

# Piano Strutturale Comunale



COMUNE DI MIRANDOLA  
Provincia di Modena



Sindaco: Maino Benatti

Assessore Economia e Sviluppo  
Sostenibile: Roberto Ganzerli

## B - SISTEMA NATURALE E AMBIENTALE MICROZONAZIONE SISMICA

### Caratterizzazione geologica delle nuove aree di espansione

Comune di Mirandola  
Servizio urbanistica

Arch. Adele Rampolla  
Arch. Carlo Caleffi  
Geom. Angela Zibordi

gruppo di lavoro:

Studio di Geologia Tarabusi

Dott. Geol. Gabriele Tarabusi  
Dott. Geol. Ruggero Mazzoni  
Dott. Geol. Margherita Aguzzi

Adozione: delibera C.C. n. 60 del 09/04/2014

Approvazione: delibera C.C. n. 111 del 27/07/2015

elaborato

QC\_B\_REL3

Coordinamento dello studio: dott. geol. Gabriele Tarabusi

Redazione della relazione: dott. geol. Gabriele Tarabusi  
dott. geol. Ruggero Mazzoni

Elaborazioni cartografiche: dott. geol. Gabriele Tarabusi  
dott.ssa Sofia Gamberi

---

Esecuzione ed elaborazione misure di  
microtremore a stazione singola: dott.ssa Sofia Gamberi

Esecuzione ed elaborazione prove  
penetrometriche statiche (CPTU): dott. geol. Leonardo Calzolari

Esecuzione ed elaborazione indagini ESAC: Progeo s.r.l. – Forlì

Esecuzione ed elaborazione indagine MASW: Tecnogeofisica – Carpi (MO)

## INDICE

1. Premessa.....	2
2. Aree di espansione.....	3
3. Indagini geognostiche e geofisiche.....	4
4. Metodologie seguite per la realizzazione degli approfondimenti di terzo livello.....	7
5. Criteri seguiti per la compilazione delle schede.....	11
Schede delle nuove aree di espansione.....	14
ANS_1.7 - CIVIDALE.....	16
ANS_2.2 - MIRANDOLA.....	20
ANS_2.7 - MIRANDOLA.....	24
ASP_N1 - MIRANDOLA.....	28
ASP_N4 - MIRANDOLA.....	32
ASP_N5 - MIRANDOLA.....	36
ASP_N7 - ASP_N7 - CIVIDALE - Stazione ferroviaria.....	40
ANS_1.1 - SAN MARTINO SPINO.....	44
ANS_1.10 - SAN MARTINO SPINO.....	48
ANS_1.11 - SAN MARTINO SPINO.....	52
Bibliografia.....	56



## 1. PREMESSA

Nell'ambito delle procedure per la redazione del Piano Strutturale Comunale (PSC), l'Amministrazione Comunale di Mirandola ha incaricato lo Studio scrivente dell'esecuzione di indagini geognostiche e geofisiche finalizzate alla caratterizzazione geomeccanica e geofisica dei terreni e all'elaborazione di approfondimenti di terzo livello per le 10 nuove aree di espansione previste nel PSC adottato.

Tali approfondimenti sono stati richiesti dalla Giunta Provinciale di Modena con proprio atto n° 306 del 30/9/2014, in cui si chiede di caratterizzare tutte le nuove porzioni edificabili, sia residenziali che produttive, proposte nel PSC. Si tratta degli ambiti o delle porzioni di ambiti per nuovi insediamenti inseriti nel PSC che non sono mai state sottoposte a specifica caratterizzazione geologica a livello di PRG. Nello specifico il consulente della Provincia di Modena incaricato delle valutazioni di compatibilità geologica delle previsioni degli strumenti urbanistici ha richiesto, per ogni area, approfondimenti di terzo livello, supportati da una adeguata campagna di indagine, integrativi rispetto a quanto già disponibile e conforme a quanto previsto dalla DAL n.112/2007 (Regione Emilia-Romagna, 2007). Prima della realizzazione dei presenti approfondimenti infatti, il Comune di Mirandola già disponeva di uno studio di Microzonazione Sismica di secondo livello redatto dallo Studio scrivente, ultimato nel gennaio del 2012 ed effettuato con i contributi dell'OPCM 3907/2010 (DGR 1051/2011) specificamente indirizzati a studi a supporto dei Piani Strutturali Comunali (Tarabusi, 2012). Tale studio è stato infatti inserito nel Quadro Conoscitivo del PSC adottato. Inoltre gli ambiti di interesse urbanistico, cioè i centri abitati consolidati e in quelli di potenziale interesse per future espansioni (entro cui sono comprese tutte le 10 aree in esame) sono stati oggetto dello studio di microzonazione sismica con analisi CLE coordinato dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli e dal Servizio Pianificazione Urbanistica, Paesaggio e uso sostenibile del territorio della Regione Emilia-Romagna, realizzato a seguito dell'Ordinanza n.70 del 13/11/2012 del Commissario delegato – Presidente della Regione Emilia-Romagna dal Gruppo di lavoro MS Emilia 2012<sup>1</sup> (Regione Emilia-Romagna e Gruppo di lavoro MS Emilia 2012, 2013).

Entrambi gli studi adottano come standard tecnici di riferimento gli indirizzi di microzonazione sismica regionali (Regione Emilia-Romagna, 2007) e nazionali (Gruppo di lavoro MS, 2008) (AA.VV., 2011) e dalle conclusioni degli stessi sono derivati specifici articoli delle Norme di Attuazione del PSC adottato (art.1.11, 1.12 e 1.13) con disposizioni finalizzate alla riduzione del rischio sismico (Comune di Mirandola, 2014).

A tali elaborati, quali gli studi di microzonazione precedenti e le Norme di Attuazione del PSC (Comune di Mirandola, 2014), si farà di seguito riferimento, cercando di limitare il più possibile la ripetizione dei contenuti ed in particolare:

- per quanto concerne l'inquadramento geologico e sismico generale dell'area comunale si rimanda alla relazione illustrativa della microzonazione sismica di secondo livello (QC\_B.REL1) (Tarabusi, 2012);
- per i dettagli tecnici relativi alla metodologia di calcolo scelta per la valutazione degli indici del potenziale di liquefazione si rimanda all'allegato 1.7 "Rapporto Gruppo di Lavoro Liquefazione" (Regione Emilia-Romagna e Gruppo di lavoro MS Emilia 2012, 2013).

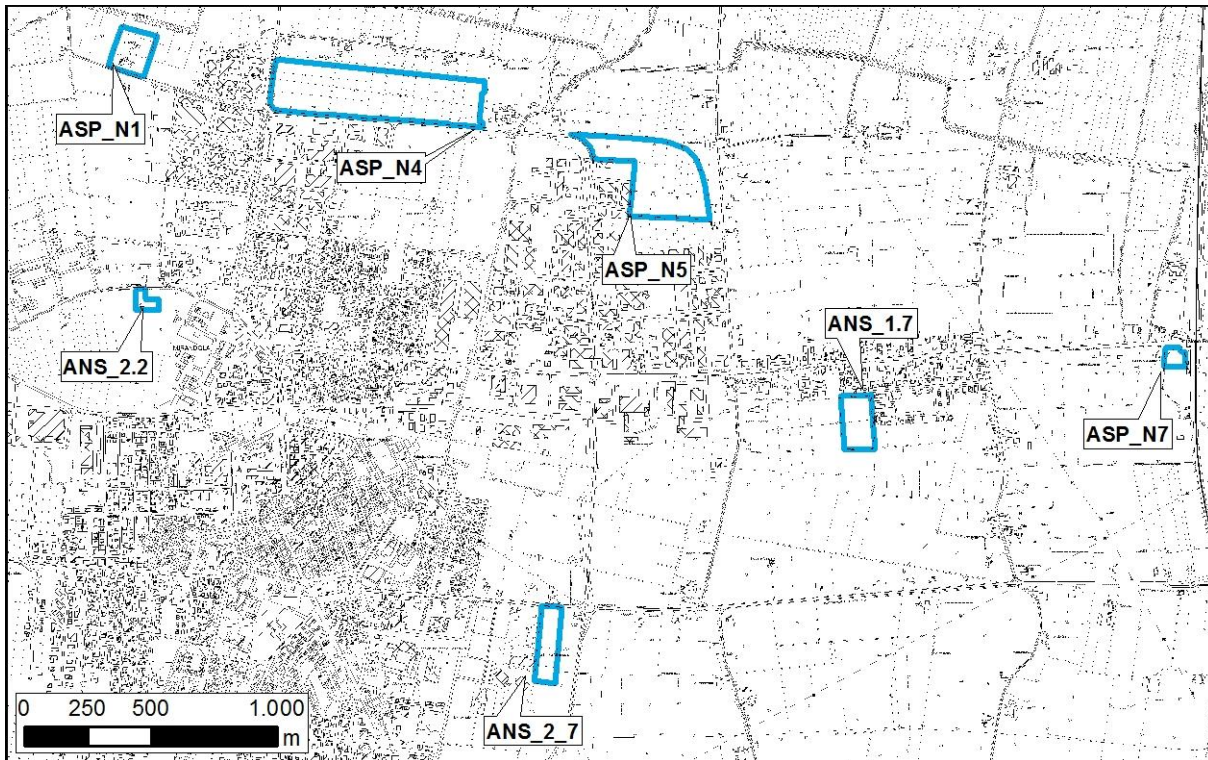
Il presente studio, dopo una prima parte introduttiva e descrittiva comune, è articolato in 10 schede tecniche, una per ciascuna area di espansione, in cui sono presenti le cartografie di riferimento con l'ubicazione delle indagini, gli approfondimenti di terzo livello (valutazione del potenziale di liquefazione e analisi della risposta sismica locale) e una sintesi descrittiva delle caratteristiche geomeccaniche e sismiche dei terreni studiati. I dati delle singole indagini sono riportati nei rapporti di prova in allegato.

---

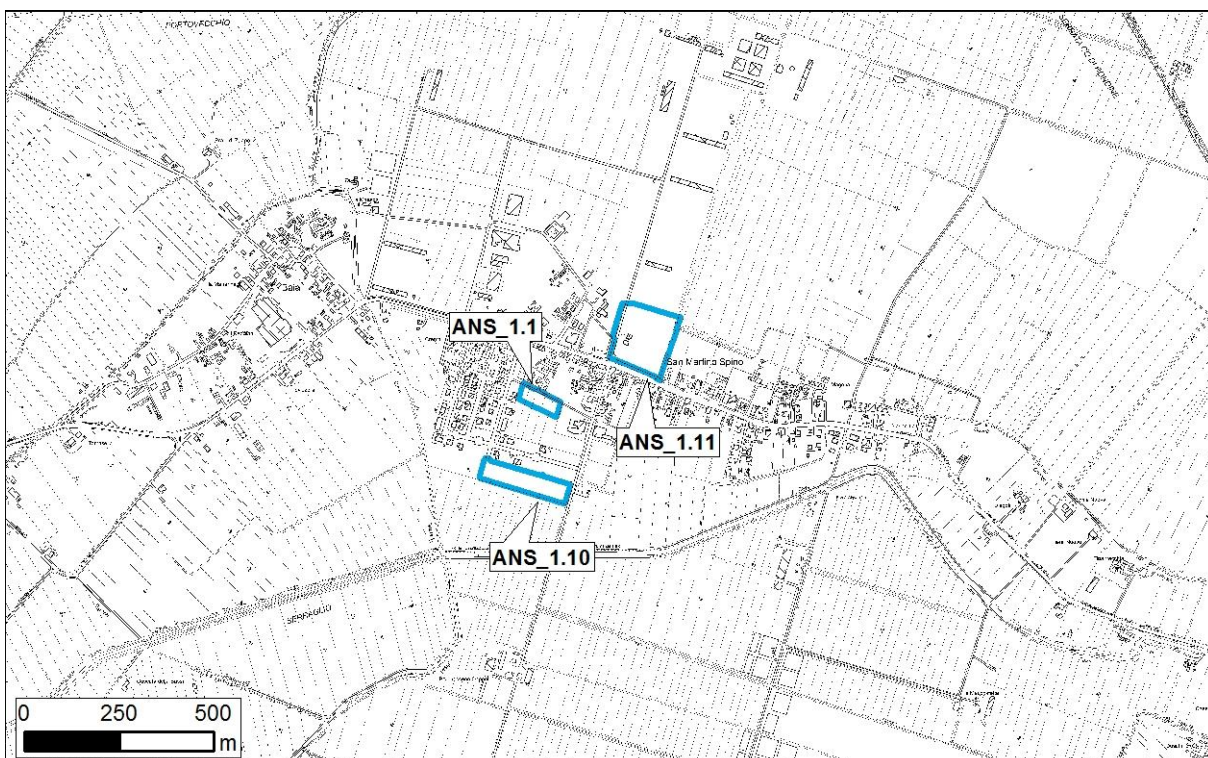
1: **Gruppo di lavoro MS Emilia 2012:** L. Martelli, L. Calabrese, G. Ercolessi, P. Severi, M. Romani, G. Tarabusi, D. Pileggi, S. Rosselli, L. Minarelli, F. Pergalani, M. Compagnoni, G. Vannucchi, C. Madiari, J. Facciorusso, V. Fioravante, D. Giretti, M. Mucciarelli, E. Priolo, G. Laurenzano, F. Brammerini, E. Speranza, C. Conte, G. Di Salvo, M. Giuffrè, M. Zuppiroli, F. Guidi, V. Vona.

## 2. AREE DI ESPANSIONE

Gli approfondimenti di seguito dettagliati sono stati eseguiti, come da richiesta del Servizio Urbanistica Edilizia e Ambiente del Comune di Mirandola, su 10 nuove aree di espansione del PSC. Tali aree sono collocate in parte (7) nella periferia nord e est del capoluogo comunale, frazione Cividale e zona stazione ferroviaria (figura1) e in parte (3) nella frazione di San Martino Spino (figura 2).



**Figura 1:** Le 7 aree di espansione oggetto del presente lavoro nell'area Capoluogo-Cividale-Stazione FS.



**Figura 2:** Le 3 aree di espansione oggetto del presente lavoro nell'area di San Martino Spino.

### 3. INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE

Per una caratterizzazione geognostica e geofisica che permettesse la realizzazione di approfondimenti di terzo livello, le 10 aree di espansione sono state oggetto di specifiche campagne di indagine che hanno integrato i dati già raccolti per i precedenti studi di microzonazione sismica.

Tali prove sono state distribuite, compatibilmente con le condizioni logistiche e le possibilità di accesso alle aree, in modo da permettere una buona caratterizzazione geomeccanica e sismica dei terreni delle 10 nuove zone di espansione in oggetto. Sono state quindi realizzate, entro le aree o nelle immediate vicinanze:

- 5 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU) spinte a 20 metri di profondità (a cui se ne è aggiunta una sesta realizzata nel 2013 non presente nella banca dati regionale e messa a disposizione dallo studio scrivente);
- 6 prove penetrometriche statiche con piezocono e cono sismico (CPTU-S) spinte a 30 metri di profondità o fino al rifiuto strumentale;
- 5 prove geofisiche di tipo ESAC;
- 1 prova geofisica di tipo MASW;
- 10 misure di microtremore a stazione singola (HVSJ).

I rapporti di prova di ciascuna delle indagini sopraelencate sono riportati in allegato alla presente relazione.

#### **CPTU e CPTU-S**

Le prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU) sono state eseguite con punta conica con apertura di 60° e superficie di 10 cm<sup>2</sup> per la misurazione della resistenza di punta (Qc) e da manicotto di frizione (friction jacket), con superficie di 150 cm<sup>2</sup> per la misurazione dell'attrito laterale locale (Fs); le letture sono eseguite ogni centimetro di avanzamento. Le prove sono state realizzate utilizzando uno strumento penetrometrico montato su di un mezzo cingolato leggero del tipo PAGANI TG63-200 autoancorante, con cella di carico elettrica da 20t.

I risultati delle penetrometrie statiche sono elaborati e rappresentati in forma di grafico, dove sono riportati gli andamenti dei valori di Qc (resistenza alla punta), Fs (resistenza attrito laterale locale) e U (pressione nei pori).

Relativamente alla prova CPTU-S, è stato utilizzato un sistema che permette di realizzare un'indagine di tipo sismico (tecnica down hole), complementare alla realizzazione di una prova penetrometrica statica con piezocono. Come per la tecnica in foro di sondaggio di tipo down hole si prevede la misura dei tempi di propagazione delle onde di compressione (P) e di taglio (S) tra il punto di energizzazione in superficie (shot) ed il punto di ricezione mobile in profondità.

Per effettuare le operazioni di acquisizione dati si utilizza una sorgente di energia a polarizzazione verticale ed orizzontale: con la prima si generano onde di compressione P mentre con la seconda onde di taglio Sh. Come apparato di ricezione è stata utilizzata una sonda sismica "PAGANI" dotata di due ricevitori triassiali interspaziati di 0,5 metri l'uno dall'altro.

#### **ESAC**

L'antenna sismica (seismic array) è una configurazione di sensori sismici distribuiti secondo geometrie variabili sull'area di indagine. Le registrazioni di rumore effettuate dai singoli sensori vengono combinate mediante una tecnica ESAC che mette in evidenza la coerenza di fase delle varie registrazioni. Sebbene non esistano limitazioni alla profondità di esplorazione di questo metodo di analisi, in realtà si può assumere

che la massima profondità di esplorazione, anche in condizioni ottimali, sia dell'ordine di grandezza del diametro dell'array (da D a 2D circa).

La metodologia di indagine prevede che i sensori registrino il rumore di fondo (detto anche "microtremore") prodotto da sorgenti naturali e antropiche. Per l'acquisizione del rumore ambientale con l'Antenna Sismica sono stati utilizzati 24 geofoni da 4.5 hz posti con una configurazione a croce con 12 ricevitori per braccio interspaziati di 5 metri. Per l'analisi ed interpretazione dei dati sismici acquisiti è stato utilizzato il codice di calcolo ESAC del software Geopsy.

Le informazioni relative alle caratteristiche del sottosuolo vengono ottenute a partire da una analisi di correlazione fra i segnali registrati dai diversi sensori alle diverse frequenze (funzione di coerenza). Utilizzando opportune procedure di analisi è possibile ricavare da queste misure più curve di dispersione delle onde di Rayleigh presenti nel rumore sismico ambientale.

Dato che la forma delle curve di dispersione dipende dalle variazioni delle velocità delle onde S con la profondità, risulta possibile stabilire una relazione fra la forma delle curve di dispersione e la velocità delle onde S nel sottosuolo. L'inversione delle curve di dispersione è stata inoltre effettuata in maniera congiunta ai rapporti spettrali H/V realizzati nella medesima area in modo da avere un maggiore controllo sul fitting e quindi un dato sperimentale più efficiente.

### **MASW**

Le prospezioni sismiche che prevedono l'utilizzo di onde superficiali (Onde di taglio - onde Sh/Sv) note in letteratura come MASW – Multichannel Spectral Analysis of Waves, come quella realizzata a supporto del presente studio, prevedono acquisizioni con tecnica in sismica attiva mediante l'utilizzo di massa battente come sorgente di onde superficiali.

Attraverso l'analisi del contenuto di onde superficiali, in questo caso onde di Rayleigh è possibile ricavare indirettamente la velocità delle onde di taglio ( $V_S$ ) secondo l'equazione:

$$V_R = \left( \frac{0.862 + 1.14\nu}{1 + \nu} \right) \times V_S \quad \begin{array}{l} \nu: \text{rapporto di Poisson} \\ V_R: \text{velocità onde di Rayleigh} \end{array}$$

La fase di elaborazione analizza il contenuto in frequenza delle onde registrate per la discriminazione dei diversi modi di vibrazione delle onde di Rayleigh (onde R) nella banda d'interesse; in particolare la tecnica di acquisizione per onde di superficie necessita di geofoni (ad asse verticale) con frequenza di taglio non superiore a 4,5 Hz.

Con la tecnica MASW (indagine sismica non invasiva di superficie) si ottiene una modellazione del sottosuolo, basandosi sulla propagazione delle onde di Rayleigh, oggi realizzata mediante approcci multi stazioni, che risultano robusti ed efficienti rispetto ai primi approcci del metodo, che si basavano essenzialmente su 2 ricevitori. Per l'indagine sismica sono state acquisite registrazioni con massa battente esterna da 10 Kg ed in linea con lo stendimento sismico; la Base Masw eseguita, presenta (compreso il punto di shot) la geometria come sotto indicato:

- Numero geofoni 24
- Spaziatura geofoni 1,5 m
- Lunghezza stendimento geofonico 34,5 m
- Distanza punto di shot da ultimo geofono 15 m
- Lunghezza complessiva 49,5 m

I dati sono stati campionati utilizzando un sismografo multicanale ad incrementi di segnale, della P.A.S.I. mod. 16SG24 a 24 canali, attraverso l'impiego di 24 geofoni da 4,5 Hz collegati in serie da due cavi con lunghezza pari a 33 m l'uno.



L'interpretazione delle tecniche di rilievo sismico MASW traggono spunto dalle prime tecniche studiate da Nazarian e Stokoe (1984-94) basate sul fatto che osservando il segnale che si propaga nel suolo a seguito di una energizzazione, è notorio che la quasi totalità dell'energia (circa 2/3 o più) si propaga tramite onde superficiali (onde di Rayleigh).

Dal sismogramma, tramite una trasformata nel dominio frequenza ( $f$ ) – numero d'onda ( $k$ ), si ottengono le tracce cui corrispondono i massimi spettrali. Si può così risalire alla curva di dispersione (cioè un grafico ampiezza/frequenza) mediante la relazione:  $VR(f)=f/k$ .

Il processo iniziale di individuazione della curva di dispersione caratteristica del sito in esame, è ottenuto tramite il software SWAN® (vers. 2008), seguito poi da una fase di elaborazione-interpretazione. Eseguendo una "analisi spettrale" si procede sostanzialmente nella risoluzione del cosiddetto problema inverso: a partire dalla curva di dispersione misurata in situ, si arriva al modello di stratificazione del terreno con i relativi parametri sismici.

### **HVSR**

Le misure di microtremore a stazione singola (sismica passiva ad alta risoluzione) sono state eseguite con tromografo digitale TROMINO e sono finalizzate all'elaborazione degli spettri di base ed analisi HVSR del sottosuolo (Albarello e Castellaro, 2011). Tale strumento misura il rumore di fondo e lo utilizza come funzione di eccitazione per identificare in maniera passiva, non invasiva e rapida le frequenze di risonanza del sottosuolo, che sono in relazione diretta con l'amplificazione sismica, oggi considerata da molti la prima causa di danno e distruzione durante un terremoto.

Le informazioni stratigrafiche contenute nei microtremori sono sovrapposte al rumore casuale e possono essere estratte attraverso metodologie come quella di Nakamura dei rapporti spettrali (HVSR – horizontal to vertical spectral ratio). Tale tecnica è utilizzata anche per la determinazione dell'amplificazione sismica locale e per stimare le frequenze principali di risonanza del sottosuolo, dati molto utili anche per la progettazione ingegneristica delle strutture.

Il metodo considera i microtremori come composti in massima parte da onde di superficie (di Rayleigh) nelle componenti orizzontali e verticali, che vengono amplificate per effetto di sito a causa della presenza di discontinuità stratigrafiche nel sottosuolo. È quindi possibile ricostruire la forma spettrale del microtremore, in cui i picchi alle diverse frequenze rappresentano il rapporto tra la componente orizzontale e verticale dei segnali registrati.

Per la presente campagna di indagine sono stati utilizzati due tromografi digitali TROMINO, modelli Studio e Engy. L'acquisizione dei dati è stata effettuata con frequenza di campionamento di 128 Hz con un tempo di singola registrazione pari a 20 minuti. Tutte le misure eseguite, coerentemente con quanto già noto dagli studi precedenti (Tarabusi, 2012), hanno restituito valori della frequenza fondamentale compresi tra 0,78 e 1 Hz, con picchi di ampiezza modesta, sempre di poco superiore a 2.

#### **4. METODOLOGIE SEGUITE PER LA REALIZZAZIONE DEGLI APPROFONDIMENTI DI TERZO LIVELLO**

Si riporta di seguito un estratto dell'Articolo 1.12 - *Riduzione del rischio sismico: disposizioni generali* delle Norme di Attuazione del PSC (Comune di Mirandola, 2014):

*Con riferimento alle aree ricomprese negli sviluppi si applicano le seguenti disposizioni per la riduzione del rischio sismico:*

*a. Le porzioni di territorio in cui sono possibili fenomeni di amplificazione e di potenziale liquefazione (LQ1 e LQ2) sono soggette ad approfondimenti di terzo livello per la valutazione della suscettività alla liquefazione e la stima dei cedimenti. Se l'indice di liquefazione IL risulterà pari o superiore a 2, per il calcolo dell'azione sismica ai fini della progettazione non è ammesso l'approccio semplificato e dovranno essere valutati i potenziali cedimenti. Per opere di particolare interesse pubblico o strategico, classi d'uso 3 e 4, si raccomandano interventi di mitigazione del rischio di liquefazione (consolidamento del terreno di fondazione, interventi per la riduzione delle pressioni interstiziali, ecc.).*

Rispetto a quanto sopra citato, per tutte le 10 nuove aree di espansione del PSC sono stati eseguiti specifici approfondimenti di terzo livello volti sia a valutare la suscettività alla liquefazione che a calcolare l'azione sismica, per l'esecuzione dei quali ci si è riferiti a quanto elaborato negli studi di microzonazione sismica precedenti ed in particolare:

- per la risposta sismica locale sono state utilizzate le curve di degrado del modulo di taglio e dello smorzamento ottenute da prove di colonna risonante. Tali prove sono state eseguite su campioni indisturbati prelevati da sondaggi a carotaggio continuo nell'ambito delle attività svolte a supporto della microzonazione sismica realizzata nel 2013 a seguito dell'Ordinanza n.70 - Allegato 1.6 schede di caratterizzazione geotecnica (Regione Emilia-Romagna e Gruppo di lavoro MS Emilia 2012, 2013);
- per il calcolo degli indici del potenziale di liquefazione con metodi semplificati sulle verticali delle prove penetrometriche statiche di nuova realizzazione è stato adottato il metodo di Idriss e Boulanger (2008), lo stesso utilizzato come riferimento per la redazione delle mappe della microzonazione sismica realizzata nel 2013 a seguito dell'Ordinanza n.70 - Allegato 1.6 rapporto del gruppo di lavoro liquefazione (Regione Emilia-Romagna e Gruppo di lavoro MS Emilia 2012, 2013). Inoltre sono stati utilizzati gli stessi parametri di input che erano stati scelti in entrambi i precedenti studi di microzonazione (Tarabusi, 2012) (Regione Emilia-Romagna e Gruppo di lavoro MS Emilia 2012, 2013).

