italy)*. *Int J Earth Sci (Geol Rundsch)* 100, 1331–1348.
- Bonini, M., 2007. *Interrelations of mud volcanism, fluid venting, and thrust-anticline folding: Examples from the external northern Apennines (Emilia-Romagna, Italy)*. *J. Geophys. Res. Solid Earth* 112, DOI: 10.1029/2006JB004859.
- Bonini, M. 2008. *Elliptical mud volcano caldera as stress indicator in an active compressional setting (Nirano, Pedemontane margin, northern Italy)*. *Geology* 36, 2, 131-134.
- Bonini, M., Tanini, C., 2009. *Tectonics and quaternary evolution of the Northern Apennines watershed area (upper course of Arno and Tiber rivers, Italy)*. *Geol. J.* 44, 2–29.
- Boulanger, R.W., Idriss, I.M., 2014. *CPT and SPT based liquefaction triggering procedures*. Davis, California.
- Cassano E., Anelli L., Fichera R., Cappelli V., 1986. *Pianura Padana. Interpretazione integrata di dati geofisici e geologici - 73° Congresso Società Geologica Italiana, 29 Settembre - 4 ottobre 1986 Roma*.
- Cremaschi M., Marchetti G., Dall'aglio P.L., 1988. *Direttrici di traffico. I. Il settore emiliano - in: Studi e documenti di archeologia. Numero speciale dedicato alla IX Biennale d'arte antica, IV 1988, Nuova Alfa Editoriale*.
- Facciorusso, J., Madiari, C., Vannucchi, G., 2016. *Correction of Mechanical CPT Data for Liquefaction Resistance Evaluation*, in: *Proceedings of the World Congress on Civil, Structural, and Environmental Engineering (CSEE'16)*. Prague, Czech Republic, pp. 1–9.
- Idriss, I.M., Boulanger, R.W., 2008. *Soil liquefaction during earthquakes. Monograph MNO-12*. Oakland, CA.
- Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E., 2016. *DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>.
- Martelli, L., Bonini, M., Calabrese, L., Corti, G., Ercolessi, G., Molinari, F. C., Piccardi, L., Pondrelli, S., Sani, F., Severi, P., 2017a. *Note illustrative della carta sismotettonica della Regione Emilia-Romagna ed aree limitrofe*. D.R.E.AM. Italia.
- Martelli, L., Ercolessi, G., Sani, F., Bonini, M., Corti, G., Santulin, M., Tamaro, A., Rebez, A., Slejko, D., 2017b. *Analisi 3D della pericolosità sismica dell'Appennino settentrionale - Proposta di nuova zonazione sismogenica e analisi della pericolosità sulla base di un modello 3D delle sorgenti sismiche*. Bologna, 36 p.
- Martelli, L., Romani, M., 2012. *Microzonazione sismica e analisi condizione limite per l'emergenza delle aree epicentrali dei terremoti della pianura emiliana di maggio-giugno 2012 (Ordinanza del Commissario delegato - Presidente della Regione Emilia-Romagna n. 70/2012)*. Bologna, 41 p.
- Martelli, L., Romani, M., 2013. *Microzonazione sismica e analisi della condizione limite per l'emergenza delle aree epicentrali dei terremoti della pianura emiliana di maggio-giugno 2012 (Ordinanza del commissario delegato n. 70/2012), Relazione illustrativa*.
- Mascandola, C., Massa, M., Barani, S., Albarello, D., Lovati, S., Martelli, L., Poggi, V., 2019. *Mapping the Seismic Bedrock of the Po Plain (Italy) through Ambient-Vibration Monitoring*. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 109, 164–177. <https://doi.org/10.1785/0120180193>

- Naso, G., Martelli, L., Baglione, M., Bramerini, F., Castenetto, S., D'Intinosante, V., Ercolessi, G., 2019. *Maps for land management: from geology to seismic hazard*. *Boll. di Geofis. Teor. ed Appl.* 60.
- Panizza, M., Castaldini, D., Pellegrini, M., Giusti, C., Piacentini, D., 2004. *Matrici geo-ambientali e sviluppo insediativo: un'ipotesi di ricerca*, in: Mazzeri, C. (Ed.), *Per Un Atlante Storico Ambientale Urbano*. APM Edizioni, Carpi, pp. 31–51.
- Petronio, L., Affatato, A., Baradello, L., Barbagallo, A., Cristofano, G., Sorgo, D., Lai, C., Poggi, V., 2018. *Shear wave seismic reflection survey in the 2012 Emilia epicentral area*, in: *GNGTS 2018*. pp. 443–447.
- Pieri M., Groppi G., 1981. *Subsurface geological structure of the Po Plain, Italy* - *Pubbl.* 414, P.F. *Geodinamica*, CNR, 23 p.
- Pondrelli, S., Salimbeni, S., Perfetti, P., Danecek, P., 2012. *Quick regional centroid moment tensor solutions for the Emilia 2012 (northern Italy) seismic sequence*. *Annals of Geophysics*, 55(4), 615–621. <https://doi.org/10.4401/ag-6146>.
- Pradel, D., 1998. *Procedure to Evaluate Earthquake induced Settlements in Dry Sandy Soils*. *J. Geotech. Eng. - ASCE* 124, 364–368.
- Robertson, P.K., 2009. *Performance based earthquake design using the CPT*, in: *International Conference on Performance-Based Design in Earthquake Geotechnical Engineering*. Tokyo, Japan, p. 21.
- Robertson, P.K., Lisheng, S., 2010. *Estimation of seismic compression in dry soils using the CPT*, in: *Fifth International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, Symposium in Honor of Professor I. M. Idriss*. San Diego, California, p. Paper No. 4.05a.
- Sonmez, H., 2003. *Modification to the liquefaction potential index and liquefaction susceptibility mapping for a liquefaction-prone area (Inegol-Turkey)*. *Environ. Geol.* 44, 862–871.
- Yang, J., Yan, X.R., 2009. *Site response to multi-directional earthquake loading: A practical procedure*. *Soil Dyn. Earthq. Eng.* 29, 710–721.