#### **CALCOLO DEGLI INDICI DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE**

Per una descrizione di dettaglio delle metodologie utilizzate per la stima degli indici di liquefazione si rimanda agli elaborati tecnici di riferimento dei precedenti studi di microzonazione sismica mentre di seguito si dettagliano alcune delle ragioni delle principali scelte effettuate e si evidenziano le principali criticità.

Dai confronti effettuati dal Gruppo di Lavoro per la stima del rischio liquefazione del 2013, pur essendo evidenti alcuni limiti generali delle stime eseguite attraverso i metodi semplificati, è risultato che il metodo che fornisce valori di IL più compatibili con gli effetti osservati a seguito degli eventi sismici del 2012 è quello di Idriss & Boulanger del 2008 (Idriss e Boulanger, 2008). Tale affermazione ha però particolare valore nei territori comunali dove queste di tipologie di effetti locali si sono manifestate più diffusamente e dove altri metodi noti in letteratura portavano ad una generale sottostima del rischio (Sant'Agostino e Mirabello in particolare). Per quanto riguarda il comune di Mirandola in particolare, si nota invece come il metodo di Idriss e Boulanger (Idriss e Boulanger, 2008), che in generale si considera più cautelativo tra quelli oggetto di confronto, porti ad una probabile sovrastima del rischio, riportando spesso valori di IL

elevati anche dove non si sono evidenziati effetti legati a possibili fenomeni di liquefazione dei terreni. Nel presente studio si è comunque valutata l'opportunità di continuare ad utilizzare tale metodo anche per le valutazioni da eseguire sulle indagini di nuova realizzazione poiché, assieme alla scelta degli stessi parametri di input, garantisce una immediata confrontabilità coi numerosi valori di IL precedentemente calcolati. Nella pianificazione territoriale infatti, più che ai valori numerici assoluti è in genere importante riferirsi ai valori relativi e l'indice del potenziale di liquefazione non fa eccezione, in quanto consente di individuare le aree a diversa pericolosità relativa.

Riguardo ai parametri di input, la scelta di utilizzare anche nel presente studio gli stessi adottati in quelli precedenti, oltre a garantire la confrontabilità dei dati, appare ancora oggi la più ragionevole dal punto di vista tecnico e normativo. Se è vero che come moto di input in superficie potrebbe apparire ragionevole utilizzare quello registrato a seguito delle scosse del 20 e del 29 maggio 2012 (quindi una accelerazione più alta e una magnitudo più bassa), approccio oggi seguito da alcuni professionisti, non bisogna dimenticare che anche gli studi di microzonazione sismica, così come le Norme Tecniche per le Costruzioni, prevedono una definizione della pericolosità sismica su base probabilistica e nello specifico per una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Gruppo di lavoro MS, 2008) (Regione Emilia-Romagna, 2007). Come efficacemente discusso dal Prof. Iervolino sulla rivista Progettazione sismica (Iervolino, 2012), l'occorrenza di singoli terremoti non può essere messa a confronto con le analisi di pericolosità di tipo probabilistico, tanto meno per validarle. Ancor più critico e inopportuno, in caso di terremoti d'intensità sopra la media, è il confronto dei valori di accelerazione registrati in prossimità dell'epicentro (near field) con quelli degli studi di pericolosità. Ad analoghe conclusioni, integrandole, arrivano Stucchi et. al., sempre nella stessa rivista e sempre nel 2012 (Stucchi et al., 2012), all'indomani dei terremoti emiliani, da cui consegue che i parametri osservati per un singolo evento non dovrebbero essere utilizzati per la definizione dell'input sismico di calcoli finalizzati alla progettazione o alla pianificazione territoriale, per cui le norme prevedono in ogni caso di riferirsi alla pericolosità di base calcolata con metodo probabilistico.

I parametri di input utilizzati per il calcolo degli indici di liquefazione sono pertanto:

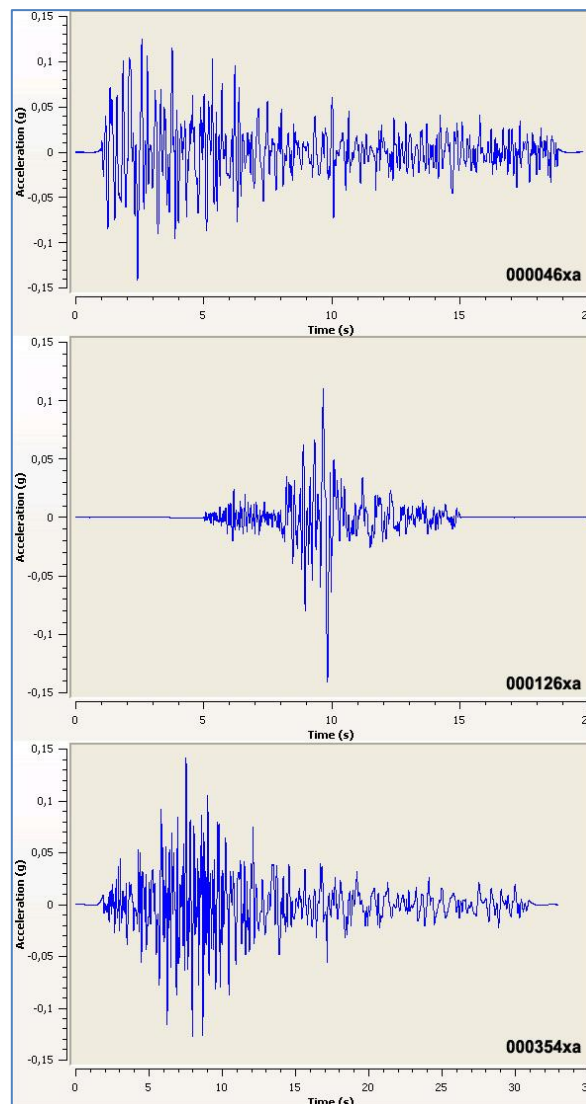
**Magnitudo:** Un metodo semplice e in favore di sicurezza che può essere utilizzato per stimare quale sia il valore di magnitudo da considerare ai fini delle verifiche di liquefazione, per il sito o la microzona di interesse, viene indicato negli ICMS (Gruppo di lavoro MS, 2008). Secondo tale metodo, per i siti che cadono in una delle 36 zone sismogenetiche della la zonazione sismogenetica nazionale - ZS9 (Meletti e Valensise, 2004), che rappresenta il riferimento per le valutazioni di pericolosità sismica nel territorio nazionale, si assume come  $M$  il valore di  $M_{wmax}$  della zona relativa. Nello specifico, l'area in esame ricade entro la Zona 912 caratterizzata da un valore di  $M_{wmax}$  pari a **6.14**.

**Accelerazione:** la DAL n.112/2007 "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica" (Regione Emilia-Romagna, 2007) fornisce i valori di  $ag_{ref}$  (10% di probabilità di superamento in 50 anni su suolo rigido) di ogni comune dell'Emilia-Romagna. Per il Comune di Mirandola è indicata una  $ag_{ref}$  pari a **0,141**. Tale valore di accelerazione è stato amplificato per i fattori di amplificazione **FA** risultanti dallo studio di microzonazione sismica realizzato per l'Ordinanza n.70 (Regione Emilia-Romagna e Gruppo di lavoro MS Emilia 2012, 2013), che per il Comune di Mirandola sono **1.7** (zone di alto strutturale con bedrock a profondità inferiore a 100/120 metri) e **1.5** (zone con bedrock a profondità superiore a 100/120 metri). L'accelerazione massima  $ag_{max}$  risultante è pertanto pari a **0,24** o **0,21** a seconda delle zone. Come evidenziato nelle singole schede, tale scelta risulta, a seconda dei casi, in linea o maggiormente cautelativa rispetto all'utilizzo dei valori derivati dai singoli calcoli di risposta sismica locale.

**Falda acquifera:** gli studi realizzati a seguito dell'Ordinanza n.70 (Regione Emilia-Romagna e Gruppo di lavoro MS Emilia 2012, 2013) hanno considerato, per il calcolo degli indici del potenziale di liquefazione, la falda acquifera a profondità variabile tra 1 e 3 m a seconda che il sito di verifica ricadesse in area di piana intercanale o di dosso. Per l'intero territorio del comune di Mirandola, anche sulla base dei numerosi dati disponibili, viene assunta una **profondità della falda acquifera pari a 1 metro**.

### **RISPOSTA SISMICA LOCALE CON MODELLAZIONI NUMERICHE**

Sulla base dei dati stratigrafici, geofisici e geotecnici disponibili sono state eseguite per ciascuna area delle modellazioni numeriche della risposta sismica locale utilizzando il software STRATA (Rathje e Kottke, 2010), calcolate al piano campagna. Gli accelerogrammi utilizzati in input (bedrock) per il calcolo sono i 3 segnali di riferimento forniti dalla Regione Emilia-Romagna in allegato alla DAL n.112/2007, che risultano già scalati in modo che la loro accelerazione massima corrisponda al valore  $a_{gref}$  del Comune (figura 3). Si precisa che tali modellazioni sono comunque utilizzabili solo a livello di pianificazione comunale e necessitano in ogni caso di specifici approfondimenti in fase esecutiva, secondo quanto previsto dalle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni.

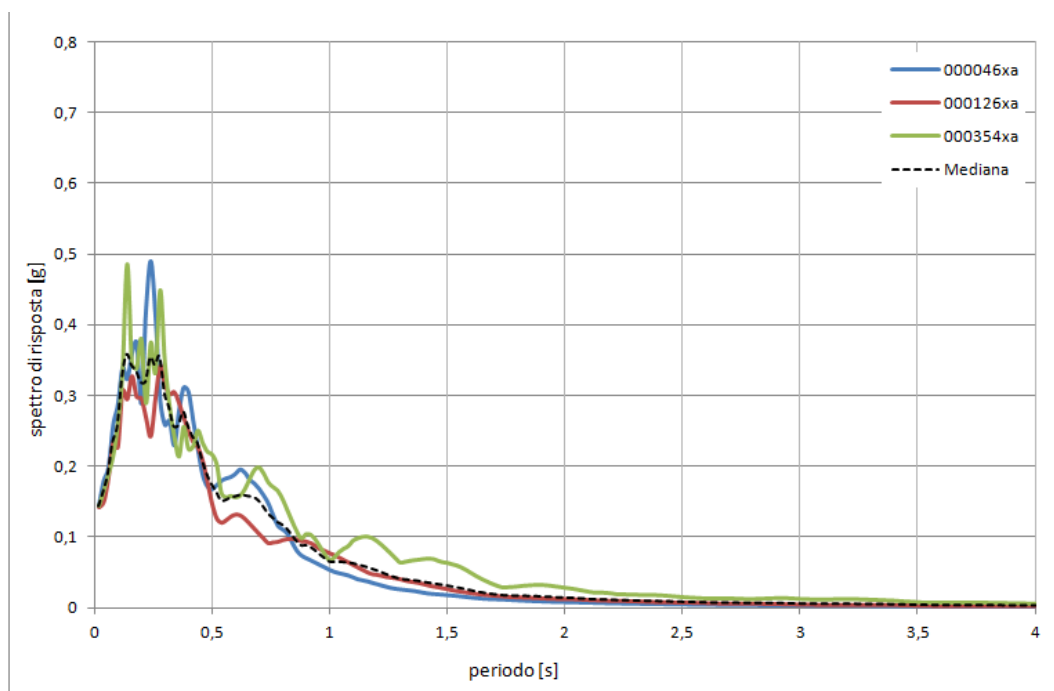


**Figura 3.** Segnali di riferimento forniti dalla Regione Emilia-Romagna in allegato alla DAL n.112/2007 e utilizzati come input per le simulazioni numeriche della risposta sismica locale.

I modelli sismostratigrafici delle singole aree (riportati nelle schede), utilizzati come riferimento per il calcolo della risposta sismica locale, sono stati realizzati sulla base dei dati geofisici e geognostici disponibili e si interrompono in genere in corrispondenza del picco di frequenza  $F_0$  individuato dalle misure di microtremore a stazione singola (sempre compreso tra 0,78 e 1 Hz), e quindi a profondità comprese tra i 130 e i 90 metri dal piano campagna. Le velocità raggiunte dai litotipi presenti a tali profondità sono comprese tra i 500 e i 650 m/s circa e quindi lontane dagli 800 m/s che dovrebbero caratterizzare il bedrock sismico di riferimento. Per l'individuazione di un livello che potesse rappresentare il bedrock a cui poter associare l'input sismico, è stato possibile riferirsi alle sezioni di dettaglio realizzate dal Servizio Geologico Sismico e dei suoli della Regione Emilia-Romagna disponibili per l'area in esame (Tarabusi, 2012), in cui, attorno ai 400 metri di profondità, è indicata la superficie di passaggio tra i depositi quaternari e quelli pliocenici, che raggiungono certamente gli 800 m/s. Tale superficie può essere correlata con i picchi a bassa frequenza (0,3-0,4 Hz), osservabili nei rapporti H/V di alcune delle misure di microtremore, ma non sempre visibili in quanto prossimi al limite strumentale del tromografo Tromino utilizzato per le registrazioni.

Per l'indicazione delle litologie presenti a profondità superiori ai 30 metri, la massima profondità raggiunta dalle indagini eseguite nelle aree in oggetto, si è fatto riferimento ai dati di sondaggi realizzati in zone vicine e presenti nella banca dati regionale, che evidenziano una generale prevalenza di depositi sabbiosi anche in profondità, fino ad almeno 120 metri (Regione Emilia-Romagna e Gruppo di lavoro MS Emilia 2012, 2013). Le curve di andamento del modulo di taglio e dello smorzamento in funzione della deformazione utilizzate per la caratterizzazione delle coperture, sono, come detto, quelle ottenute da prove di colonna risonante realizzate nell'ambito delle attività svolte a supporto della microzonazione sismica realizzata nel 2013 a seguito dell'Ordinanza n.70 - Allegato 1.6 schede di caratterizzazione geotecnica (Regione Emilia-Romagna e Gruppo di lavoro MS Emilia 2012, 2013), eccetto che per le litologie più sabbiose per cui non erano disponibili dati locali e sono stati quindi utilizzati i valori proposti da Seed e Idriss, 1970 e Idriss, 1990.

Sono stati quindi calcolati e confrontati gli spettri di risposta al bedrock (figura 4) e in superficie (vedi schede) per un periodo di ritorno di 475 anni con uno smorzamento assunto pari al 5%.

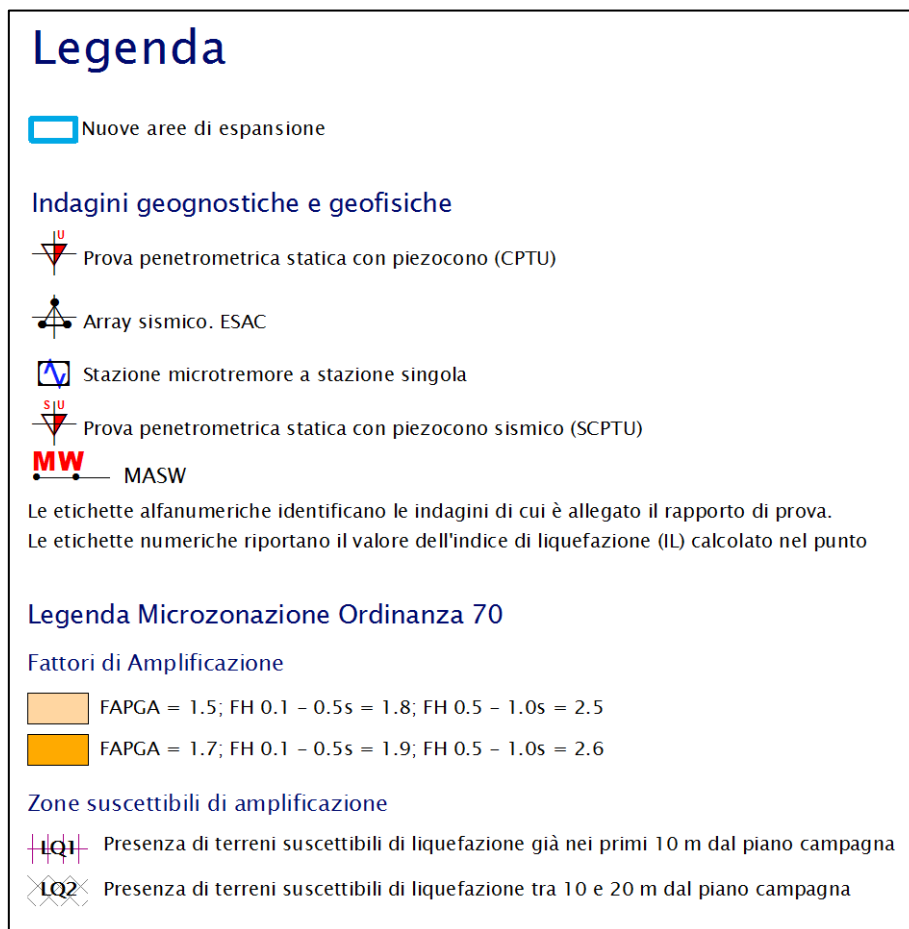


**Figura 4.** Spettri di risposta al bedrock per i tre accelerogrammi di figura 3 e il loro spettro mediano.

## 5. CRITERI SEGUITI PER LA COMPILAZIONE DELLE SCHEDE

Per ogni nuova area di espansione oggetto di studio è stata realizzata una scheda di sintesi articolata in 4 pagine: la prima di inquadramento, la seconda con la modellazione geologica e sismica, la terza con la risposta sismica locale, la quarta con un giudizio complessivo sulla fattibilità degli interventi previsti. Sono di seguito meglio dettagliati i contenuti delle singole pagine.

**SCHEDA - PAGINA 1:** è riportata una breve descrizione dell'area nel contesto del Piano Strutturale Comunale, con indicazione della destinazione prevista. Segue una mappa di sintesi dei dati utili alla caratterizzazione geologica e sismica, la cui legenda è riportata in figura 5.



**Figura 5.** Legenda della carta di sintesi riportata in ciascuna delle schede delle nuove aree di espansione.

Le perimetrazioni oggetto delle schede, indicate in azzurro, rappresentano gli ambiti o le porzioni di ambiti per nuovi insediamenti inseriti nel PSC, che non sono mai state sottoposte a specifica caratterizzazione geologica a livello di PRG.

Sono rappresentate, con diversa simbologia su base tipologica, tutte le indagini pregresse (banca dati geognostica regionale) e di nuova realizzazione. Alle indagini utilizzate per la caratterizzazione della singola area sono associate delle etichette alfanumeriche che riportano la codifica presente nel rapporto di prova inserito in allegato.

Le mappe riportano, con etichetta numerica, tutti i valori dell'indice di liquefazione calcolato sulle verticali delle prove penetrometriche di nuova realizzazione e pregresse: gli stessi delle mappe di microzonazione sismica dell'Ordinanza n.70 (Regione Emilia-Romagna e Gruppo di lavoro MS Emilia 2012, 2013).

Sono inoltre rappresentate le suddivisioni areali della carta dei fattori di amplificazione e del rischio di liquefazione realizzata a seguito dell'Ordinanza n.70: con colore pieno sono distinte le aree a diversi valori dei fattori di amplificazione, relativi alla PGA e alla Intensità di Housner, per due diversi intervalli di periodi, stimate con gli abachi della DAL n.112/2007 (Regione Emilia-Romagna, 2007); con il retino colorato è indicata la presenza di terreni suscettibili di liquefazione oltre o già entro i primi 10 metri dal piano campagna. Tali indicazioni sono comunque riportate discorsivamente subito sotto la mappa.

La pagina si chiude con una foto dell'area scattata da uno dei punti di indagine.

**SCHEDA - PAGINA 2:** è descritto inizialmente il modello geologico dell'area, affiancato dalle stratigrafie delle indagini di nuova esecuzione. Segue la sintesi degli approfondimenti di terzo livello relativi alla suscettibilità alla liquefazione dei terreni presenti nell'area, con grafici dell'andamento in profondità del fattore di sicurezza (FSL) e dell'indice del potenziale di liquefazione (LPI), che determina il valore del rischio secondo la classificazione di Sonmez (Sonmez, 2003) distinguendo tra siti a rischio di liquefazione basso ( $0 < IL \leq 2$ ), moderato ( $2 < IL \leq 5$ ), elevato ( $5 < IL \leq 15$ ) e molto elevato ( $IL > 15$ ). La pagina si chiude con una sintesi testuale e grafica del modello sismo-stratigrafico dell'area ricavato sulla base delle indagini geofisiche di nuova realizzazione, attraverso il fit congiunto dei dati delle misure dirette di VS con quelli ricavati dalle misure di microtremore a stazione singola. Tale elaborazione è accompagnata dal grafico del rapporto H/V misurato nel sito, confrontato con la curva H/V sintetica del modello sismostratigrafico, al fine di evidenziarne la corrispondenza.

**SCHEDA - PAGINA 3:** sono riportati, in forma grafica commentata, i risultati del calcolo della risposta sismica locale con metodi numerici.

**SCHEDA - PAGINA 4:** sono riportati un giudizio complessivo sulla fattibilità degli interventi previsti nell'area, l'indicazione delle principali criticità emerse dallo studio, con riferimento alle relative Norme di Attuazione del PSC (Comune di Mirandola, 2014) ed eventuali suggerimenti per la mitigazione dei potenziali rischi.



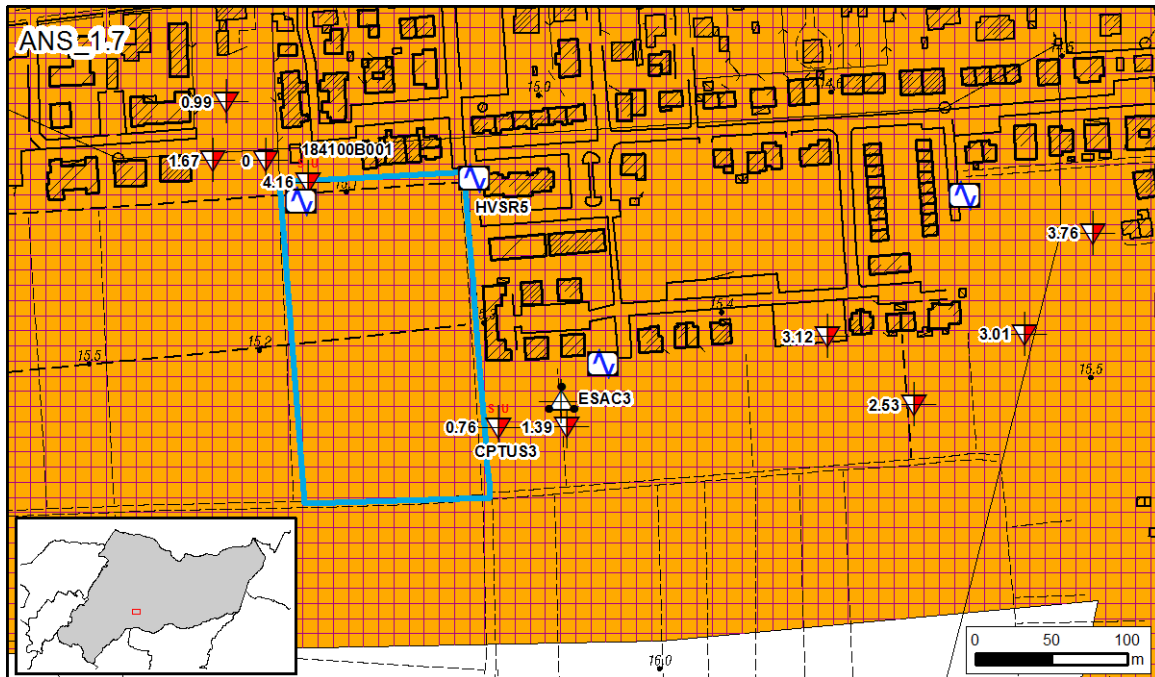


## **SCHEDE DELLE NUOVE AREE DI ESPANSIONE**



## ANS\_1.7 - CIVIDALE

L'ambito di nuovo insediamento, localizzato a sud della frazione di Cividale in contiguità con gli insediamenti di recente realizzazione, è destinato alla residenza e ad attività complementari alla residenza. L'area oggetto di studio rappresenta la porzione più occidentale e più estesa dell'ambito che non era stata sottoposta a specifica caratterizzazione geologica nel PRG.

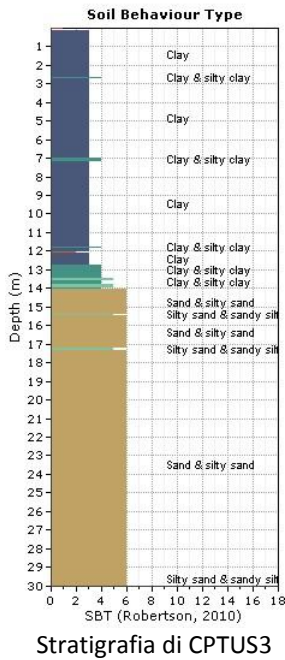


La carta dei fattori di amplificazione e del rischio di liquefazione, realizzata a seguito dell'Ordinanza n.70/2012, segnala la presenza in tutta l'area indagata di terreni suscettibili di liquefazione già nei primi 10 metri dal piano campagna e indica i seguenti fattori di amplificazione:

$$F_{PGA} = 1.7; F_{H0.1s-0.5s} = 1.9; F_{H0.5s-1} = 2.6$$



Area oggetto di studio vista da nord-est (HVSRS5)

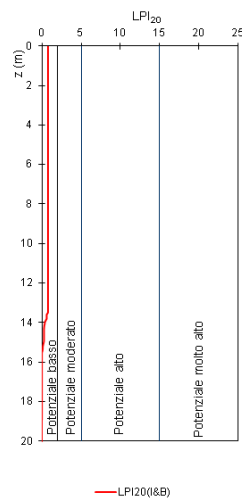
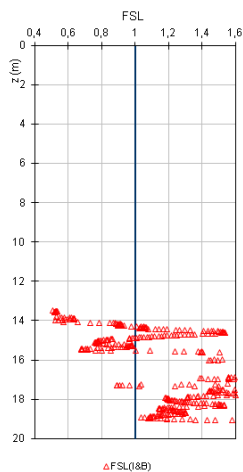


### MODELLO GEOLOGICO

Per la caratterizzazione dell'area in esame sono disponibili dati geognostici di nuova acquisizione (CPTUS3, sud-est) e di repertorio (CPTU 184100B001, nord-ovest).

L'ambito è caratterizzato dalla presenza di un paio di metri di terreni argillosi plastici e sciolti ( $Q_c < 15 \text{ kg/cm}^2$  e  $F_s/Q_c > 5$ ) al di sotto dei quali si rinviene uno spessore pari a 9-11 metri di argille e argille limose da poco a mediamente consistenti ( $Q_c$  tra 10 e 20  $\text{kg/cm}^2$  e  $F_s/Q_c$  tra 3 e 5) con una lente di sabbia limosa mediamente addensata tra 2,7 e 4,5 nella porzione settentrionale del comparto (184100B001). È poi presente un intervallo di un paio di metri di argille limose-sabbiose consistenti ( $Q_c$  tra 20 e 40  $\text{kg/cm}^2$  e  $F_s/Q_c$  tra 2 e 3,5). Il tetto del primo orizzonte sabbioso limoso si individua a circa 12-14 metri di profondità con caratteristiche di addensamento medio e elevati valori dei parametri di resistenza ( $Q_c > 100 \text{ kg/cm}^2$ ). La sabbia ben addensata con valori di  $Q_c > 150 \text{ kg/cm}^2$  è presente a partire da circa 16 metri di profondità e fino alla massima profondità di indagine (30 metri).

Il livello di falda, misurato al termine delle prove penetrometriche statiche, è compreso tra 1 e 2,3 metri da p.c..



CPTUS3: grafici di FSL e LPI con la profondità

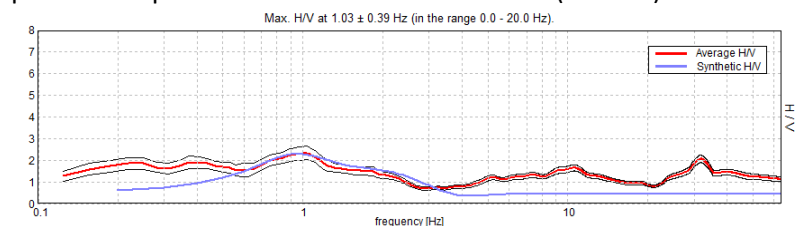
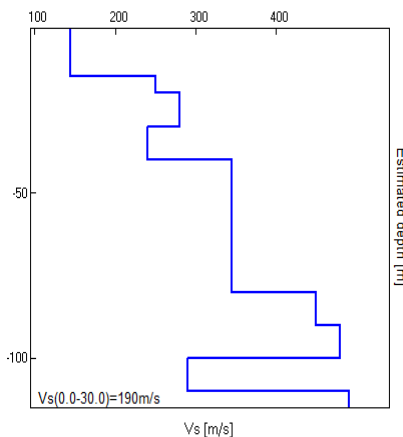
### POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Sulla base dei dati disponibili si evidenzia come l'area indagata risulti caratterizzata da una differente suscettibilità alla liquefazione, con una porzione più settentrionale (184100B001) in cui, in ragione della presenza di livelli granulari nei primi metri di profondità, si riscontra un indice (LPI) pari a 4.16 (rischio moderato) e una porzione più meridionale (CPTUS3) in cui si riscontra un indice (LPI) pari a 0.76 (rischio basso).

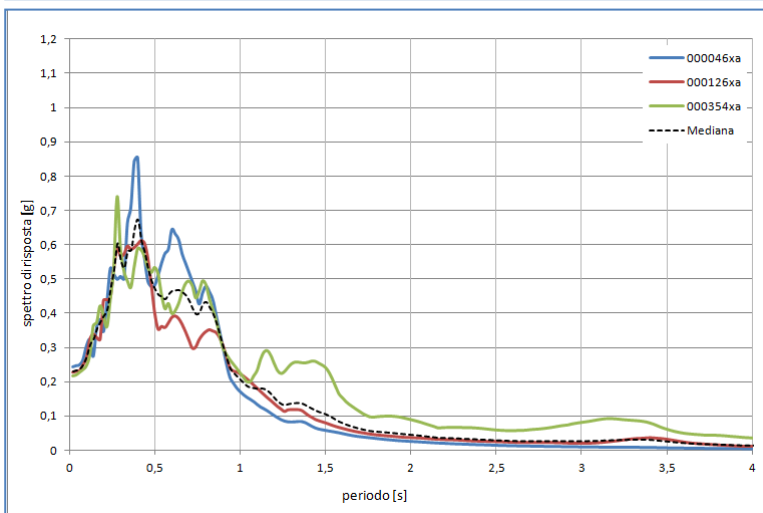
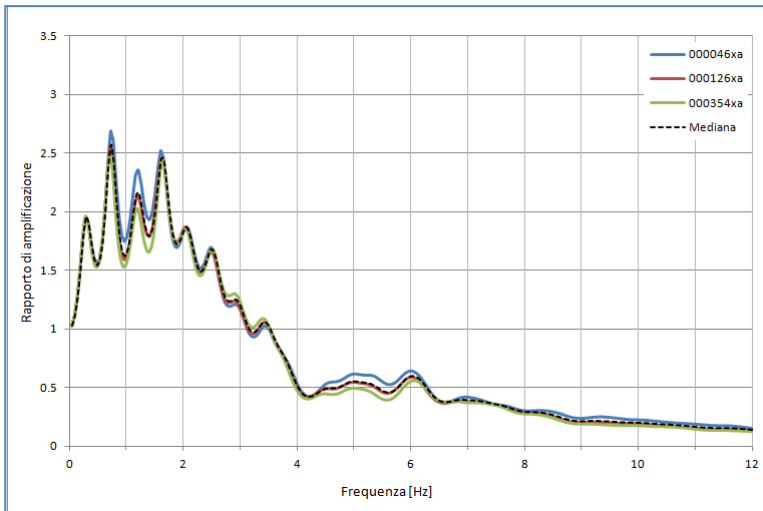
Quanto riscontrato nella porzione settentrionale dell'area risulta in accordo con la carta di microzonazione sismica che indica la presenza di terreni suscettibili di liquefazione già nei primi 10 metri dal piano campagna, che sono invece stati riscontrati solo oltre i 13 metri sulla verticale di CPTUS3.

### MODELLO SISMO-STRATIGRAFICO

Per la caratterizzazione sismostratigrafica dell'area sono stati utilizzati i dati del cono sismico CPTUS3 (primi 30 metri) e della indagine ESAC3 (fino a 90 metri) per realizzare il fit congiunto con della curva del rapporto H/V (HVSr5, sotto) e modellare il profilo di velocità fino a circa 110 metri (a sinistra), in corrispondenza del picco di frequenza fondamentale  $F_0$  dell'area (1.03 Hz).



## RISPOSTA SISMICA LOCALE CON MODELLAZIONE NUMERICA

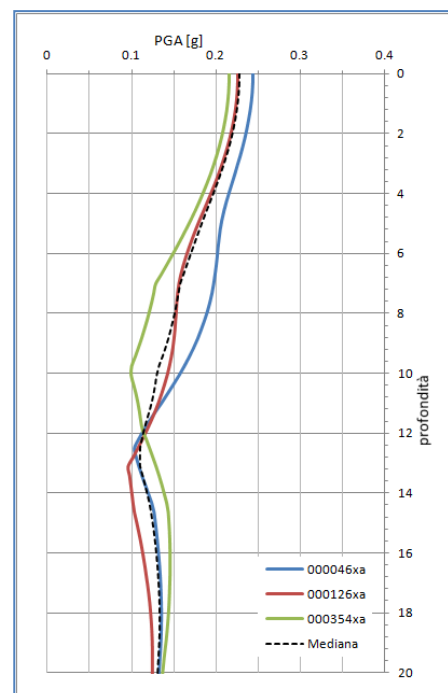


Nella figura a sinistra si riporta il rapporto tra lo spettro al bedrock e quello atteso in superficie in funzione della frequenza per i tre accelerogrammi di input e per la loro mediana. Si osserva la massima amplificazione a frequenza poco inferiore a 1 Hz, dato coerente con quanto riscontrato dalle misure di rumore ambientale, e a diverse altre frequenze, alcune delle quali sono armoniche superiori. La visibilità di queste ultime appare legata al basso smorzamento delle coperture.

Nella figura a sinistra sono riportati gli spettri di risposta dell'oscillatore armonico tipo ad un grado di libertà, in funzione del periodo proprio della struttura e per uno smorzamento tipico del 5%, ottenuti a partire dagli accelerogrammi di figura 3 e lo spettro mediano. È evidente come gli spettri di risposta ottenuti risentano significativamente del moto di input, risultando quindi piuttosto differenti per i tre accelerogrammi utilizzati. (segnali di riferimento DAL n.112/2007).

Nella figura a destra è riportato l'andamento, nei primi 20 metri al di sotto del piano campagna, dell'accelerazione massima (PGA) attesa in funzione della profondità per i tre terremoti di input e per la loro mediana. Si nota un generale progressivo aumento del valore di PGA al diminuire della profondità a partire dai 10-13 metri, coerentemente con il modello geologico e sismo-stratigrafico dell'area.

I fattori di amplificazione della PGA per i 3 segnali di input variano tra 1.53 a 1.73, con un  $F_{PGA}$  medio pari a 1.62 e quindi leggermente inferiore a quello previsto dalle carte di microzonazione (Regione Emilia-Romagna e Gruppo di lavoro MS Emilia 2012, 2013) nell'area in oggetto (1.7).



## GIUDIZIO DI FATTIBILITÀ DEGLI INTERVENTI EDILIZI

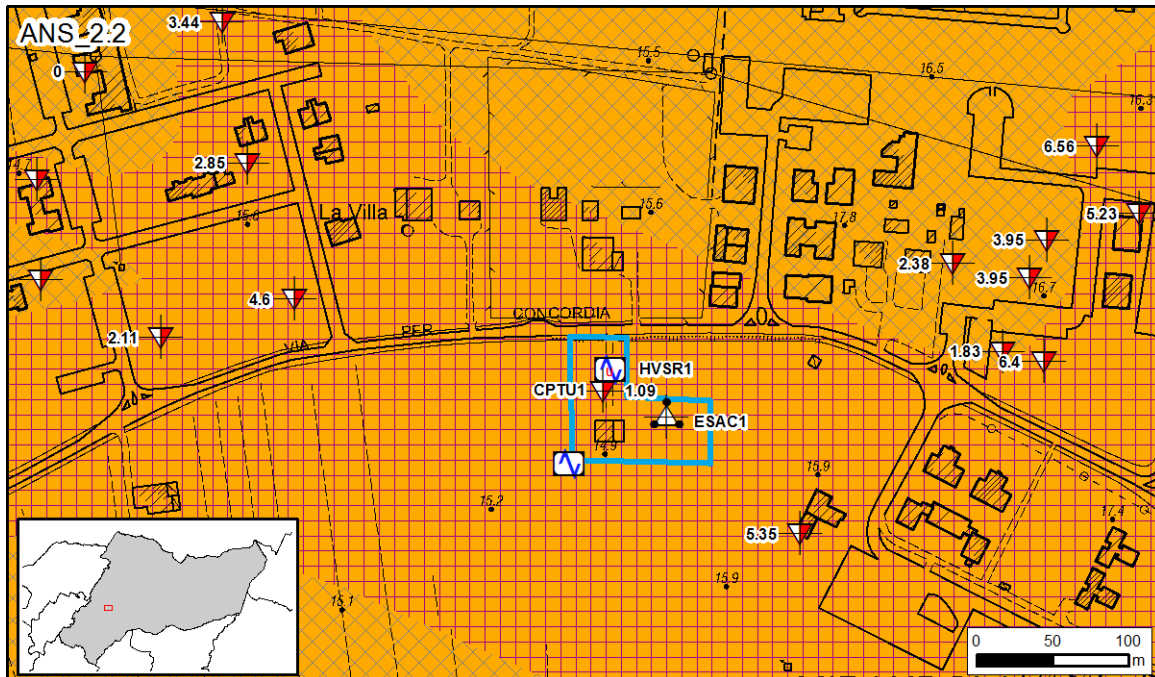
Per quanto concerne la riduzione del rischio sismico vale quanto indicato nelle Norme di Attuazione del PSC (Comune di Mirandola, 2014), a cui si rimanda per ogni dettaglio e di cui si riportano di seguito alcuni estratti.

Per l'area in esame, in particolare, in considerazione della variabilità litologica riscontrata nei primi metri e degli indici di liquefazione calcolati (rischio da basso a moderato), per ogni intervento edilizio dovranno essere sempre verificati l'approfondimento e l'estensione dei livelli potenzialmente liquefacibili, sia superficiali (entro i primi 10 metri) che profondi (oltre i 10 metri), attraverso un numero adeguato di indagini in situ che permettano una buona definizione tessiturale dei depositi e un affidabile calcolo degli indici del potenziale di liquefazione (prove penetrometriche statiche con punta elettrica e/o piezocono spinte ad almeno 20 metri di profondità). *Se l'indice di liquefazione (LPI) risulterà pari o superiore a 2, per il calcolo dell'azione di sismica ai fini della progettazione non è ammesso l'approccio semplificato* (Comune di Mirandola, 2014) e dovranno quindi essere eseguiti calcoli della risposta sismica locale con modellazione numerica considerando le specificità delle singole opere in progetto e non potrà essere utilizzato, se non come riferimento indicativo preliminare, il calcolo eseguito in questa fase di pianificazione. *Inoltre dovranno essere valutati i potenziali cedimenti e per opere di particolare interesse pubblico o strategico, classi d'uso 3 e 4, si raccomandano interventi di mitigazione del rischio di liquefazione (consolidamento del terreno di fondazione, interventi per la riduzione delle pressioni interstiziali, ecc.)* (Comune di Mirandola, 2014).

Si dovrà porre particolare attenzione inoltre alle interferenze tra le fondazioni ed eventuali manufatti interrati con la falda. Le caratteristiche geomeccaniche scadenti dei livelli plastici presenti in superficie dovranno essere puntualmente verificate con ulteriori indagini in fase di progettazione degli interventi, in particolare nel caso in cui si preveda la realizzazione di edifici con fondazioni superficiali, valutandone i cedimenti assoluti e adottando nel caso gli idonei interventi di mitigazione.

## ANS\_2.2 - MIRANDOLA

L'ambito di nuovo insediamento, contiguo all'urbanizzato e destinato alla residenza e ad attività complementari alla residenza, è localizzato sulla via per Concordia e si sviluppa a sud dell'infrastruttura d'accesso al capoluogo. L'area oggetto di studio rappresenta l'intero ambito, che non era stato sottoposto a specifica caratterizzazione geologica nel PRG.

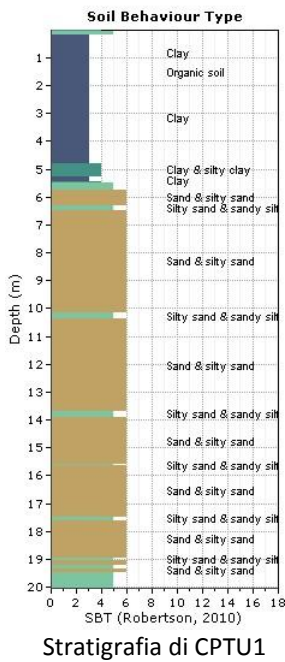


La carta dei fattori di amplificazione e del rischio di liquefazione, realizzata a seguito dell'Ordinanza n.70/2012, segnala la presenza in tutta l'area indagata di terreni suscettibili di liquefazione già nei primi 10 metri dal piano campagna e indica i seguenti fattori di amplificazione:

$$F_{PGA} = 1.7; F_{H0.1s-0.5s} = 1.9; F_{H0.5s-1} = 2.6$$



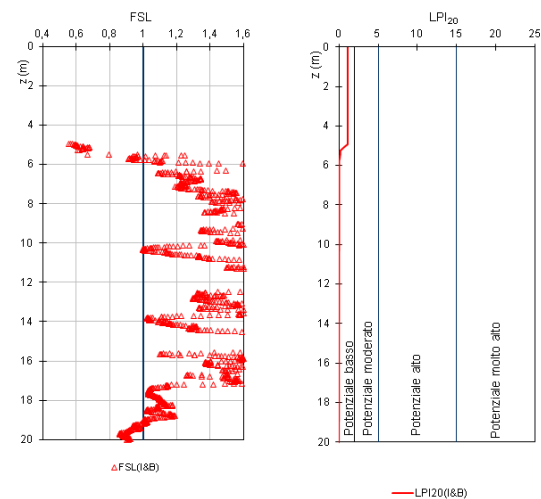
Porzione dell'area oggetto di studio vista da nord (CPTU1)



Stratigrafia di CPTU1

### MODELLO GEOLOGICO

L'ambito, sulla base dei risultati della prova CPTU1, risulta caratterizzato dalla presenza di circa 1 metro di terreno argilloso sovraconsolidato, al di sotto del quale e fino a 5 metri da p.c. si rinvengono argille a consistenza media con un livello più plastico tra 3,5 e 4,7 m ( $Q_c$  tra 10 e 18  $\text{kg/cm}^2$  e  $F_s/Q_c$  tra 5 e 7). Al di sotto e fino a 17 metri di profondità si rinviene un orizzonte sabbioso con addensamento medio ( $Q_c > 100 \text{ kg/cm}^2$ ) che risulta sporadicamente alternato da limi sabbiosi consistenti. Tra 17 e 20 metri sono invece presenti sabbie limose addensate ( $Q_c$  tra 70 e 90  $\text{kg/cm}^2$ ).  
Il livello di falda, misurato al termine della prova, è pari a circa 2 metri da p.c..



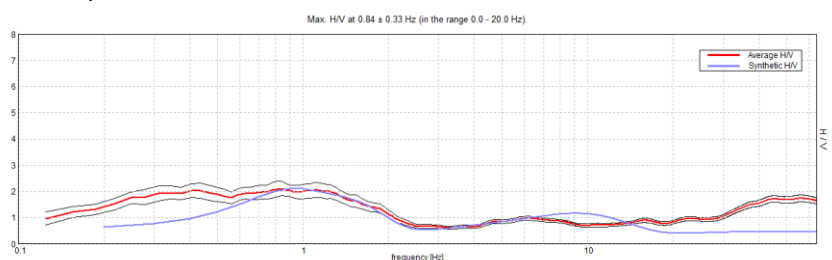
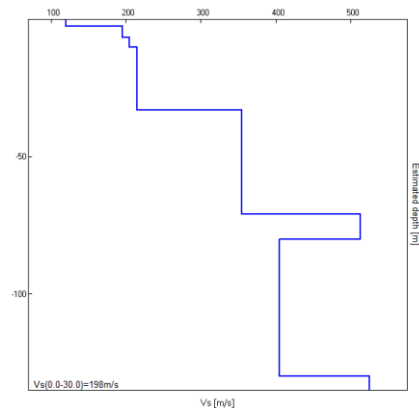
CPTU1: grafici di FSL e LPI con la profondità

### POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Sulla base dell'indagine realizzata (CPTU1) è stato calcolato un indice (LPI) pari a 1.09 (rischio basso). In ogni caso questa porzione del territorio comunale risulta caratterizzata dalla presenza di depositi granulari saturi entro i primi 10 metri dal p.c., che a brevi distanze dall'area indagata hanno restituito valori di indice (LPI) superiori con un rischio da moderato a elevato.

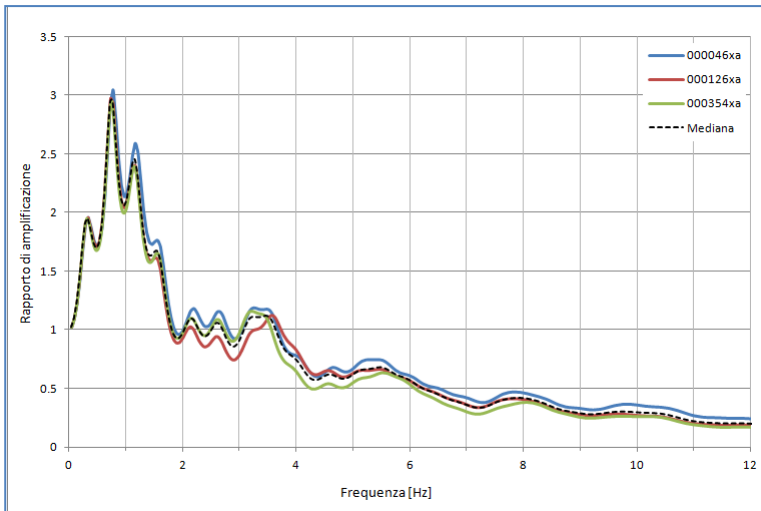
### MODELLO SISMO-STRATIGRAFICO

Per la caratterizzazione sismostratigrafica dell'area sono stati utilizzati i dati della indagine ESAC1 (fino a 80 metri) per realizzare il fit congiunto con della curva del rapporto H/V (HVSr1, sotto) e modellare il profilo di velocità fino a circa 130 metri (a sinistra), in corrispondenza del picco di frequenza fondamentale F<sub>0</sub> dell'area (0.84 Hz).

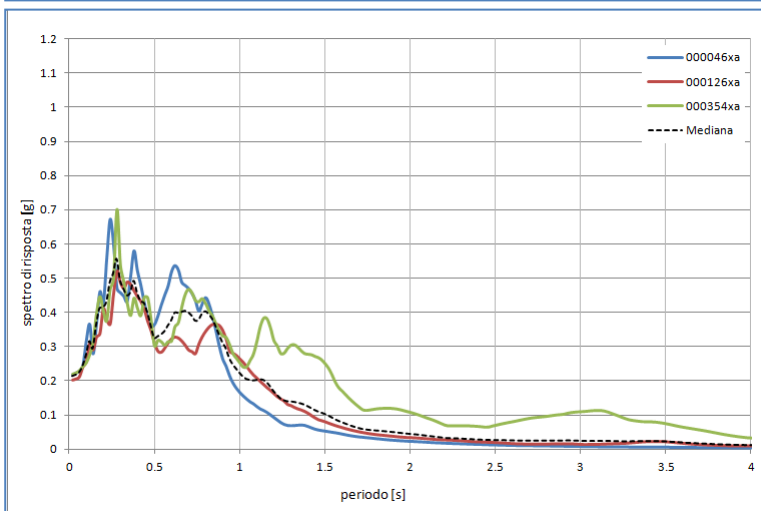




## RISPOSTA SISMICA LOCALE CON MODELLAZIONE NUMERICA



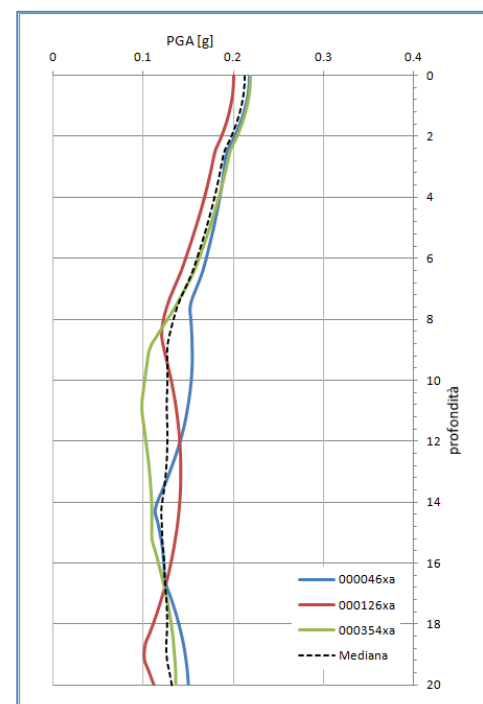
Nella figura a sinistra si riporta il rapporto tra lo spettro al bedrock e quello atteso in superficie in funzione della frequenza per i tre accelerogrammi di input e per la loro mediana. Si osserva la massima amplificazione a frequenza poco inferiore a 1 Hz, dato coerente con quanto riscontrato dalle misure di rumore ambientale, e a diverse altre frequenze, alcune delle quali sono armoniche superiori. La visibilità di queste ultime appare legata al basso smorzamento delle coperture.



Nella figura a sinistra sono riportati gli spettri di risposta dell'oscillatore armonico tipo ad un grado di libertà, in funzione del periodo proprio della struttura e per uno smorzamento tipico del 5%, ottenuti a partire dagli accelerogrammi di figura 3 e lo spettro mediano. È evidente come gli spettri di risposta ottenuti risentano significativamente del moto di input, risultando quindi piuttosto differenti per i tre accelerogrammi utilizzati. (segnali di riferimento DAL n.112/2007).

Nella figura a destra è riportato l'andamento, nei primi 20 metri al di sotto del piano campagna, dell'accelerazione massima (PGA) attesa in funzione della profondità per i tre terremoti di input e per la loro mediana. Si nota un generale progressivo aumento del valore di PGA al diminuire della profondità a partire dai 6 metri, coerentemente con il modello geologico e sismo-stratigrafico dell'area.

I fattori di amplificazione della PGA per i 3 segnali di input variano tra 1.42 a 1.55, con un  $F_{PGA}$  medio pari a 1.51 e quindi inferiore a quello previsto dalle carte di microzonazione (Regione Emilia-Romagna e Gruppo di lavoro MS Emilia 2012, 2013) nell'area in oggetto (1.7).



## GIUDIZIO DI FATTIBILITÀ DEGLI INTERVENTI EDILIZI

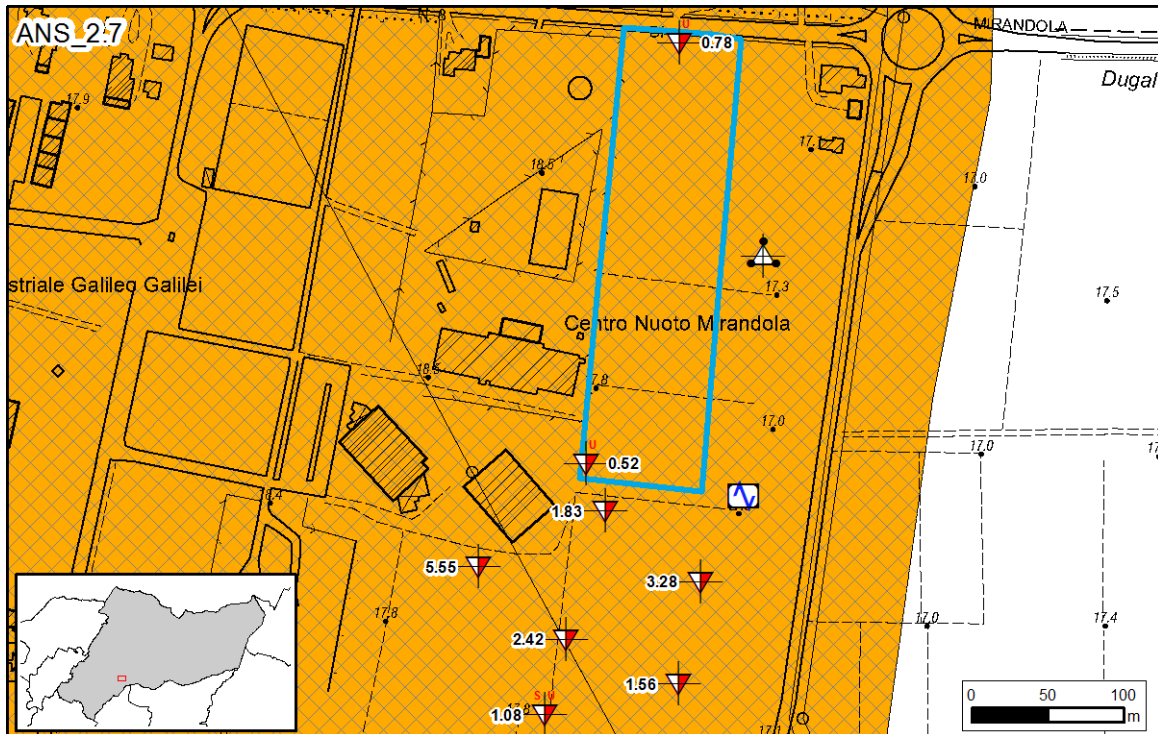
Per quanto concerne la riduzione del rischio sismico vale quanto indicato nelle Norme di Attuazione del PSC (Comune di Mirandola, 2014), a cui si rimanda per ogni dettaglio e di cui si riportano di seguito alcuni estratti.

Per l'area in esame, anche in considerazione dei dati delle indagini in aree limitrofe, che indicano una maggior propensione dei terreni alla liquefazione rispetto a quanto evidenziato dall'unica prova eseguita, per ogni intervento edilizio dovranno essere sempre verificati l'approfondimento e l'estensione dei livelli potenzialmente liquefacibili, sia superficiali (entro i primi 10 metri) che profondi (oltre i 10 metri), attraverso un numero adeguato di indagini in situ che permettano una buona definizione tessiturale dei depositi e un affidabile calcolo degli indici del potenziale di liquefazione (prove penetrometriche statiche con punta elettrica e/o piezocono spinte ad almeno 20 metri di profondità). *Se l'indice di liquefazione (LPI) risulterà pari o superiore a 2, per il calcolo dell'azione di sismica ai fini della progettazione non è ammesso l'approccio semplificato* (Comune di Mirandola, 2014) e dovranno quindi essere eseguiti calcoli della risposta sismica locale con modellazione numerica considerando le specificità delle singole opere in progetto e non potrà essere utilizzato, se non come riferimento indicativo preliminare, il calcolo eseguito in questa fase di pianificazione. *Inoltre dovranno essere valutati i potenziali cedimenti e per opere di particolare interesse pubblico o strategico, classi d'uso 3 e 4, si raccomandano interventi di mitigazione del rischio di liquefazione (consolidamento del terreno di fondazione, interventi per la riduzione delle pressioni interstiziali, ecc.)* (Comune di Mirandola, 2014).

Si dovrà porre particolare attenzione alle interferenze tra le fondazioni ed eventuali manufatti interrati con la falda. Le caratteristiche geomeccaniche dei livelli argillosi presenti in superficie risultano discrete (Cu compresa tra 0.5 e 0.8 kg/cm<sup>2</sup>). Si dovranno comunque valutare i cedimenti assoluti in fase di progettazione degli interventi.

## ANS\_2.7 - MIRANDOLA

L'ambito, in cui si prevede di insediare preferibilmente attrezzature collettive ad integrazione di quelle già esistenti, è localizzato a est del capoluogo dove sono infatti concentrate attrezzature sportive e scolastiche di rango territoriale. L'area oggetto di studio rappresenta l'intero ambito e ha uno sviluppo perpendicolare all'asse stradale e si dispone internamente all'isolato dove è localizzato il polo sportivo-scolastico di Mirandola. Ad ovest confina con il complesso del centro nuoto comunale, mentre a est, fino alla tangenziale, è presente uno spazio agricolo residuale.

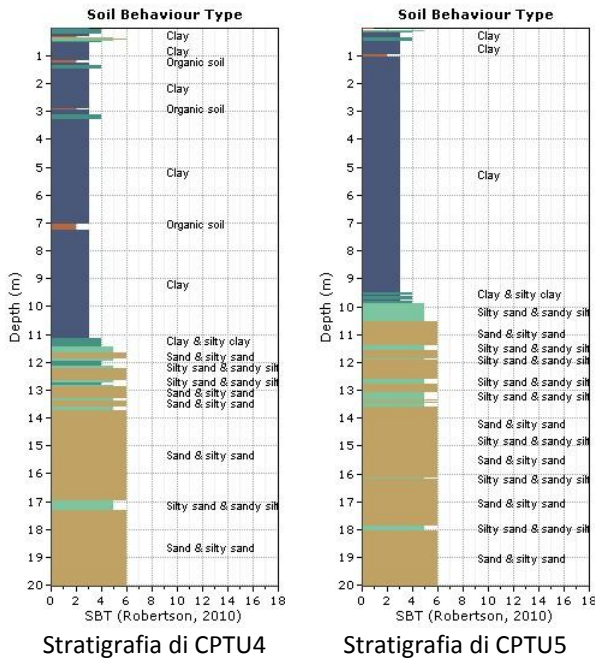


La carta dei fattori di amplificazione e del rischio di liquefazione, realizzata a seguito dell'Ordinanza n.70/2012, segnala la presenza in tutta l'area indagata di terreni suscettibili di liquefazione tra 10 e 20 metri dal piano campagna e indica i seguenti fattori di amplificazione:

$$F_{PGA} = 1.7; F_{H 0.1s-0.5s} = 1.9; F_{H 0.5s-1} = 2.6$$



Porzione dell'area oggetto di studio vista da sud-ovest (CPTU5)



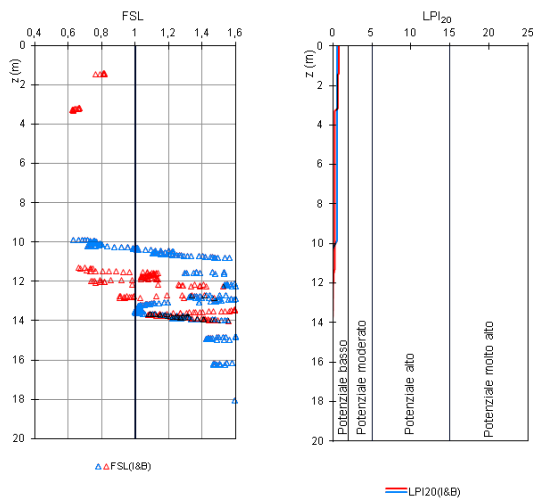
Stratigrafia di CPTU4

Stratigrafia di CPTU5

### MODELLO GEOLOGICO

Per la caratterizzazione dell'area in esame sono disponibili dati geognostici di nuova acquisizione (CPTU4, a nord e CPTU5, a sud).

L'ambito è caratterizzato dalla presenza di circa 1 metro di terreno argilloso sovraconsolidato al di sotto del quale si rinvencono argille e argille limose da mediamente consistenti a compatte ( $Q_c$  tra 15 e 25  $kg/cm^2$  e  $F_s/Q_c$  tra 4,5 e 7) fino alla profondità di 10-11 metri con un livello poco consistente tra 6 e 8 m da p.c.. Al di sotto e fino alla massima profondità di indagine (20 metri) sono presenti sabbie limose e limi sabbiosi variamente alternati con addensamento da medio ad elevato ( $Q_c$  tra 75 e 160 e  $F_s/Q_c$  tra 1 e 2). Il livello di falda misurato alla fine delle prove penetrometriche statiche è compreso tra 2 e 2,5 metri da p.c..



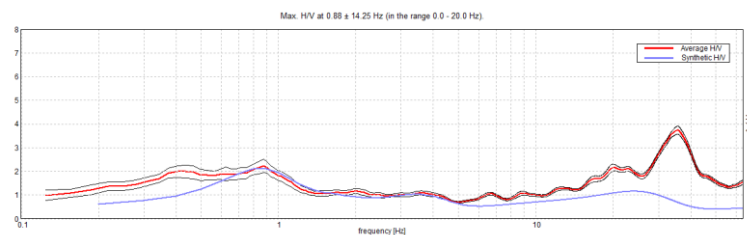
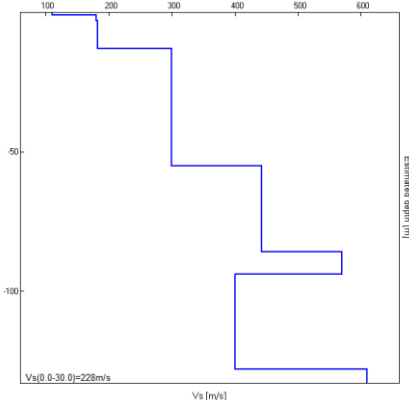
CPTU4 (rosso) e CPTU5 (blu): grafici di FSL e LPI

### POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

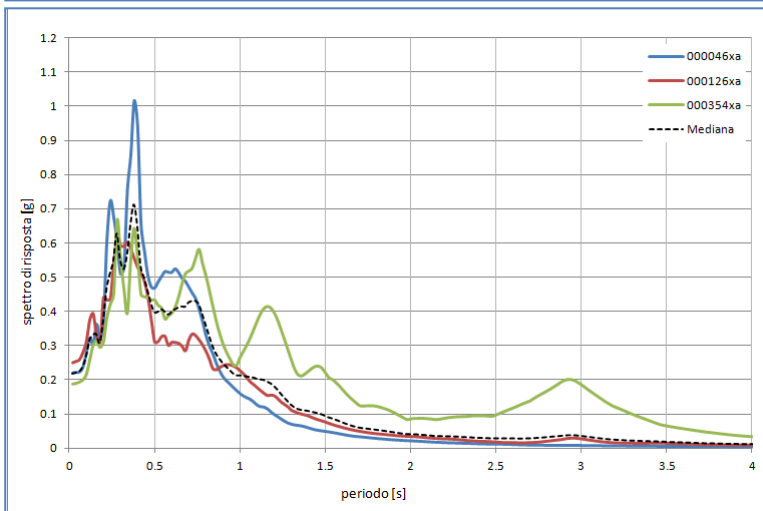
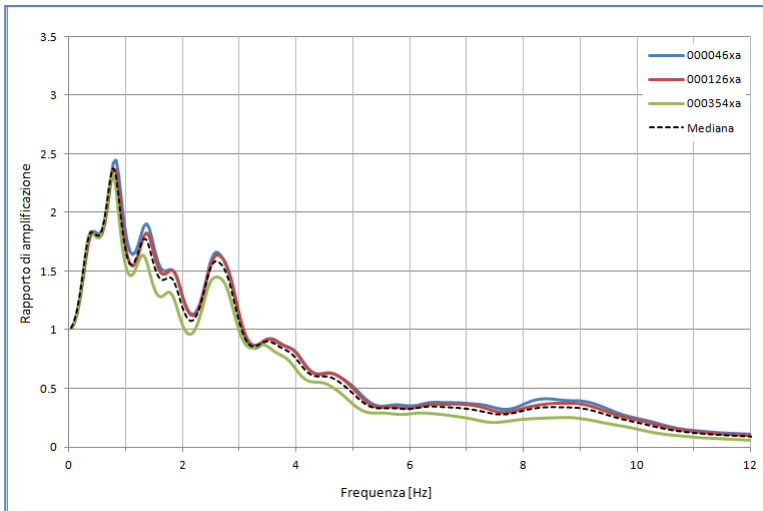
Le verifiche eseguite sulle due indagini di nuova realizzazione hanno restituito indici (LPI) simili (0.78 e 0.52), definendo per l'area un rischio basso. È però opportuno tenere presente che immediatamente a sud dell'area sono presenti verticali che hanno restituito valori di rischio moderato e in un caso elevato, per cui non si può escludere la presenza nell'ambito in oggetto di lenti di depositi con maggiore suscettibilità alla liquefazione. Coerentemente con quanto indicato nella carta di microzonazione sismica, i livelli suscettibili di liquefazione si rinvencono al di sotto dei primi 10 metri dal p.c., eccetto che per sottili livelli decimetrici individuati da CPTU4 tra 1,5 e 4 metri.

### MODELLO SISMO-STRATIGRAFICO

Per la caratterizzazione sismostratigrafica dell'area sono stati utilizzati i della indagine ESAC4 (fino a 90 metri) per realizzare il fit congiunto con della curva del rapporto H/V (HVSr7, sotto) e modellare il profilo di velocità fino a circa 130 metri (a sinistra), in corrispondenza del picco di frequenza fondamentale  $F_0$  dell'area (0.88 Hz).



## RISPOSTA SISMICA LOCALE CON MODELLAZIONE NUMERICA

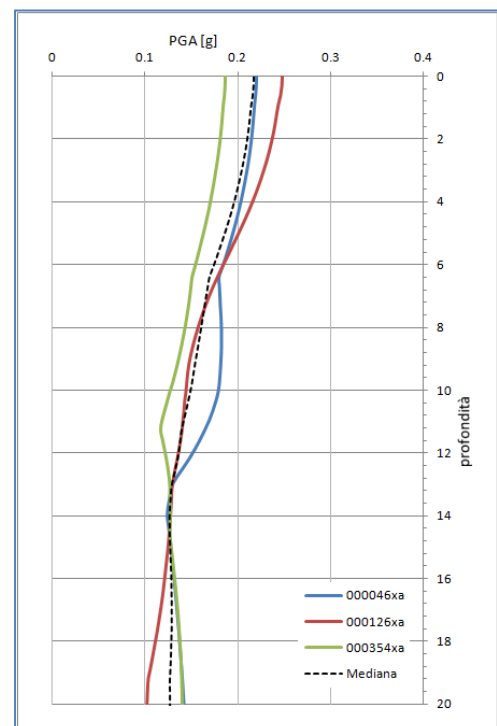


Nella figura a destra è riportato l'andamento, nei primi 20 metri al di sotto del piano campagna, dell'accelerazione massima (PGA) attesa in funzione della profondità per i tre terremoti di input e per la loro mediana. Si nota un generale progressivo aumento del valore di PGA al diminuire della profondità a partire da 11-12 metri, coerentemente con il modello geologico e sismo-stratigrafico dell'area.

I fattori di amplificazione della PGA per i 3 segnali di input variano tra 1.32 a 1.76, con un  $F_{PGA}$  medio pari a 1.54 e quindi inferiore a quello previsto dalle carte di microzonazione (Regione Emilia-Romagna e Gruppo di lavoro MS Emilia 2012, 2013) nell'area in oggetto (1.7).

Nella figura a sinistra si riporta il rapporto tra lo spettro al bedrock e quello atteso in superficie in funzione della frequenza per i tre accelerogrammi di input e per la loro mediana. Si osserva la massima amplificazione a frequenza poco inferiore a 1 Hz, dato coerente con quanto riscontrato dalle misure di rumore ambientale, e a diverse altre frequenze, alcune delle quali sono armoniche superiori. La visibilità di queste ultime appare legata al basso smorzamento delle coperture.

Nella figura a sinistra sono riportati gli spettri di risposta dell'oscillatore armonico tipo ad un grado di libertà, in funzione del periodo proprio della struttura e per uno smorzamento tipico del 5%, ottenuti a partire dagli accelerogrammi di figura 3 e lo spettro mediano. È evidente come gli spettri di risposta ottenuti risentano significativamente del moto di input, risultando quindi piuttosto differenti per i tre accelerogrammi utilizzati. (segnali di riferimento DAL n.112/2007).



## GIUDIZIO DI FATTIBILITÀ DEGLI INTERVENTI EDILIZI

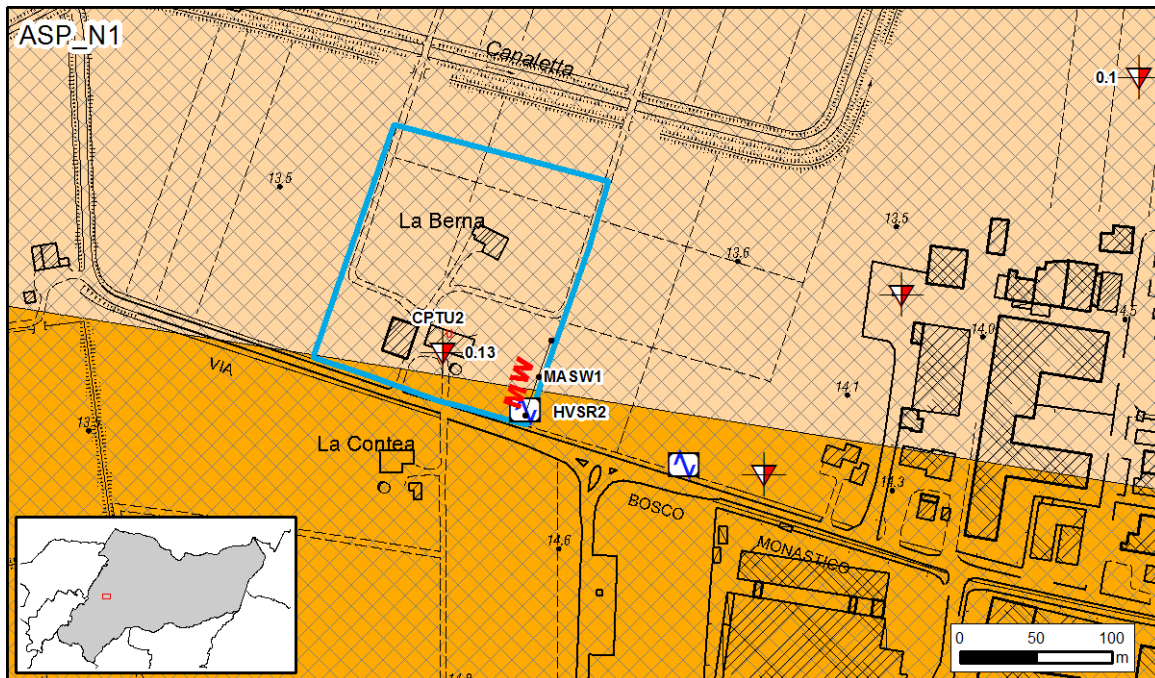
Per quanto concerne la riduzione del rischio sismico vale quanto indicato nelle Norme di Attuazione del PSC (Comune di Mirandola, 2014), a cui si rimanda per ogni dettaglio e di cui si riportano di seguito alcuni estratti.

Per l'area in esame, anche in considerazione dei dati delle indagini pregresse eseguite immediatamente a sud, che indicano una maggior propensione dei terreni alla liquefazione rispetto a quanto evidenziato dalle due prove eseguite, per ogni intervento edilizio dovranno essere sempre verificati l'approfondimento e l'estensione dei livelli potenzialmente liquefacibili, sia superficiali (entro i primi 10 metri) che profondi (oltre i 10 metri), attraverso un numero adeguato di indagini in situ che permettano una buona definizione tessiturale dei depositi e un affidabile calcolo degli indici del potenziale di liquefazione (prove penetrometriche statiche con punta elettrica e/o piezocono spinte ad almeno 20 metri di profondità). *Se l'indice di liquefazione (LPI) risulterà pari o superiore a 2, per il calcolo dell'azione di sismica ai fini della progettazione non è ammesso l'approccio semplificato* (Comune di Mirandola, 2014) e dovranno quindi essere eseguiti calcoli della risposta sismica locale con modellazione numerica considerando le specificità delle singole opere in progetto e non potrà essere utilizzato, se non come riferimento indicativo preliminare, il calcolo eseguito in questa fase di pianificazione. *Inoltre dovranno essere valutati i potenziali cedimenti e per opere di particolare interesse pubblico o strategico, classi d'uso 3 e 4, si raccomandano interventi di mitigazione del rischio di liquefazione (consolidamento del terreno di fondazione, interventi per la riduzione delle pressioni interstiziali, ecc.)* (Comune di Mirandola, 2014).

Si dovrà porre particolare attenzione alle interferenze tra le fondazioni e gli eventuali manufatti interrati con la falda. Le caratteristiche geomeccaniche dei livelli argillosi presenti in superficie risultano discrete (Cu compresa tra 0.7 e 0.9 kg/cm<sup>2</sup>). Si dovranno comunque valutare i cedimenti assoluti in fase di progettazione degli interventi.

## ASP\_N1 - MIRANDOLA

L'ambito, in cui si prevede di insediare delle attività produttive, è localizzato a ovest del capoluogo in continuità con l'insediamento esistente organizzato su via Bosco. Occupa una porzione di campagna che completa l'insediamento produttivo tra via Bosco, il canale di Gavello e la statale 12. L'area oggetto di studio rappresenta solo la porzione più occidentale dell'ambito che non era stata sottoposta a specifica caratterizzazione geologica nel PRG.



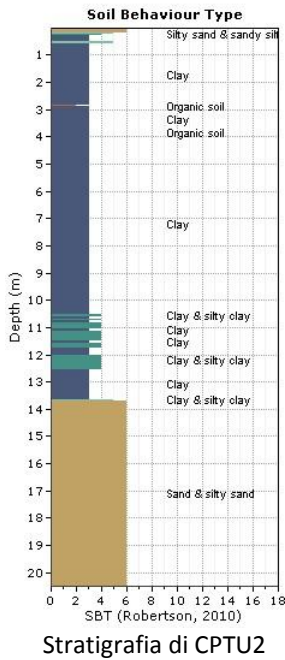
La carta dei fattori di amplificazione e del rischio di liquefazione, realizzata a seguito dell'Ordinanza n.70/2012, segnala la presenza in tutta l'area indagata di terreni suscettibili di liquefazione tra 10 e 20 metri dal piano campagna e indica i seguenti fattori di amplificazione:

$$F_{PGA} = 1.5; F_{H0.1s-0.5s} = 1.8; F_{H0.5s-1} = 2.5 \text{ (su circa il 90\% dell'area, porzione nord)}$$

$$F_{PGA} = 1.7; F_{H0.1s-0.5s} = 1.9; F_{H0.5s-1} = 2.6 \text{ (su circa il 10\% dell'area, porzione nord)}$$

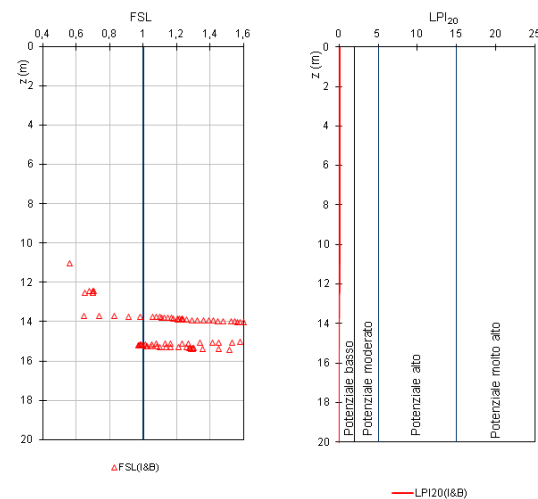


Porzione dell'area oggetto di studio vista lungo il confine sud-est (MASW1)



### MODELLO GEOLOGICO

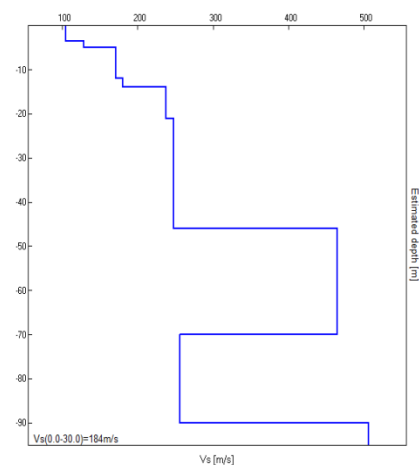
L'ambito, sulla base dei dati di CPTU2, al di sotto di circa 0,8-1 m di terreno argilloso sovraconsolidato, risulta caratterizzato dalla presenza di argille consistenti e limi argillosi mediamente consistenti ( $Q_c$  tra 10 e 20  $\text{kg/cm}^2$  e  $F_s/Q_c$  tra 3,5 e 6) fino alla profondità di circa 13,5 metri con due livelli di argille plastiche scadenti tra 1 e 1,8 m e tra 3 e 4,2 m da p.c.. La sabbia ben addensata, con valori di  $Q_c$  tra 130 e 220  $\text{kg/cm}^2$ , è presente a partire da circa 13,5 metri di profondità e fino alla massima profondità di indagine (20 metri). Il livello di falda misurato al termine della prova è pari a circa 2,7 metri da p.c..



CPTU2: grafici di FSL e LPI con la profondità

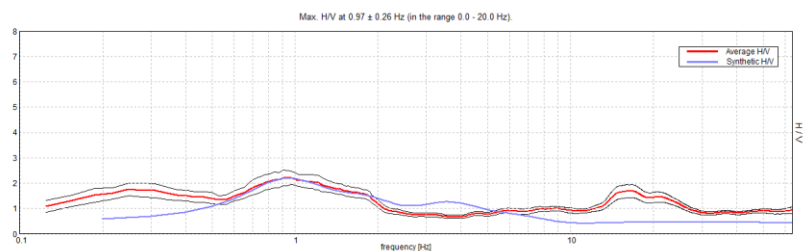
### POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Sulla base dell'indagine disponibile (CPTU2) è stato calcolato un indice (LPI) pari a 0.13 (rischio basso, quasi nullo). Questa porzione del territorio comunale risulta caratterizzata dalla presenza di depositi granulari saturi al di sotto dei primi 10 metri dal p.c., che determinano generalmente valori di indice (LPI) compresi tra 0 e 1 (rischio basso o nullo).



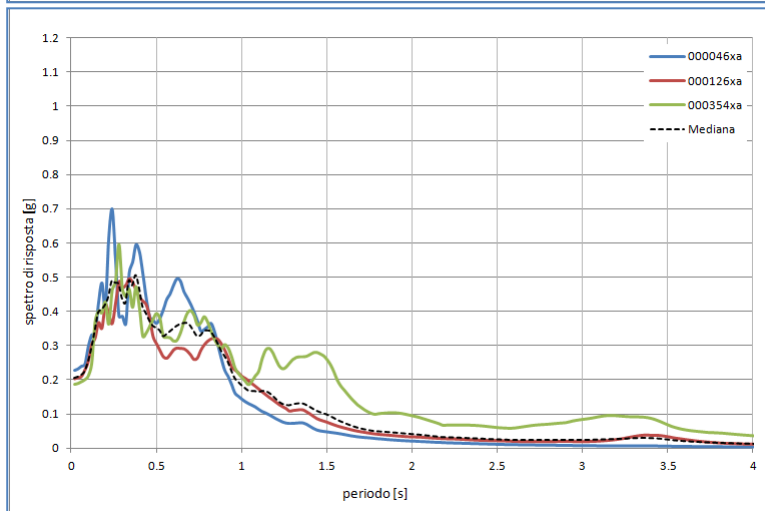
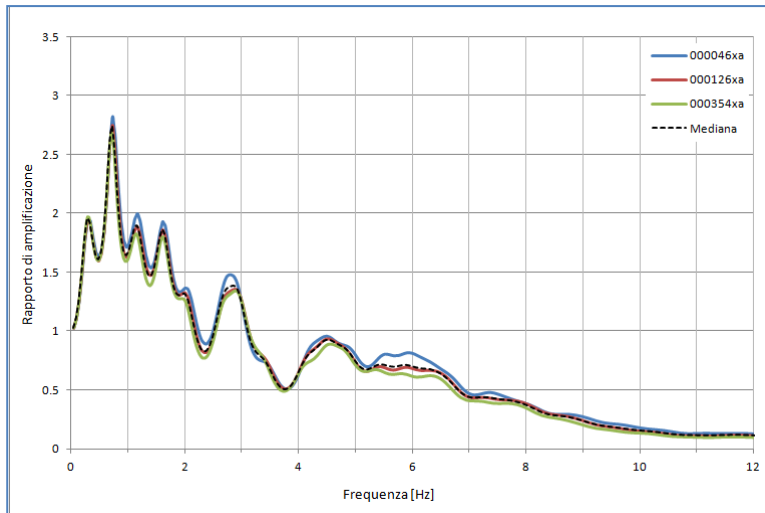
### MODELLO SISMO-STRATIGRAFICO

Per la caratterizzazione sismostratigrafica dell'area sono stati utilizzati i dati della indagine MASW1 (fino a 30 metri) per poi realizzare il fit congiunto con della curva del rapporto H/V (HVSR2, sotto) e modellare il profilo di velocità fino a circa 90 metri (a sinistra), in corrispondenza del picco di frequenza fondamentale  $F_0$  dell'area (0.97 Hz).





## RISPOSTA SISMICA LOCALE CON MODELLAZIONE NUMERICA

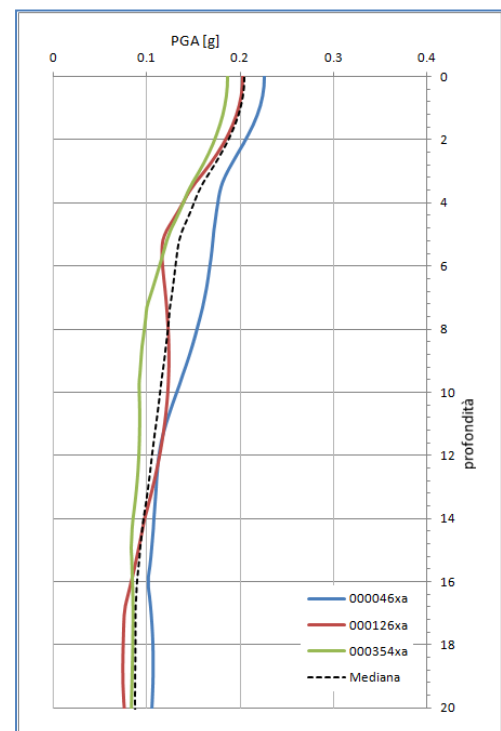


Nella figura a destra è riportato l'andamento, nei primi 20 metri al di sotto del piano campagna, dell'accelerazione massima (PGA) attesa in funzione della profondità per i tre terremoti di input e per la loro mediana. Si nota un generale progressivo aumento del valore di PGA al diminuire della profondità a partire dai 10-13 metri, coerentemente con il modello geologico e sismo-stratigrafico dell'area.

I fattori di amplificazione della PGA per i 3 segnali di input variano tra 1.32 a 1.61, con un  $F_{PGA}$  medio pari a 1.46 e quindi di poco inferiore a quello previsto dalle carte di microzonazione (Regione Emilia-Romagna e Gruppo di lavoro MS Emilia 2012, 2013) nella maggior parte dell'area in oggetto (1.5).

Nella figura a sinistra si riporta il rapporto tra lo spettro al bedrock e quello atteso in superficie in funzione della frequenza per i tre accelerogrammi di input e per la loro mediana. Si osserva la massima amplificazione a frequenza poco inferiore a 1 Hz, dato coerente con quanto riscontrato dalle misure di rumore ambientale, e a diverse altre frequenze, alcune delle quali sono armoniche superiori. La visibilità di queste ultime appare legata al basso smorzamento delle coperture.

Nella figura a sinistra sono riportati gli spettri di risposta dell'oscillatore armonico tipo ad un grado di libertà, in funzione del periodo proprio della struttura e per uno smorzamento tipico del 5%, ottenuti a partire dagli accelerogrammi di figura 3 e lo spettro mediano. È evidente come gli spettri di risposta ottenuti risentano significativamente del moto di input, risultando quindi piuttosto differenti per i tre accelerogrammi utilizzati. (segnali di riferimento DAL n.112/2007).



## GIUDIZIO DI FATTIBILITÀ DEGLI INTERVENTI EDILIZI

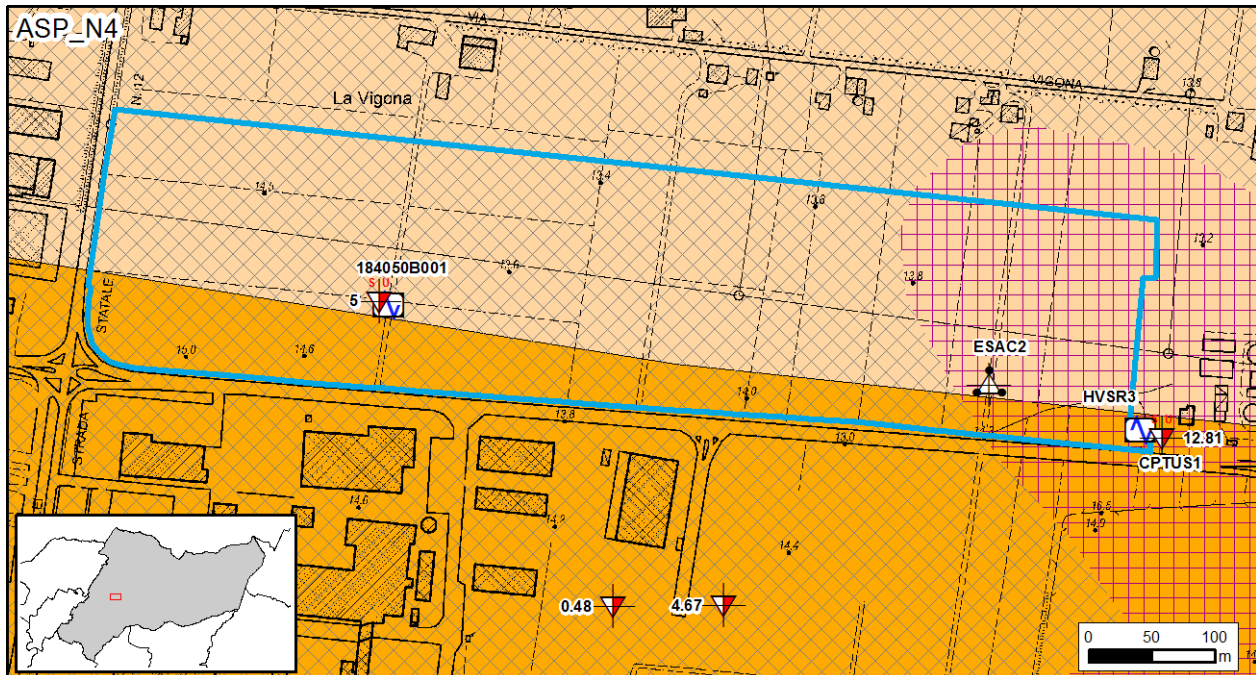
Per quanto concerne la riduzione del rischio sismico vale quanto indicato nelle Norme di Attuazione del PSC (Comune di Mirandola, 2014), a cui si rimanda per ogni dettaglio e di cui si riportano di seguito alcuni estratti.

Per l'area in esame risulta, dall'indagine eseguita, un valore del potenziale di liquefazione molto basso. Si trova infatti entro un'ampia porzione del territorio comunale valutata complessivamente a basso rischio. In considerazione del fatto che la conoscenza stratigrafica dell'area è però basata su uno scarso numero di indagini dirette, si dovrà comunque prevedere, nelle fasi esecutive, un'approfondita campagna di prove geognostiche. Per ogni intervento edilizio dovranno essere sempre verificati l'approfondimento e l'estensione dei livelli potenzialmente liquefacibili, sia superficiali (entro i primi 10 metri) che profondi (oltre i 10 metri), attraverso un numero adeguato di indagini in situ che permettano una buona definizione tessiturale dei depositi e un affidabile calcolo degli indici del potenziale di liquefazione (prove penetrometriche statiche con punta elettrica e/o piezocono spinte ad almeno 20 metri di profondità). *Se l'indice di liquefazione (LPI) risulterà pari o superiore a 2, per il calcolo dell'azione di sismica ai fini della progettazione non è ammesso l'approccio semplificato* (Comune di Mirandola, 2014) e dovranno quindi essere eseguiti calcoli della risposta sismica locale con modellazione numerica considerando le specificità delle singole opere in progetto e non potrà essere utilizzato, se non come riferimento indicativo preliminare, il calcolo eseguito in questa fase di pianificazione. *Inoltre dovranno essere valutati i potenziali cedimenti e per opere di particolare interesse pubblico o strategico, classi d'uso 3 e 4, si raccomandano interventi di mitigazione del rischio di liquefazione (consolidamento del terreno di fondazione, interventi per la riduzione delle pressioni interstiziali, ecc.)* (Comune di Mirandola, 2014).

Si dovrà porre particolare attenzione alle interferenze tra le fondazioni e i manufatti interrati con la falda presente. Le caratteristiche geomeccaniche scadenti di livelli plastici presenti in superficie dovranno essere puntualmente verificate in fase di progettazione degli interventi tramite ulteriori indagini geognostiche. Si dovranno quindi valutare i cedimenti assoluti in fase di progettazione degli interventi e adottare, nel caso, gli opportuni interventi di mitigazione.

## ASP\_N4 - MIRANDOLA

L'ambito, localizzato a nord del capoluogo, prevede l'insediamento di attività produttive, in relazione alla presenza della tangenziale nord. L'area oggetto di studio rappresenta l'intero ambito produttivo di nuovo insediamento di maggiore estensione previsto dal piano e si sviluppa a nord della tangenziale, asse principale di riferimento. Confina a sud e a ovest con gli insediamenti produttivi esistenti e in corso di realizzazione, mentre a est è contiguo all'insediamento del depuratore comunale. A nord l'ambito confina con il sistema insediativo rurale sorto a sud di via Vigona.



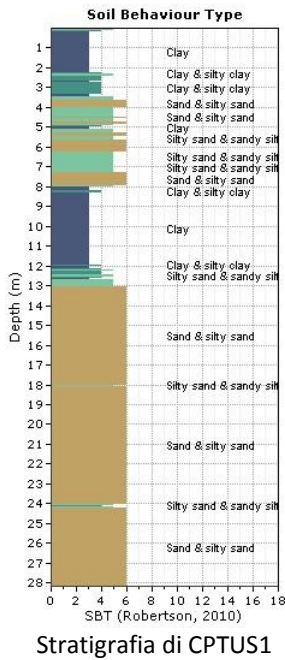
La carta dei fattori di amplificazione e del rischio di liquefazione, realizzata a seguito dell'Ordinanza n.70/2012, segnala la presenza di terreni suscettibili di liquefazione già nei primi 10 metri dal piano campagna nella zona est dell'area indagata (retino rosso) e tra 10 e 20 metri dal piano campagna nella restante porzione (retino grigio) e indica i seguenti fattori di amplificazione:

$F_{PGA} = 1.5$ ;  $F_{H.0.1s-0.5s} = 1.8$ ;  $F_{H.0.5s-1} = 2.5$  (su circa il 70% dell'area, porzione nord)

$F_{PGA} = 1.7$ ;  $F_{H.0.1s-0.5s} = 1.9$ ;  $F_{H.0.5s-1} = 2.6$  (su circa il 30% dell'area, porzione nord)

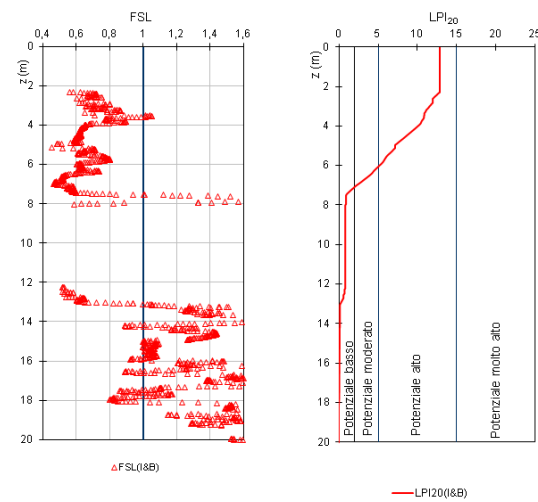


Porzione meridionale dell'area oggetto di studio vista da sud-est (CPTUS1)



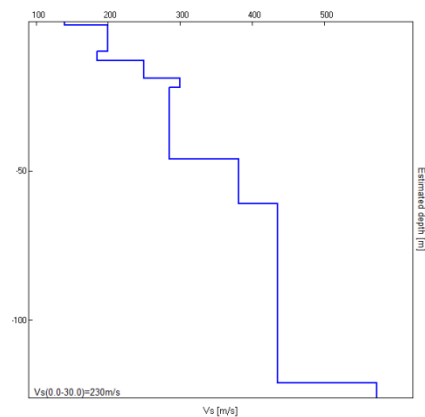
### MODELLO GEOLOGICO

Per la caratterizzazione dell'area in esame sono disponibili dati geognostici di nuova acquisizione (CPTUS1, est) e di repertorio (CPTU 184050B001, ovest). L'ambito è caratterizzato dalla presenza di circa 1 metro di terreno argilloso sovraconsolidato al di sotto del quale si rinvencono argille consistenti e limi argillosi mediamente consistenti ( $Q_c$  tra 10 e 22  $\text{kg}/\text{cm}^2$  e  $F_s/Q_c$  tra 2,5 e 5) fino alla profondità di 3,5 metri nella porzione orientale del comparto e fino a circa 4,5 metri nella porzione occidentale. Al di sotto e fino a circa 12,5 metri da p.c. sono presenti, nella porzione occidentale argille e argille limose consistenti ( $Q_c$  tra 10 e 15  $\text{kg}/\text{cm}^2$  e  $F_s/Q_c$  tra 3 e 5), mentre nella porzione orientale vi è un orizzonte sabbioso da poco a mediamente addensato ( $Q_c$  tra 40 e 80  $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) fino a 8 metri, seguito dalle argille limose consistenti. Tra 13,5 e 18 metri da p.c. vi è un orizzonte sabbioso limoso con caratteristiche di addensamento medio ( $Q_c$  tra 40 e 70  $\text{kg}/\text{cm}^2$ ), al di sotto e fino alla massima profondità di indagine sono presenti sabbie molto addensate, con ghiaia oltre i 24 metri, con valori di  $Q_c$  tra 150 e 250  $\text{kg}/\text{cm}^2$ . Il livello di falda è stato misurato, al termine delle indagini, a circa 2 metri da p.c..



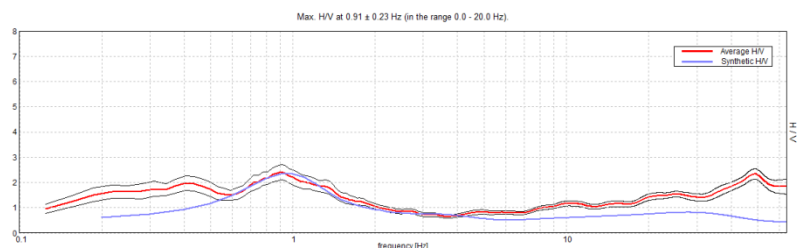
### POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Sulla base dei dati disponibili si evidenzia come l'area indagata risulti caratterizzata da un rischio elevato, con una porzione orientale (CPTUS1) in cui, in ragione della presenza di livelli granulari nei primi metri di profondità, si riscontra un indice (LPI) pari a 12.81 e una porzione occidentale (184050B001) in cui si riscontra un indice (LPI) inferiore, pari a 5. Quanto riscontrato risulta in accordo con la carta di microzonazione sismica che indica, nella porzione orientale dell'area, la presenza di terreni suscettibili di liquefazione già nei primi 10 metri dal piano campagna (CPTUS1), che sono invece stati riscontrati quasi solo oltre i 10 metri nella zona occidentale, sulla verticale di 184050B001.

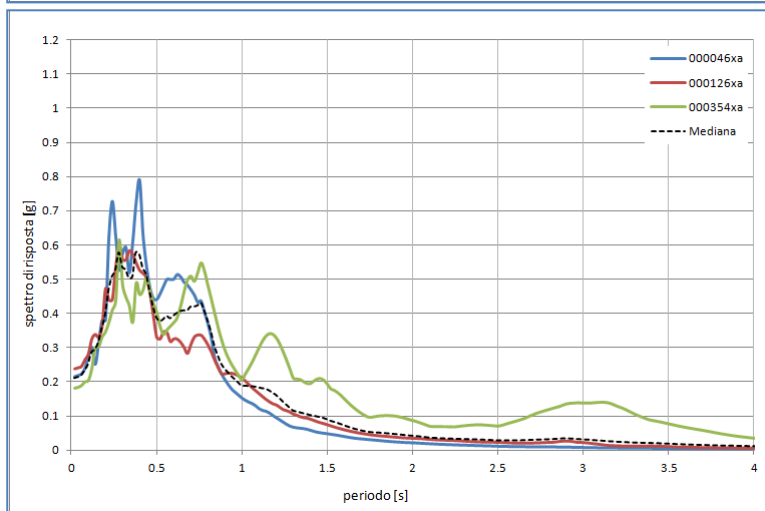
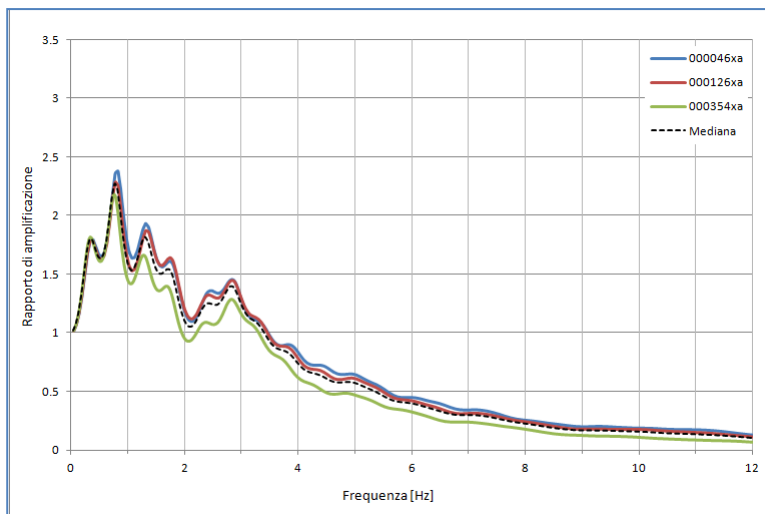


### MODELLO SISMO-STRATIGRAFICO

Per la caratterizzazione sismostratigrafica dell'area sono stati utilizzati i dati del cono sismico CPTUS1 (primi 28 metri) e della indagine ESAC2 (fino a 60 metri) per realizzare il fit congiunto con della curva del rapporto H/V (HVSr3, sotto) e modellare il profilo di velocità fino a circa 120 metri (a sinistra), in corrispondenza del picco di frequenza fondamentale  $F_0$  dell'area (0.91 Hz).



## RISPOSTA SISMICA LOCALE CON MODELLAZIONE NUMERICA

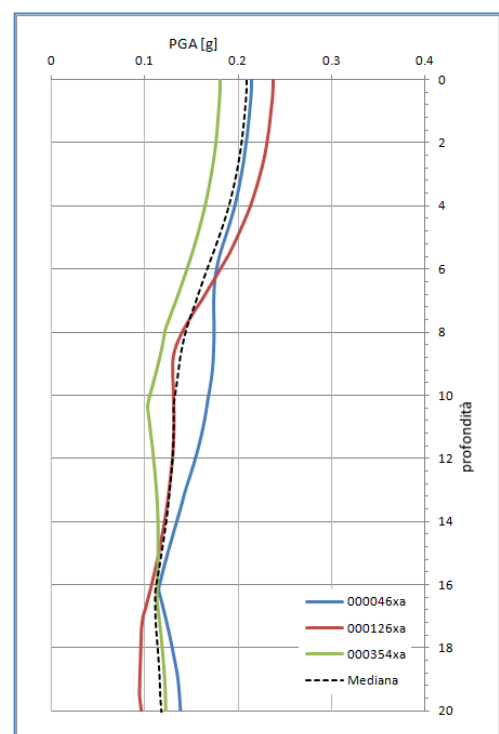


Nella figura a destra è riportato l'andamento, nei primi 20 metri al di sotto del piano campagna, dell'accelerazione massima (PGA) attesa in funzione della profondità per i tre terremoti di input e per la loro mediana. Si nota un generale progressivo aumento del valore di PGA al diminuire della profondità a partire dai 10-12 metri, coerentemente con il modello geologico e sismo-stratigrafico dell'area.

I fattori di amplificazione della PGA per i 3 segnali di input variano tra 1.28 e 1.68, con un  $F_{PGA}$  medio pari a 1.49 e quindi in linea con quello previsto dalle carte di microzonazione (Regione Emilia-Romagna e Gruppo di lavoro MS Emilia 2012, 2013) nella maggior parte dell'area in oggetto (1.5).

Nella figura a sinistra si riporta il rapporto tra lo spettro al bedrock e quello atteso in superficie in funzione della frequenza per i tre accelerogrammi di input e per la loro mediana. Si osserva la massima amplificazione a frequenza poco inferiore a 1 Hz, dato coerente con quanto riscontrato dalle misure di rumore ambientale, e a diverse altre frequenze, alcune delle quali sono armoniche superiori. La visibilità di queste ultime appare legata al basso smorzamento delle coperture.

Nella figura a sinistra sono riportati gli spettri di risposta dell'oscillatore armonico tipo ad un grado di libertà, in funzione del periodo proprio della struttura e per uno smorzamento tipico del 5%, ottenuti a partire dagli accelerogrammi di figura 3 e lo spettro mediano. È evidente come gli spettri di risposta ottenuti risentano significativamente del moto di input, risultando quindi piuttosto differenti per i tre accelerogrammi utilizzati. (segnali di riferimento DAL n.112/2007).



## GIUDIZIO DI FATTIBILITÀ DEGLI INTERVENTI EDILIZI

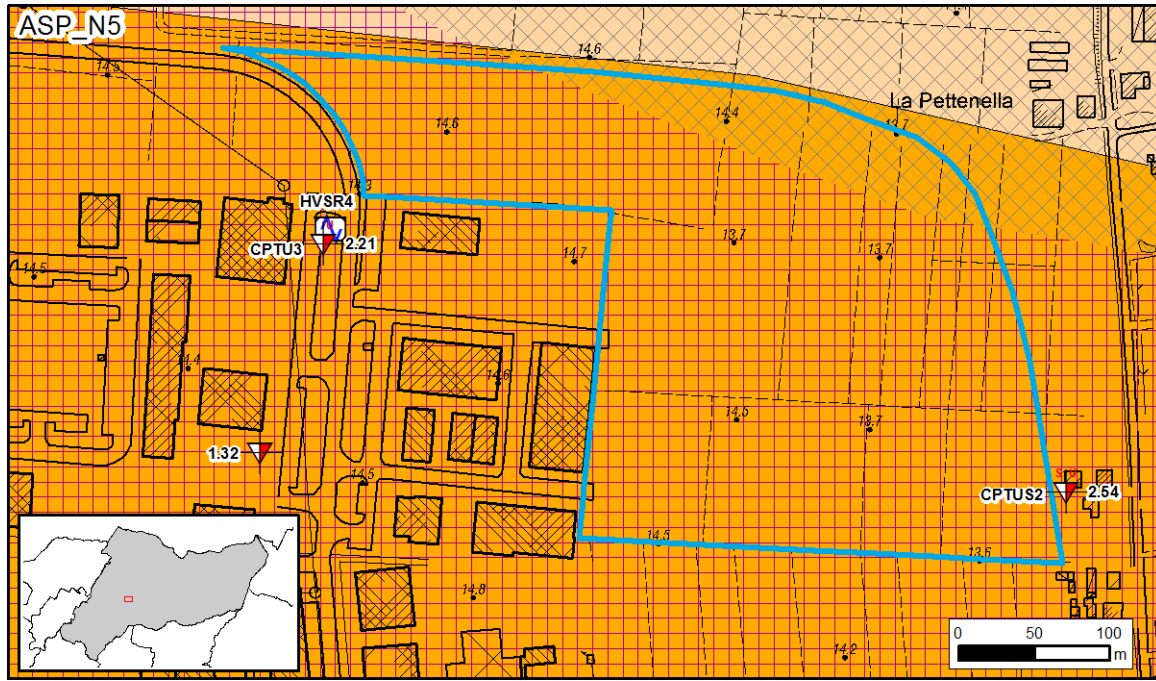
Per quanto concerne la riduzione del rischio sismico vale quanto indicato nelle Norme di Attuazione del PSC (Comune di Mirandola, 2014), a cui si rimanda per ogni dettaglio e di cui si riportano di seguito alcuni estratti.

Per l'area in esame, in considerazione dei livelli granulari saturi rinvenuti anche nei primi metri di profondità e degli alti indici del potenziale di liquefazione calcolati (rischio elevato), per ogni intervento edilizio dovranno essere sempre verificati l'approfondimento e l'estensione dei livelli potenzialmente liquefacibili, sia superficiali (entro i primi 10 metri) che profondi (oltre i 10 metri), attraverso un numero adeguato di indagini in situ che permettano una buona definizione tessiturale dei depositi e un affidabile calcolo degli indici del potenziale di liquefazione (prove penetrometriche statiche con punta elettrica e/o piezocono spinte ad almeno 20 metri di profondità). In ragione degli elevati valori degli indici di liquefazione (LPI) riscontrati, *per il calcolo dell'azione di sismica ai fini della progettazione non è ammesso l'approccio semplificato* (Comune di Mirandola, 2014) e dovranno quindi essere eseguiti calcoli della risposta sismica locale con modellazione numerica considerando le specificità delle singole opere in progetto e non potrà essere utilizzato, se non come riferimento indicativo preliminare, il calcolo eseguito in questa fase di pianificazione. Inoltre *dovranno essere valutati i potenziali cedimenti e per opere di particolare interesse pubblico o strategico, classi d'uso 3 e 4, si raccomandano interventi di mitigazione del rischio di liquefazione (consolidamento del terreno di fondazione, interventi per la riduzione delle pressioni interstiziali, ecc.)* (Comune di Mirandola, 2014).

Si dovrà porre particolare attenzione alle interferenze tra le fondazioni ed eventuali manufatti interrati con la falda presente in superficie. Le caratteristiche geomeccaniche dei livelli argillosi e limosi presenti in superficie risultano discrete ( $C_u$  tra 0.6 e 0.95 kg/cm<sup>2</sup>). Si dovranno comunque valutare i cedimenti assoluti in fase di progettazione degli interventi.

## ASP\_N5 - MIRANDOLA

L'ambito prevede il completamento degli insediamenti produttivi esistenti a nord-est del capoluogo e interessa la porzione di territorio compreso tra la tangenziale est e via Punta, strada di collegamento tra il capoluogo e Quarantoli. L'area oggetto di studio rappresenta l'intero ambito e a sud e a ovest confina con gli insediamenti produttivi esistenti, mentre a nord e a est si relaziona con il territorio rurale.

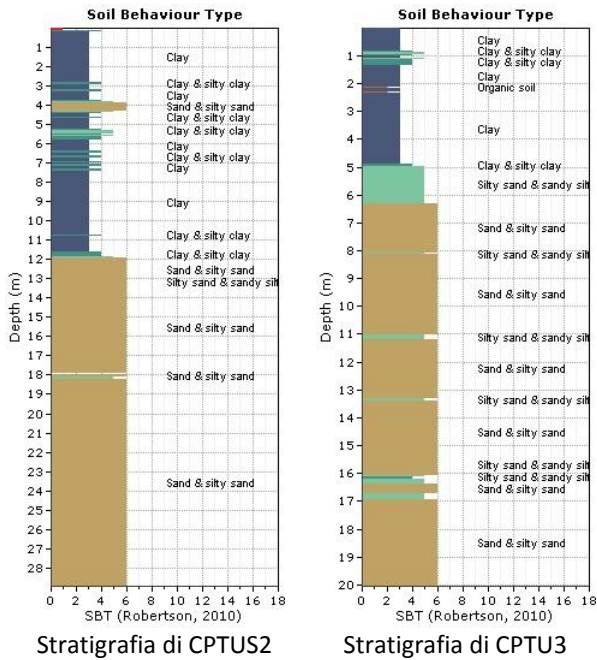


La carta dei fattori di amplificazione e del rischio di liquefazione, realizzata a seguito dell'Ordinanza n.70/2012, segnala la presenza in quasi l'area indagata di terreni suscettibili di liquefazione già nei primi 10 metri dal piano campagna (retino rosso) e indica i seguenti fattori di amplificazione:

$$F_{PGA} = 1.7; F_{H0.1s-0.5s} = 1.9; F_{H0.5s-1} = 2.6$$



Porzione meridionale dell'area oggetto di studio vista da est (CPTUS2)

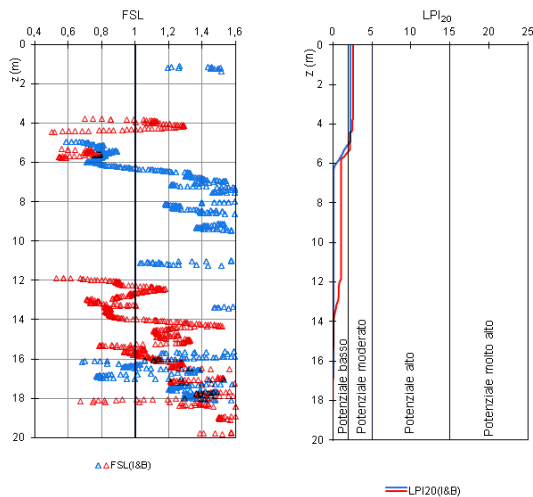


**MODELLO GEOLOGICO**

Per la caratterizzazione dell'area in esame sono disponibili dati geognostici di nuova acquisizione (CPTUS2, a est e CPTUS3, a ovest).

L'ambito è caratterizzato dalla presenza di circa 1-1,4 metri di terreno argilloso sovraconsolidato al di sotto del quale si rinvencono argille consistenti e limi argillosi mediamente consistenti ( $Q_c$  tra 10 e 20  $kg/cm^2$  e  $F_s/Q_c$  tra 2,8 e 5) fino alla profondità di 12 metri nella porzione orientale del comparto (CPTUS2) e fino a circa 5 metri nella porzione occidentale (CPTUS3). Al di sotto si rinvencono gli orizzonti sabbiosi che risultano alternati a limi: mediamente addensati nella zona ovest (CPTUS3) con  $Q_c < 120 kg/cm^2$  e maggiormente addensati nella porzione est (CPTUS2) con ( $Q_c > 130 kg/cm^2$ ). La sabbia ben addensata è presente a partire da circa 16-18 metri di profondità.

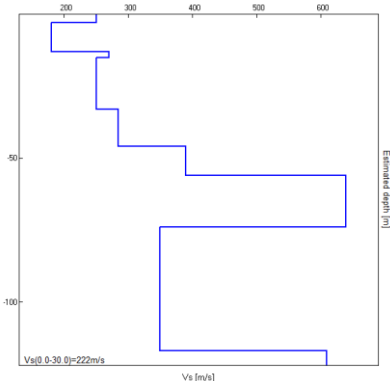
Il livello di falda, misurato al termine delle indagini, è risultato compreso tra 1 e 2 metri da p.c..



**POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE**

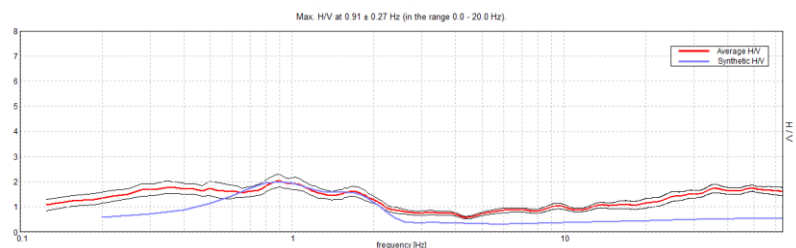
Le verifiche eseguite sulle due indagini di nuova realizzazione hanno restituito indici (LPI) simili (2.21 e 2.54), definendo per l'area un rischio moderato. Coerentemente con quanto indicato nella carta di microzonazione sismica, i livelli suscettibili di liquefazione si rinvencono già entro primi 10 metri dal p.c. su entrambe le verticali.

CPTUS2 (rosso) e CPTUS3 (blu): grafici di FSL e LPI



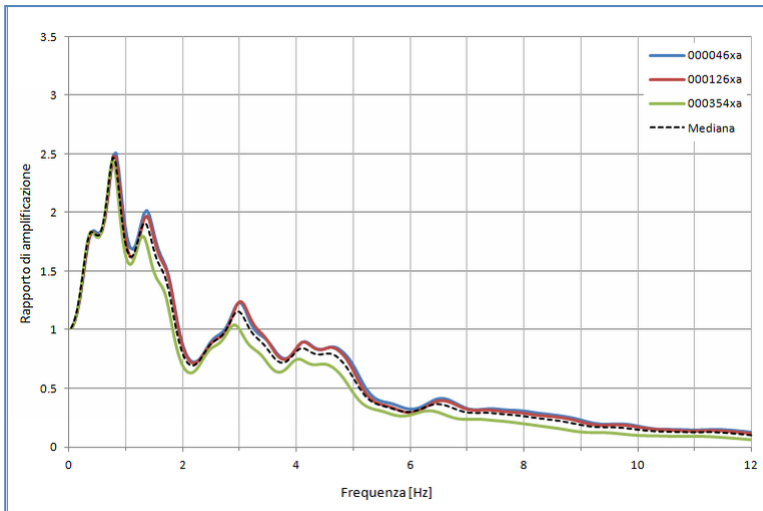
**MODELLO SISMO-STRATIGRAFICO**

Per la caratterizzazione sismostratigrafica dell'area sono stati utilizzati i dati del cono sismico CPTUS2 (primi 30 metri) e della indagine ESAC2 (fino a 60 metri), che dista meno di 400 metri dall'area di studio, per realizzare il fit congiunto con della curva del rapporto H/V (HVSr4, sotto) e modellare il profilo di velocità fino a circa 115 metri (a sinistra), in corrispondenza del picco di frequenza fondamentale  $F_0$  dell'area (0.91 Hz).

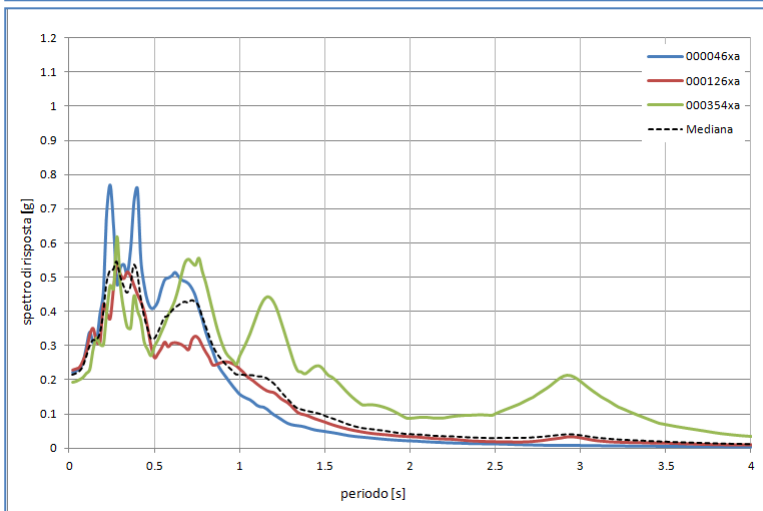




## RISPOSTA SISMICA LOCALE CON MODELLAZIONE NUMERICA



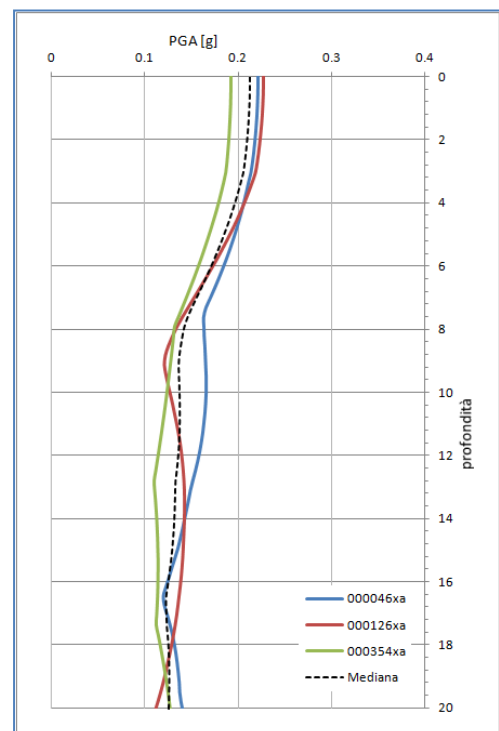
Nella figura a sinistra si riporta il rapporto tra lo spettro al bedrock e quello atteso in superficie in funzione della frequenza per i tre accelerogrammi di input e per la loro mediana. Si osserva la massima amplificazione a frequenza poco inferiore a 1 Hz, dato coerente con quanto riscontrato dalle misure di rumore ambientale, e a diverse altre frequenze, alcune delle quali sono armoniche superiori. La visibilità di queste ultime appare legata al basso smorzamento delle coperture.



Nella figura a sinistra sono riportati gli spettri di risposta dell'oscillatore armonico tipo ad un grado di libertà, in funzione del periodo proprio della struttura e per uno smorzamento tipico del 5%, ottenuti a partire dagli accelerogrammi di figura 3 e lo spettro mediano. È evidente come gli spettri di risposta ottenuti risentano significativamente del moto di input, risultando quindi piuttosto differenti per i tre accelerogrammi utilizzati. (segnali di riferimento DAL n.112/2007).

Nella figura a destra è riportato l'andamento, nei primi 20 metri al di sotto del piano campagna, dell'accelerazione massima (PGA) attesa in funzione della profondità per i tre terremoti di input e per la loro mediana. Si nota un generale progressivo aumento del valore di PGA al diminuire della profondità a partire dai 10-12 metri, coerentemente con il modello geologico e sismo-stratigrafico dell'area.

I fattori di amplificazione della PGA per i 3 segnali di input variano tra 1.37 a 1.61, con un  $F_{PGA}$  medio pari a 1.51 e quindi inferiore a quello previsto dalle carte di microzonazione (Regione Emilia-Romagna e Gruppo di lavoro MS Emilia 2012, 2013) nell'area in oggetto (1.7).



## GIUDIZIO DI FATTIBILITÀ DEGLI INTERVENTI EDILIZI

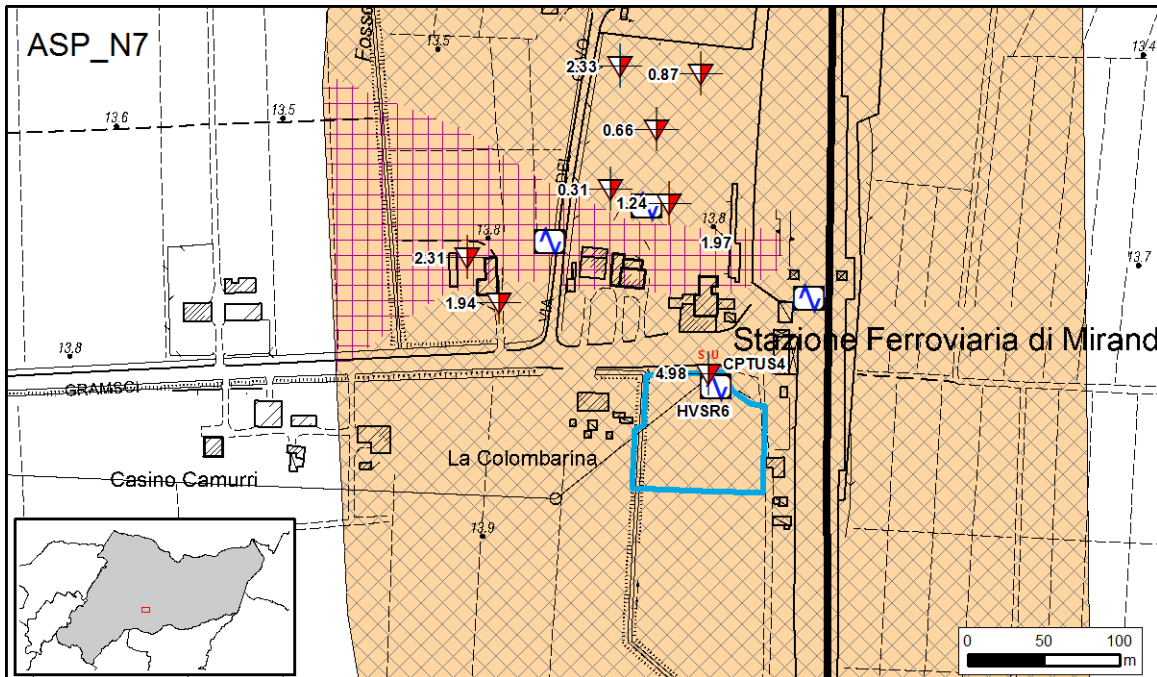
Per quanto concerne la riduzione del rischio sismico vale quanto indicato nelle Norme di Attuazione del PSC (Comune di Mirandola, 2014), a cui si rimanda per ogni dettaglio e di cui si riportano di seguito alcuni estratti.

Per l'area in esame, in considerazione dei livelli granulari saturi rinvenuti anche nei primi metri di profondità e degli indici del potenziale di liquefazione calcolati (rischio moderato), per ogni intervento edilizio dovranno essere sempre verificati l'approfondimento e l'estensione dei livelli potenzialmente liquefacibili, sia superficiali (entro i primi 10 metri) che profondi (oltre i 10 metri), attraverso un numero adeguato di indagini in situ che permettano una buona definizione tessiturale dei depositi e un affidabile calcolo degli indici del potenziale di liquefazione (prove penetrometriche statiche con punta elettrica e/o piezocono spinte ad almeno 20 metri di profondità). In ragione dei valori degli indici di liquefazione (LPI) riscontrati, qualora fossero confermati anche per i terreni di fondazione valori superiori a 2, *per il calcolo dell'azione di sismica ai fini della progettazione non è ammesso l'approccio semplificato* (Comune di Mirandola, 2014) e dovranno quindi essere eseguiti calcoli della risposta sismica locale con modellazione numerica considerando le specificità delle singole opere in progetto e non potrà essere utilizzato, se non come riferimento indicativo preliminare, il calcolo eseguito in questa fase di pianificazione. Inoltre *dovranno essere valutati i potenziali cedimenti e per opere di particolare interesse pubblico o strategico, classi d'uso 3 e 4, si raccomandano interventi di mitigazione del rischio di liquefazione (consolidamento del terreno di fondazione, interventi per la riduzione delle pressioni interstiziali, ecc.)* (Comune di Mirandola, 2014).

Si dovrà porre particolare attenzione alle interferenze tra le fondazioni ed eventuali manufatti interrati con la falda presente in superficie. Le caratteristiche geomeccaniche dei livelli argillosi e limosi presenti in superficie risultano discrete ( $C_u$  tra 0.55 e 0.85 kg/cm<sup>2</sup>). Si dovranno valutare i cedimenti assoluti in fase di progettazione degli interventi.

### ASP\_N7 - CIVIDALE - Stazione ferroviaria

L'ambito di modesta estensione, in cui si prevede di insediare attività di servizio, terziarie e pubblici esercizi, è contiguo alla stazione ferroviaria ed è localizzato a sud di via Gramsci. L'area oggetto di studio rappresenta l'intero ambito individuato dal piano al fine di potenziare il ruolo della stazione ferroviaria, localizzata a distanza dal capoluogo.

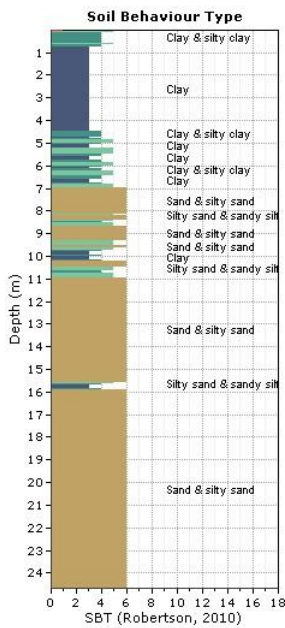


La carta dei fattori di amplificazione e del rischio di liquefazione, realizzata a seguito dell'Ordinanza n.70/2012, segnala la presenza in tutta l'area indagata di terreni suscettibili di liquefazione tra 10 e 20 metri dal piano campagna e indica i seguenti fattori di amplificazione:

$$F_{PGA} = 1.5; \quad F_{H\ 0.1s-0.5s} = 1.8; \quad F_{H\ 0.5s-1} = 2.5$$



Porzione dell'area oggetto di studio vista da nord (HVS6)

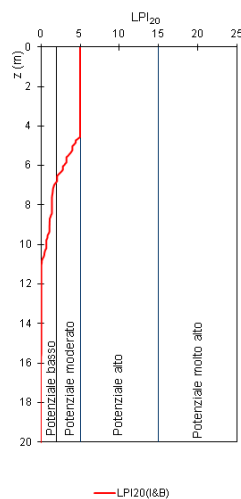
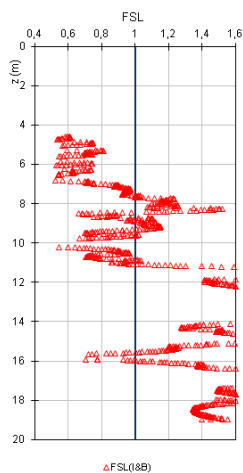


Stratigrafia di CPTUS4

### MODELLO GEOLOGICO

L'ambito, sulla base dei dati della CPTUS4, al di sotto di circa 1 m di terreno argilloso sovraconsolidato, risulta caratterizzato dalla presenza di argille consistenti ( $Q_c$  tra 10 e 25  $\text{kg/cm}^2$  e  $F_s/Q_c > 6$ ) fino alla profondità di 4 metri. Al di sotto e fino a 7 metri da p.c. sono presenti limi sabbiosi alternati a sabbie argillose ad addensamento medio ( $Q_c$  tra 20 e 50 e  $F_s/Q_c$  tra 1,5 e 3,5). Il tetto del primo orizzonte sabbioso limoso si individua a circa 7 metri di profondità con caratteristiche di addensamento medio ed elevati valori dei parametri di resistenza ( $Q_c > 100 \text{ kg/cm}^2$ ). La sabbia ben addensata con valori di  $Q_c > 150\text{-}200 \text{ kg/cm}^2$  è presente a partire da circa 11 metri di profondità e fino alla massima profondità di indagine (25 metri).

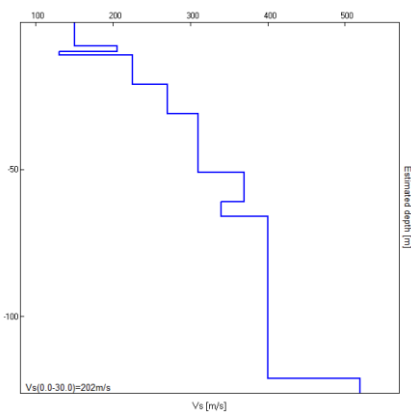
Il livello di falda, misurato al termine dell'indagine, è a circa 2,5 metri da p.c..



### POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

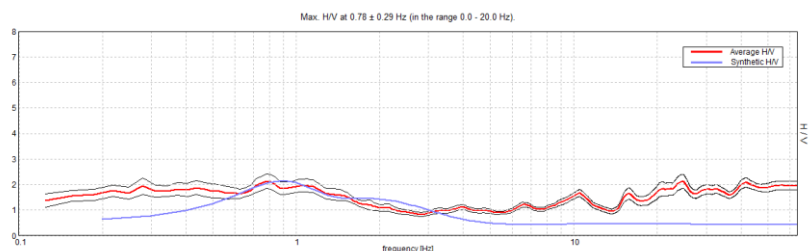
Sulla base dell'indagine realizzata (CPTUS4) è stato calcolato un indice (LPI) pari a 4.98 (rischio moderato, con valore prossimo al rischio elevato). Questa porzione del territorio comunale, sulla base della mappa di microzonazione sismica, risulterebbe caratterizzata dalla presenza di depositi granulari saturi al di sotto dei primi 10 metri dal p.c., anche se l'indicazione non è supportata da dati diretti. L'indagine eseguita (CPTUS4) ha invece evidenziato come nell'area siano presenti depositi potenzialmente liquefacibili già a partire da 5 metri di profondità.

CPTUS4: grafici di FSL e LPI con la profondità

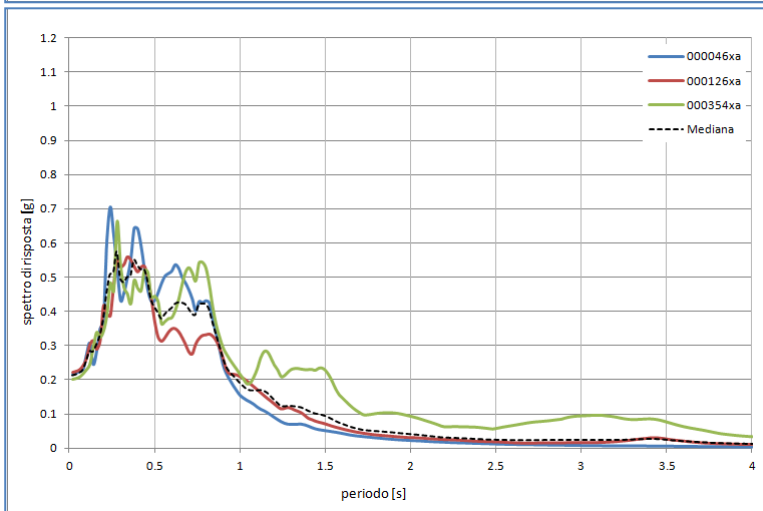
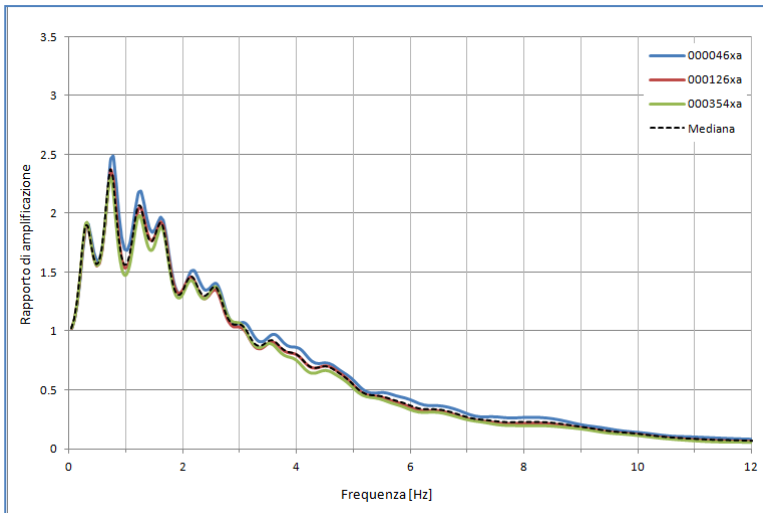


### MODELLO SISMO-STRATIGRAFICO

Per la caratterizzazione sismostratigrafica dell'area sono stati utilizzati i dati del cono sismico CPTUS4 (primi 25 metri) per poi realizzare il fit congiunto con della curva del rapporto H/V (HVSr6, sotto) e modellare il profilo di velocità fino a circa 120 metri (a sinistra), in corrispondenza del picco di frequenza fondamentale  $F_0$  dell'area (0.78 Hz).



## RISPOSTA SISMICA LOCALE CON MODELLAZIONE NUMERICA

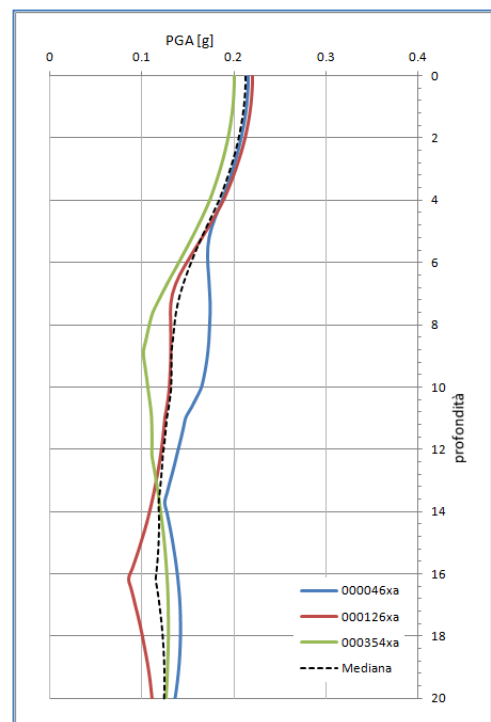


Nella figura a destra è riportato l'andamento, nei primi 20 metri al di sotto del piano campagna, dell'accelerazione massima (PGA) attesa in funzione della profondità per i tre terremoti di input e per la loro mediana. Si nota un generale progressivo aumento del valore di PGA al diminuire della profondità a partire dai 6-7 metri, coerentemente con il modello geologico e sismo-stratigrafico dell'area.

I fattori di amplificazione della PGA per i 3 segnali di input variano tra 1.42 a 1.57, con un  $F_{PGA}$  medio pari a 1.50 e quindi in linea con quello previsto dalle carte di microzonazione (Regione Emilia-Romagna e Gruppo di lavoro MS Emilia 2012, 2013) nell'area in oggetto (1.5).

Nella figura a sinistra si riporta il rapporto tra lo spettro al bedrock e quello atteso in superficie in funzione della frequenza per i tre accelerogrammi di input e per la loro mediana. Si osserva la massima amplificazione a frequenza poco inferiore a 1 Hz, dato coerente con quanto riscontrato dalle misure di rumore ambientale, e a diverse altre frequenze, alcune delle quali sono armoniche superiori. La visibilità di queste ultime appare legata al basso smorzamento delle coperture.

Nella figura a sinistra sono riportati gli spettri di risposta dell'oscillatore armonico tipo ad un grado di libertà, in funzione del periodo proprio della struttura e per uno smorzamento tipico del 5%, ottenuti a partire dagli accelerogrammi di figura 3 e lo spettro mediano. È evidente come gli spettri di risposta ottenuti risentano significativamente del moto di input, risultando quindi piuttosto differenti per i tre accelerogrammi utilizzati. (segnali di riferimento DAL n.112/2007).



## GIUDIZIO DI FATTIBILITÀ DEGLI INTERVENTI EDILIZI

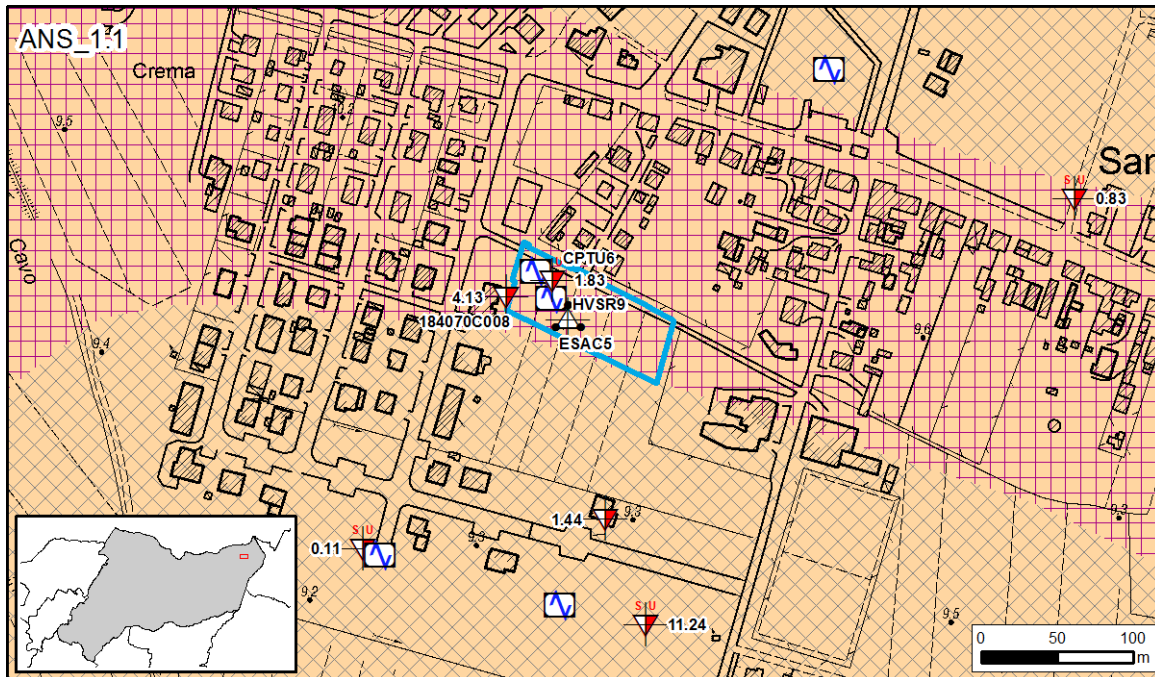
Per quanto concerne la riduzione del rischio sismico vale quanto indicato nelle Norme di Attuazione del PSC (Comune di Mirandola, 2014), a cui si rimanda per ogni dettaglio e di cui si riportano di seguito alcuni estratti.

Per l'area in esame, in considerazione dei livelli granulari saturi rinvenuti anche nei primi metri di profondità (non previsti nella carta di microzonazione sismica) e dell'indice del potenziale di liquefazione calcolato (rischio moderato, con valore prossimo al rischio elevato), per ogni intervento edilizio dovranno essere sempre verificati l'approfondimento e l'estensione dei livelli potenzialmente liquefacibili, sia superficiali (entro i primi 10 metri) che profondi (oltre i 10 metri), attraverso un numero adeguato di indagini in situ che permettano una buona definizione tessiturale dei depositi e un affidabile calcolo degli indici del potenziale di liquefazione (prove penetrometriche statiche con punta elettrica e/o piezocono spinte ad almeno 20 metri di profondità). In ragione dei valori degli indici di liquefazione (LPI) riscontrati, dove fossero confermati anche per i terreni di fondazione valori superiori a 2, *per il calcolo dell'azione di sismica ai fini della progettazione non è ammesso l'approccio semplificato* (Comune di Mirandola, 2014) e dovranno quindi essere eseguiti calcoli della risposta sismica locale con modellazione numerica considerando le specificità delle singole opere in progetto e non potrà essere utilizzato, se non come riferimento indicativo preliminare, il calcolo eseguito in questa fase di pianificazione. Inoltre *dovranno essere valutati i potenziali cedimenti e per opere di particolare interesse pubblico o strategico, classi d'uso 3 e 4, si raccomandano interventi di mitigazione del rischio di liquefazione (consolidamento del terreno di fondazione, interventi per la riduzione delle pressioni interstiziali, ecc.)* (Comune di Mirandola, 2014).

Si dovrà porre particolare attenzione alle interferenze tra le fondazioni e gli eventuali manufatti interrati con la falda. Le caratteristiche geomeccaniche dei livelli argillosi presenti in superficie risultano da discrete a buone ( $C_u$  tra 0.8 e 1.2 kg/cm<sup>2</sup>). Si dovranno comunque valutare i cedimenti assoluti in fase di progettazione degli interventi.

## ANS\_1.1 - SAN MARTINO SPINO

L'ambito di nuovo insediamento, destinato alla residenza e ad attività complementari alla residenza, è localizzato all'interno dei tessuti esistenti a sud di via Valli nella frazione di San Martino Spino. Organizzato sulla nuova strada di collegamento tra via Zanzur e via XIII dicembre, l'ambito confina con i tessuti residenziali esistenti attestati su via Valli a nord e con il verde pubblico contiguo all'istituto scolastico a sud. L'area oggetto di studio rappresenta solo la porzione più meridionale dell'ambito che non era stata sottoposta a specifica caratterizzazione geologica nel PRG.

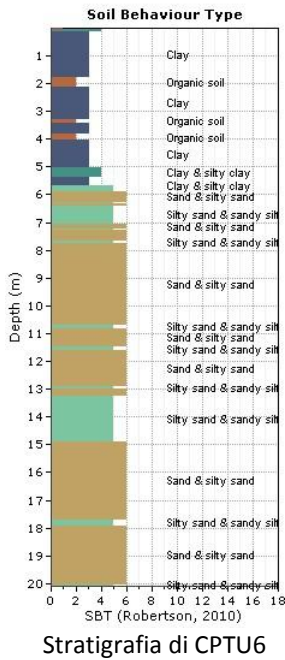


La carta dei fattori di amplificazione e del rischio di liquefazione, realizzata a seguito dell'Ordinanza n.70/2012, segnala la presenza in tutta l'area indagata di terreni suscettibili di liquefazione già nei primi 10 metri dal piano campagna e indica i seguenti fattori di amplificazione:

$$F_{PGA} = 1.5; \quad F_{H 0.1s-0.5s} = 1.8; \quad F_{H 0.5s-1} = 2.5$$



Porzione ovest dell'area oggetto di studio (HVSR9)

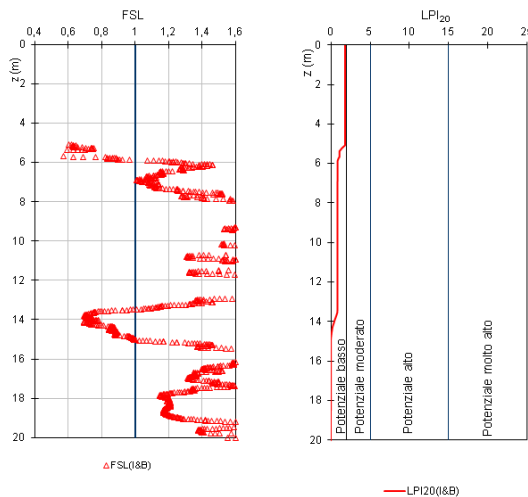


### MODELLO GEOLOGICO

Per la caratterizzazione dell'area in esame sono disponibili dati geognostici di nuova acquisizione (CPTU6) e di repertorio (CPT con punta meccanica 184070C008).

L'ambito è caratterizzato dalla presenza di circa 1 metro di terreno argilloso sovraconsolidato, al di sotto e fino a circa 5,5-6 metri da p.c. si rinvencono argille a consistenza media ( $Q_c$  tra 10 e 18) con un livello di argille plastiche tra 3,3 e 5,6 m ( $Q_c$  tra 6 e 8  $kg/cm^2$  e  $F_s/Q_c$  tra 5 e 7). Al di sotto e fino a 16,5 metri di profondità si rinviene un orizzonte di sabbie e sabbie limose con addensamento medio ( $Q_c$  tra 45 e 60  $kg/cm^2$ ) nell'estremità occidentale dell'ambito (184070C008), mentre poco più a nord-est è presente un livello sabbioso ( $Q_c$  tra 70 e 140  $kg/cm^2$ ) da mediamente a ben addensato fino a circa 13 metri (CPTU6). Al di sotto è presente una alternanza di sabbie limose addensate e limi sabbiosi nella porzione centrale dell'area ( $Q_c$  tra 40 e 140 e  $F_s/Q_c$  tra 1,5 e 2) (CPTU6), mentre nel tratto più occidentale (184070C008) sono presenti sabbie ben addensate fino a 30 metri di profondità ( $Q_c$  tra 130 e 240  $kg/cm^2$ ).

Il livello di falda, misurato al termine delle indagini, è risultato compreso tra 1 e 2,7 metri da p.c..



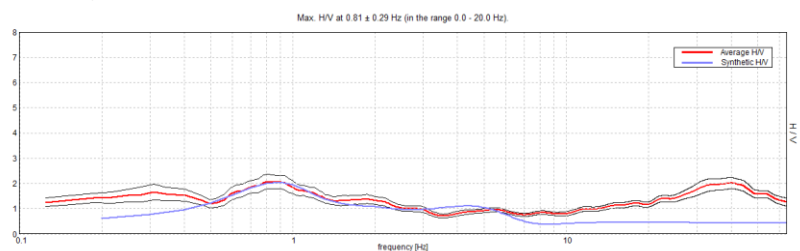
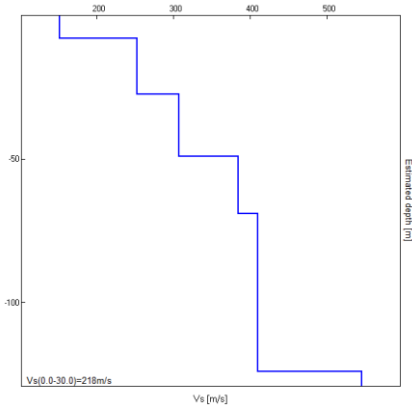
CPTU6: grafici di FSL e LPI con la profondità

### POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Sulla base dell'indagine realizzata (CPTU6) è stato calcolato un indice (LPI) pari a 1.83 (rischio basso). L'indagine CPT con punta meccanica di repertorio (184070C008), eseguita nella porzione occidentale dell'area, ha rinvenuto, entro i primi 10 metri, depositi granulari a minor addensamento rispetto a quelli rinvenuti da CPTU6. Per tale ragione il calcolo dell'indice LPI ha restituito un valore di 4.13 (rischio moderato). In ogni caso si conferma che questa porzione del territorio comunale risulta caratterizzata dalla presenza di depositi granulari saturi entro i primi 10 metri dal p.c., come indicato nella carta di microzonazione sismica.

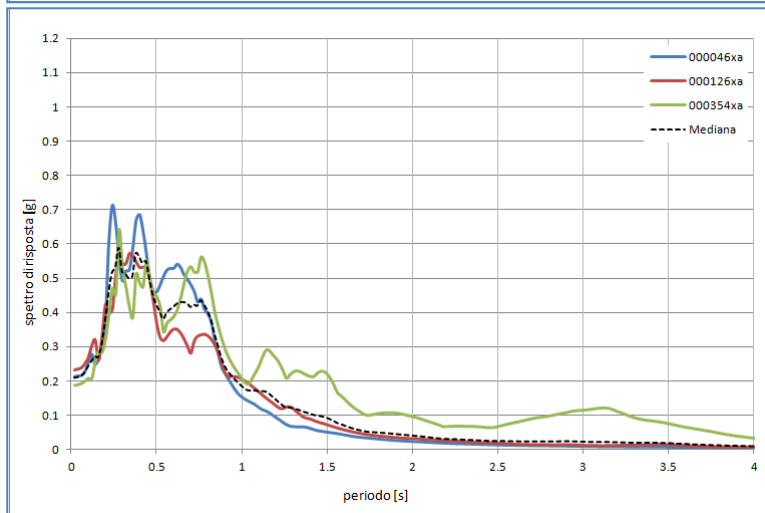
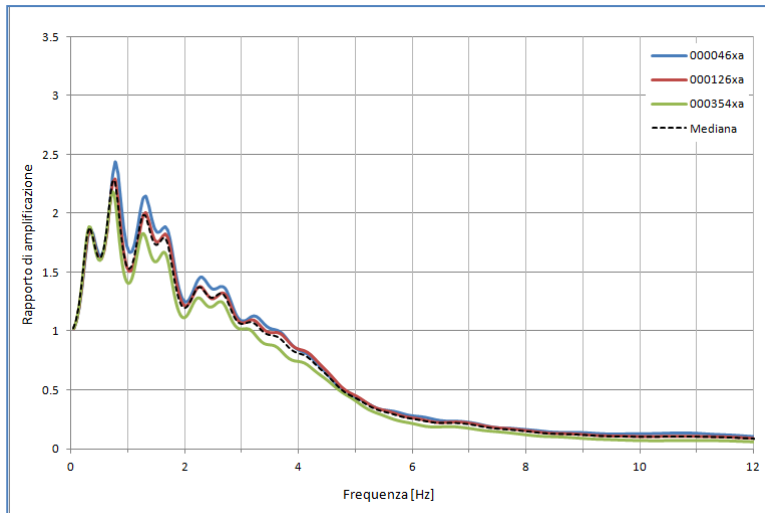
### MODELLO SISMO-STRATIGRAFICO

Per la caratterizzazione sismostratigrafica dell'area sono stati utilizzati i dati della indagine ESAC5 (fino a 80 metri) per realizzare il fit congiunto con della curva del rapporto H/V (HVS9, sotto) e modellare il profilo di velocità fino a circa 125 metri (a sinistra), in corrispondenza del picco di frequenza fondamentale  $F_0$  dell'area (0.81 Hz).





## RISPOSTA SISMICA LOCALE CON MODELLAZIONE NUMERICA

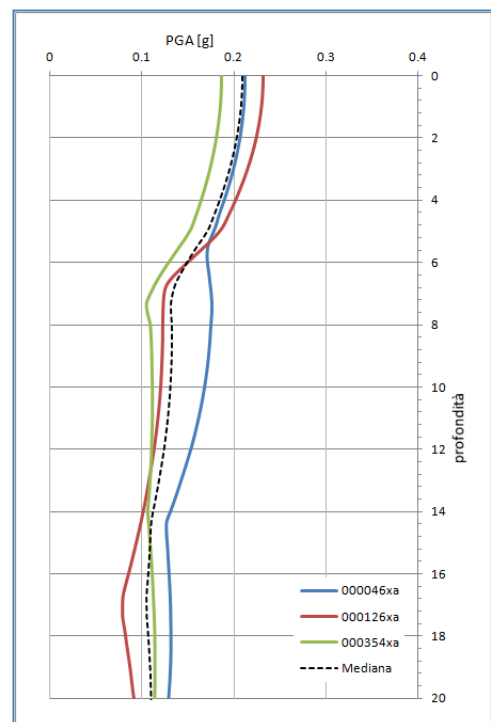


Nella figura a sinistra si riporta il rapporto tra lo spettro al bedrock e quello atteso in superficie in funzione della frequenza per i tre accelerogrammi di input e per la loro mediana. Si osserva la massima amplificazione a frequenza poco inferiore a 1Hz, dato coerente con quanto riscontrato dalle misure di rumore ambientale, e a diverse altre frequenze, alcune delle quali sono armoniche superiori. La visibilità di queste ultime appare legata al basso smorzamento delle coperture.

Nella figura a sinistra sono riportati gli spettri di risposta dell'oscillatore armonico tipo ad un grado di libertà, in funzione del periodo proprio della struttura e per uno smorzamento tipico del 5%, ottenuti a partire dagli accelerogrammi di figura 3 e lo spettro mediano. È evidente come gli spettri di risposta ottenuti risentano significativamente del moto di input, risultando quindi piuttosto differenti per i tre accelerogrammi utilizzati. (segnali di riferimento DAL n.112/2007).

Nella figura a destra è riportato l'andamento, nei primi 20 metri al di sotto del piano campagna, dell'accelerazione massima (PGA) attesa in funzione della profondità per i tre terremoti di input e per la loro mediana. Si nota un generale progressivo aumento del valore di PGA al diminuire della profondità a partire dai 6-7 metri, coerentemente con il modello geologico e sismo-stratigrafico dell'area.

I fattori di amplificazione della PGA per i 3 segnali di input variano tra 1.32 a 1.64, con un  $F_{PGA}$  medio pari a 1.48 e quindi in linea con quello previsto dalle carte di microzonazione (Regione Emilia-Romagna e Gruppo di lavoro MS Emilia 2012, 2013) nell'area in oggetto (1.5).



## GIUDIZIO DI FATTIBILITÀ DEGLI INTERVENTI EDILIZI

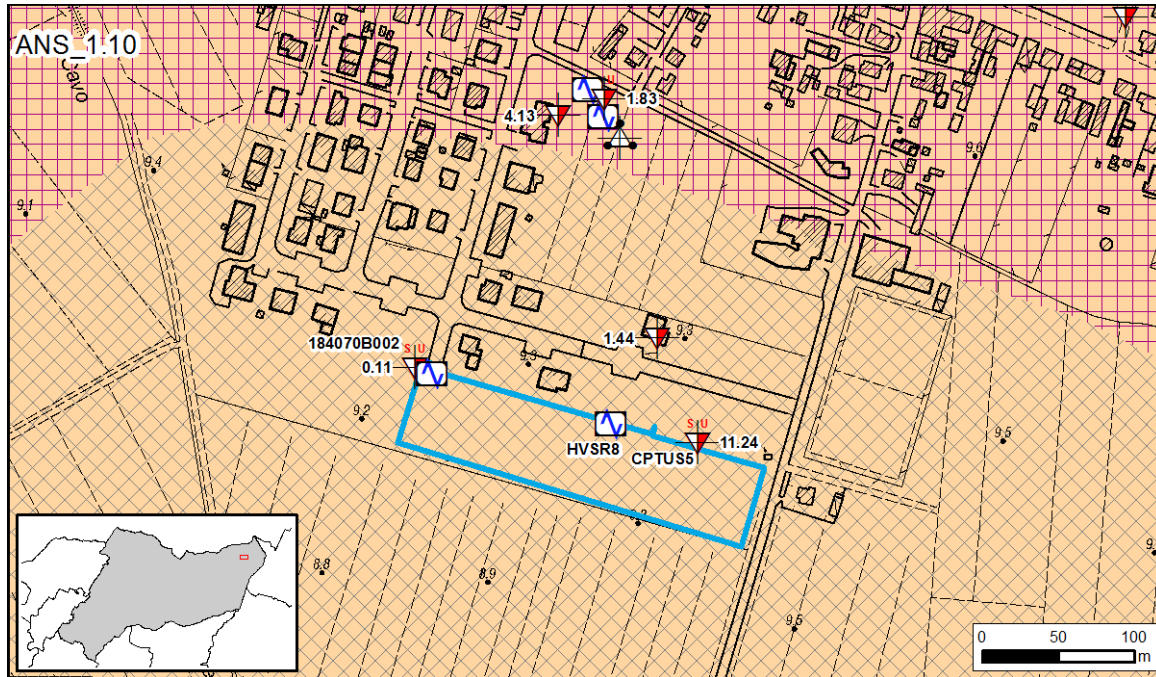
Per quanto concerne la riduzione del rischio sismico vale quanto indicato nelle Norme di Attuazione del PSC (Comune di Mirandola, 2014), a cui si rimanda per ogni dettaglio e di cui si riportano di seguito alcuni estratti.

Per l'area in esame, in considerazione della variabilità litologica riscontrata nei primi metri, dei livelli granulari saturi rinvenuti anche a basse profondità e degli indici del potenziale di liquefazione calcolati (rischio da basso a moderato), per ogni intervento edilizio dovranno essere sempre verificati l'approfondimento e l'estensione dei livelli potenzialmente liquefacibili, sia superficiali (entro i primi 10 metri) che profondi (oltre i 10 metri), attraverso un numero adeguato di indagini in situ che permettano una buona definizione tessiturale dei depositi e un affidabile calcolo degli indici del potenziale di liquefazione (prove penetrometriche statiche con punta elettrica e/o piezocono spinte ad almeno 20 metri di profondità). In ragione dei valori degli indici di liquefazione (LPI) calcolati, dove fossero riscontrati anche per i terreni di fondazione valori superiori a 2, *per il calcolo dell'azione di sismica ai fini della progettazione non è ammesso l'approccio semplificato* (Comune di Mirandola, 2014) e dovranno quindi essere eseguiti calcoli della risposta sismica locale con modellazione numerica considerando le specificità delle singole opere in progetto e non potrà essere utilizzato, se non come riferimento indicativo preliminare, il calcolo eseguito in questa fase di pianificazione. Inoltre *dovranno essere valutati i potenziali cedimenti e per opere di particolare interesse pubblico o strategico, classi d'uso 3 e 4, si raccomandano interventi di mitigazione del rischio di liquefazione (consolidamento del terreno di fondazione, interventi per la riduzione delle pressioni interstiziali, ecc.)* (Comune di Mirandola, 2014).

Si dovrà porre particolare attenzione alle interferenze tra le fondazioni e i manufatti interrati con la falda. Le caratteristiche geomeccaniche dei livelli argillosi presenti in superficie risultano discrete (Cu tra 0.7 e 0.9 kg/cm<sup>2</sup>) e scadenti tra 6 e 8 metri da p.c. (Cu tra 0.4 e 0.6 kg/cm<sup>2</sup>). In considerazione delle variabilità litologiche riscontrate si ritiene opportuno realizzare ulteriori indagini nella fase di progettazione degli interventi, valutando anche i cedimenti assoluti e differenziali.

## ANS\_1.10 - SAN MARTINO SPINO

L'ambito di nuovo insediamento, destinato alla residenza e ad attività complementari alla residenza, è localizzato a sud della frazione di San Martino Spino ed è uno dei principali interventi di nuovo insediamento previsti dal piano per la frazione. L'area oggetto di studio rappresenta l'intero ambito e confina a nord con i tessuti residenziali esistenti, mentre a ovest, a sud e a est è a diretto contatto con la campagna.

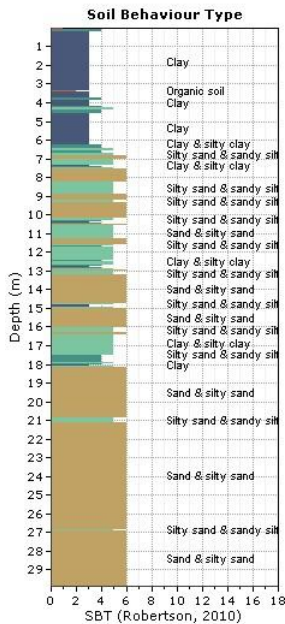


La carta dei fattori di amplificazione e del rischio di liquefazione, realizzata a seguito dell'Ordinanza n.70/2012, segnala la presenza in tutta l'area indagata di terreni suscettibili di liquefazione tra 10 e 20 metri dal piano campagna e indica i seguenti fattori di amplificazione:

$$F_{PGA} = 1.5; F_{H0.1s-0.5s} = 1.8; F_{H0.5s-1} = 2.5$$



Porzione nord-est dell'area oggetto di studio (CPTUS5)



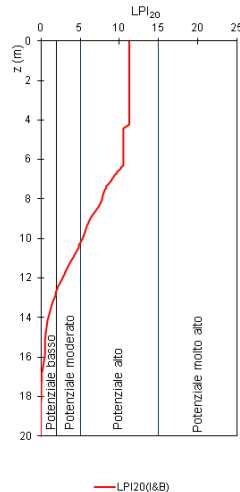
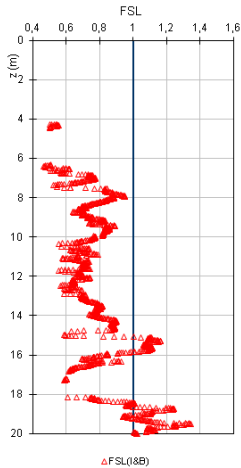
**MODELLO GEOLOGICO**

Per la caratterizzazione dell'area in esame sono disponibili dati geognostici di nuova acquisizione (CPTUS5, nord-est) e di repertorio (CPTU 184070B002, nord-ovest).

L'ambito è caratterizzato dalla presenza di circa 1 metro di terreno argilloso sovraconsolidato al di sotto si riscontra una forte variabilità. Nella porzione occidentale si rinvencono argille consistenti e limi argillosi mediamente consistenti ( $Q_c$  tra 10 e 15  $kg/cm^2$  e  $F_s/Q_c$  tra 3 e 7) fino alla profondità di 13,5 metri oltre la quale sono presenti sabbie e sabbie limose ben addensata ( $Q_c$  tra 130 e 220  $kg/cm^2$ ); nella porzione orientale del comparto sono presenti argille limose mediamente consistenti fino a circa 6,3 metri, al di sotto e fino a 18 metri si trova una alternanza di sabbie limose e limi sabbiosi da poco a mediamente addensati ( $Q_c$  tra 25 e 80  $kg/cm^2$ ) che passano poi a sabbie ben addensate fino alla massima profondità di indagine (30 metri) e con valori di  $Q_c$  tra 100 e 180  $kg/cm^2$ .

Il livello di falda è stato rinvenuto, al termine delle indagini, a circa 1,5 metri da p.c..

**Stratigrafia di CPTUS5**



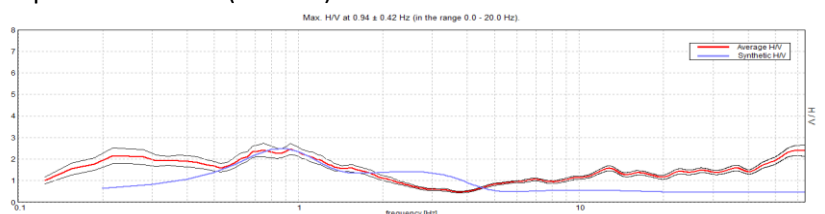
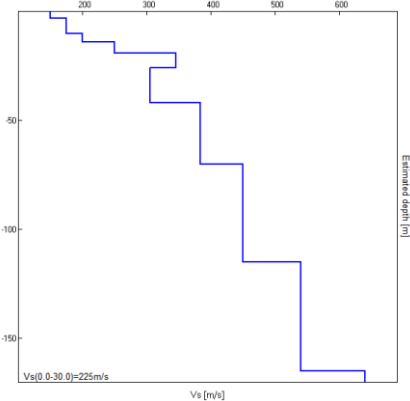
CPTUS5: grafici di FSL e LPI con la profondità

**POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE**

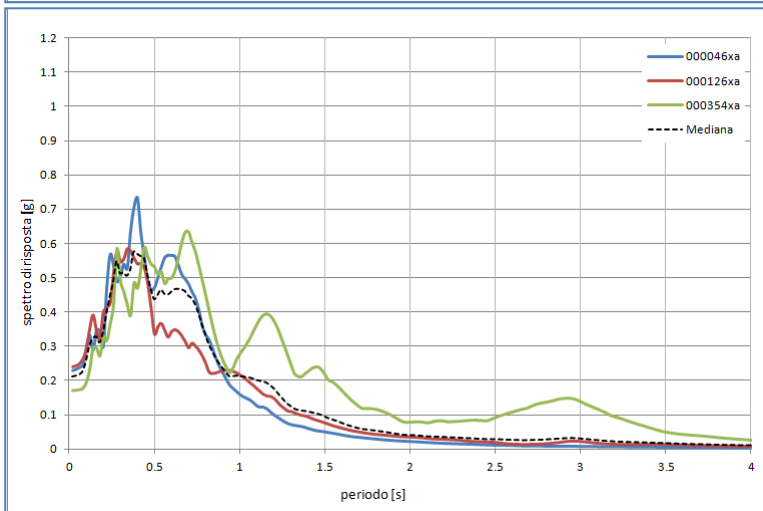
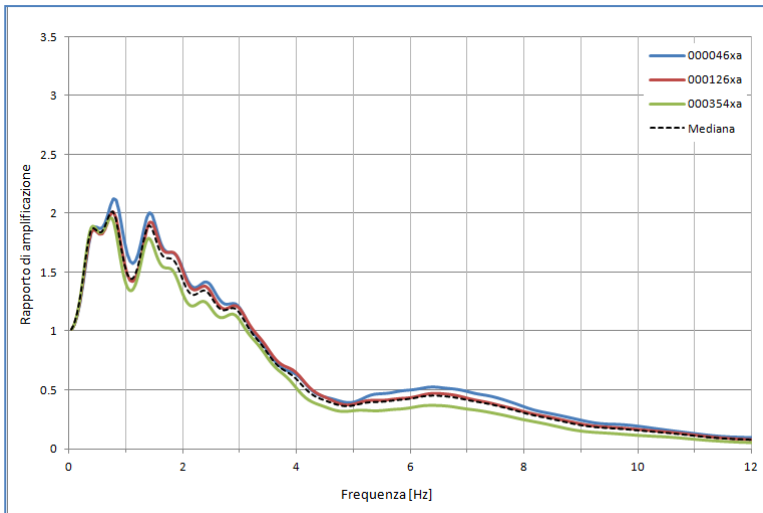
La variabilità litologica sopra descritta si riflette anche nel valore del potenziale di liquefazione calcolato sulle due verticali di indagine disponibili: la porzione più occidentale (184070B002) in cui, in ragione della assenza di livelli granulari nei primi metri di profondità, si riscontra un indice (LPI) pari a 0.11 (rischio basso, quasi nullo) e la porzione più orientale (CPTUS5) in cui si riscontra un indice (LPI) pari a 11.24 (rischio elevato) in ragione della presenza, già al di sotto dei 6 metri, di depositi granulari da poco a mediamente addensati. Solo quanto riscontrato nella porzione occidentale dell'area risulta in accordo con la carta di microzonazione sismica che indica la presenza di terreni suscettibili di liquefazione solo oltre i primi 10 metri dal piano campagna.

**MODELLO SIMO-STRATIGRAFICO**

Per la caratterizzazione sismostratigrafica dell'area sono stati utilizzati i dati del cono sismico CPTUS5 (primi 30 metri) integrati con i valori di velocità più profondi della vicina ESAC5 (fino a 60 metri), per realizzare il fit congiunto con della curva del rapporto H/V (HVSr8, sotto) e modellare il profilo di velocità fino a circa 115 metri (a sinistra), in corrispondenza del picco di frequenza fondamentale  $F_0$  dell'area (0.94 Hz) e fino a circa 165 in corrispondenza del picco a frequenza inferiore (0.75 Hz).



## RISPOSTA SISMICA LOCALE CON MODELLAZIONE NUMERICA

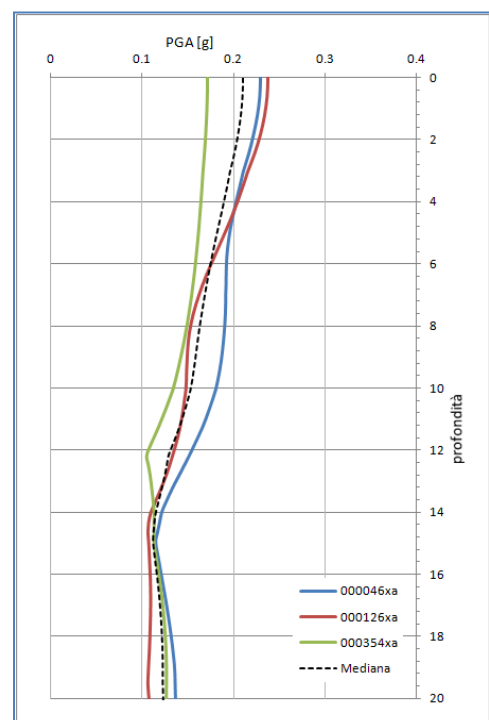


Nella figura a sinistra si riporta il rapporto tra lo spettro al bedrock e quello atteso in superficie in funzione della frequenza per i tre accelerogrammi di input e per la loro mediana. Si osserva la massima amplificazione a frequenza poco inferiore a 1Hz, dato coerente con quanto riscontrato dalle misure di rumore ambientale, e a diverse altre frequenze, alcune delle quali sono armoniche superiori. La visibilità di queste ultime appare legata al basso smorzamento delle coperture.

Nella figura a sinistra sono riportati gli spettri di risposta dell'oscillatore armonico tipo ad un grado di libertà, in funzione del periodo proprio della struttura e per uno smorzamento tipico del 5%, ottenuti a partire dagli accelerogrammi di figura 3 e lo spettro mediano. È evidente come gli spettri di risposta ottenuti risentano significativamente del moto di input, risultando quindi piuttosto differenti per i tre accelerogrammi utilizzati. (segnali di riferimento DAL n.112/2007).

Nella figura a destra è riportato l'andamento, nei primi 20 metri al di sotto del piano campagna, dell'accelerazione massima (PGA) attesa in funzione della profondità per i tre terremoti di input e per la loro mediana. Si nota un generale progressivo aumento del valore di PGA al diminuire della profondità a partire dai 12-13 metri, coerentemente con il modello geologico e sismo-stratigrafico dell'area.

I fattori di amplificazione della PGA per i 3 segnali di input variano tra 1.21 a 1.68, con un  $F_{PGA}$  medio pari a 1.49 e quindi in linea con quello previsto dalle carte di microzonazione (Regione Emilia-Romagna e Gruppo di lavoro MS Emilia 2012, 2013) nell'area in oggetto (1.5).



## GIUDIZIO DI FATTIBILITÀ DEGLI INTERVENTI EDILIZI

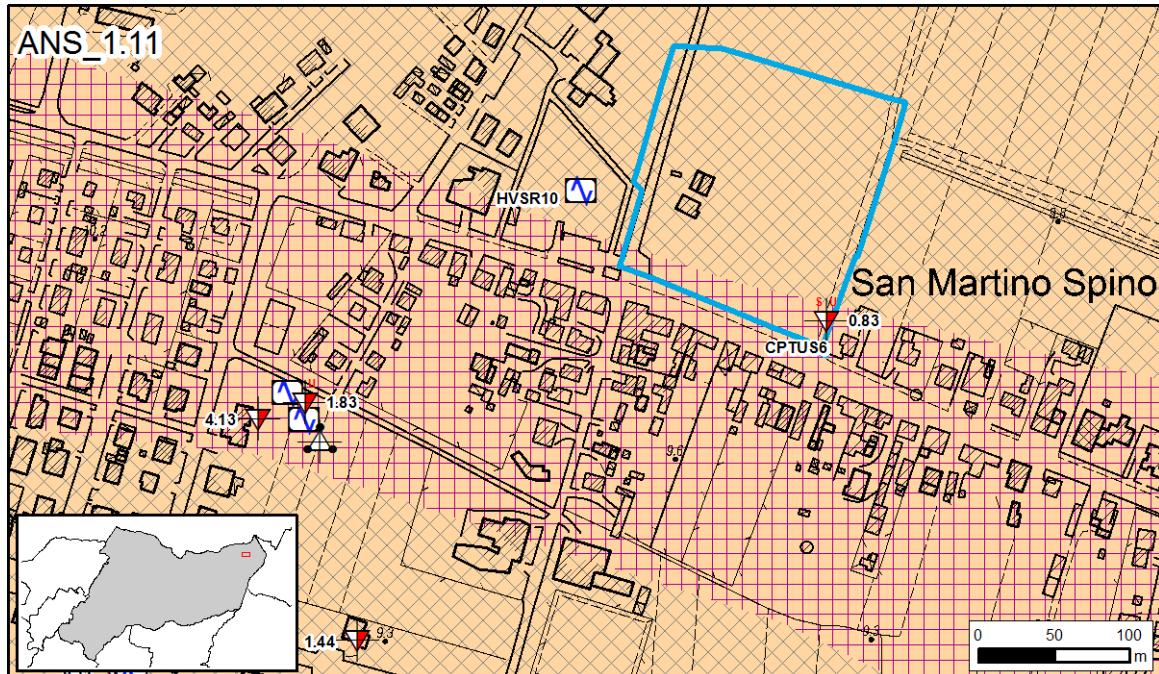
Per quanto concerne la riduzione del rischio sismico vale quanto indicato nelle Norme di Attuazione del PSC (Comune di Mirandola, 2014), a cui si rimanda per ogni dettaglio e di cui si riportano di seguito alcuni estratti.

Per l'area in esame, in considerazione della variabilità litologica riscontrata nei primi metri, dei livelli granulari saturi rinvenuti anche a basse profondità e degli indici del potenziale di liquefazione calcolati (rischio da basso ad elevato), per ogni intervento edilizio dovranno essere sempre verificati l'approfondimento e l'estensione dei livelli potenzialmente liquefacibili, sia superficiali (entro i primi 10 metri) che profondi (oltre i 10 metri), attraverso un numero adeguato di indagini in situ che permettano una buona definizione tessiturale dei depositi e un affidabile calcolo degli indici del potenziale di liquefazione (prove penetrometriche statiche con punta elettrica e/o piezocono spinte ad almeno 20 metri di profondità). In ragione dei valori degli indici di liquefazione (LPI) calcolati, dove fossero riscontrati anche per i terreni di fondazione valori superiori a 2, *per il calcolo dell'azione di sismica ai fini della progettazione non è ammesso l'approccio semplificato* (Comune di Mirandola, 2014) e dovranno quindi essere eseguiti calcoli della risposta sismica locale con modellazione numerica considerando le specificità delle singole opere in progetto e non potrà essere utilizzato, se non come riferimento indicativo preliminare, il calcolo eseguito in questa fase di pianificazione. Inoltre *dovranno essere valutati i potenziali cedimenti e per opere di particolare interesse pubblico o strategico, classi d'uso 3 e 4, si raccomandano interventi di mitigazione del rischio di liquefazione (consolidamento del terreno di fondazione, interventi per la riduzione delle pressioni interstiziali, ecc.)* (Comune di Mirandola, 2014).

Si dovrà porre particolare attenzione alle interferenze tra le fondazioni e gli eventuali manufatti interrati con la falda. Le caratteristiche geomeccaniche dei livelli argillosi presenti in superficie risultano discrete nei primi 3 metri (Cu tra 0.7 e 0.8 kg/cm<sup>2</sup>), leggermente inferiori tra 3 e 5 metri (Cu tra 0.5 e 0.6 kg/cm<sup>2</sup>). In considerazione delle variabilità litologiche riscontrate si ritiene opportuno realizzare ulteriori indagini nella fase di progettazione degli interventi, finalizzate anche alla valutazione dei cedimenti.

## ANS\_1.11 - SAN MARTINO SPINO

L'ambito di nuovo insediamento, destinato alla residenza e ad attività complementari alla residenza, è localizzato a nord di via Valli nella frazione di San Martino Spino. L'area oggetto di studio rappresenta l'intero ambito e confina a est e a ovest con i tessuti esistenti.

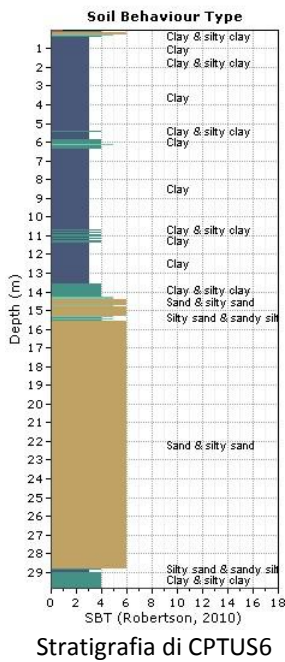


La carta dei fattori di amplificazione e del rischio di liquefazione, realizzata a seguito dell'Ordinanza n.70/2012, segnala la presenza di terreni suscettibili di liquefazione tra 10 e 20 metri dal piano campagna nella zona nord dell'area indagata (retino grigio) e già nei primi 10 metri dal piano campagna nella zona sud dell'area indagata (retino rosso), di estensione più limitata, e indica i seguenti fattori di amplificazione:

$$F_{PGA} = 1.5; \quad F_{H0.1s-0.5s} = 1.8; \quad F_{H0.5s-1} = 2.5$$



Porzione dell'area oggetto di studio vista da sud-est (CPTUS6)

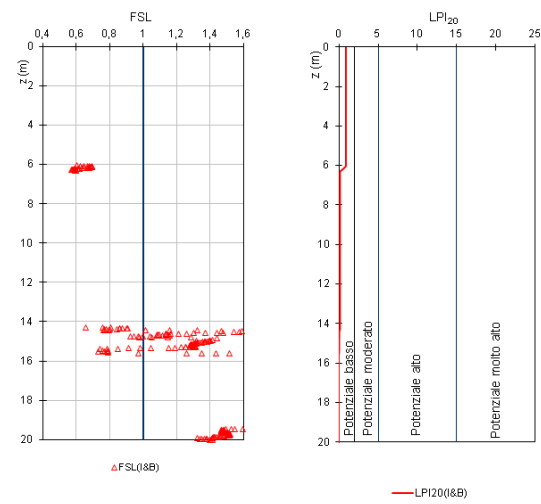


Stratigrafia di CPTUS6

### MODELLO GEOLOGICO

L'ambito, sulla base dei dati di CPTUS6, risulta caratterizzato dalla presenza di circa 0,8 metri di terreno argilloso sovraconsolidato al di sotto del quale si rinvencono argille limose da poco a mediamente consistenti ( $Q_c$  tra 8 e 12  $\text{kg/cm}^2$  e  $F_s/Q_c$  tra 3 e 6) fino alla profondità di 14,2 metri con un livello limoso sabbioso tra 5,8 e 6,4 m. Al di sotto è presente un livello di sabbie mediamente addensate fino a 15,6 m ( $Q_c$  tra 50 e 100  $\text{kg/cm}^2$ ) oltre e fino a 29 metri di profondità sono presenti sabbie molto addensate con valori di  $Q_c$  tra 150 e 250  $\text{kg/cm}^2$ . Tra 29 e 30 metri è presente un livello di argilla limosa consistente ( $Q_c$  tra 10 e 15  $\text{kg/cm}^2$ ).

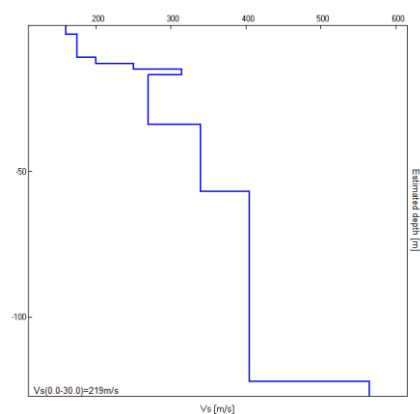
Il livello di falda, misurato al termine dell'indagine, è a circa 1,5 metri da p.c..



CPTUS6: grafici di FSL e LPI con la profondità

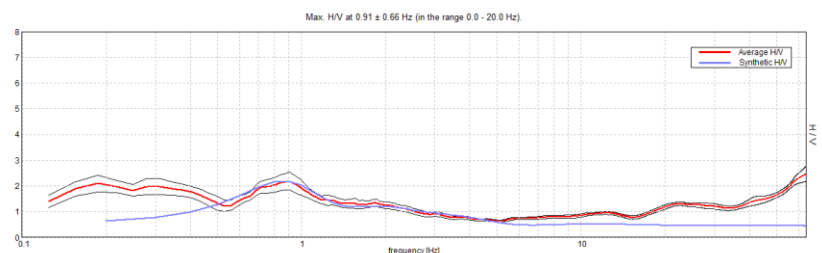
### POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Sulla base dell'indagine realizzata (CPTUS6) è stato calcolato un indice (LPI) pari a 0.83 (rischio basso). Il maggior contributo all'indice, come visibile nei grafici a sinistra, è dato dal un livello limo sabbioso di spessore decimetrico presente a profondità di circa 6 metri. Tale dato parrebbe confermare quanto indicato nella carta di microzonazione e cioè che ci troviamo al limite tra le due zone: una con terreni suscettibili di liquefazione già entro e i primi 10 metri (in cui ricade per poco CPTUS6) e una con terreni suscettibili di liquefazione solo oltre i 10 metri.



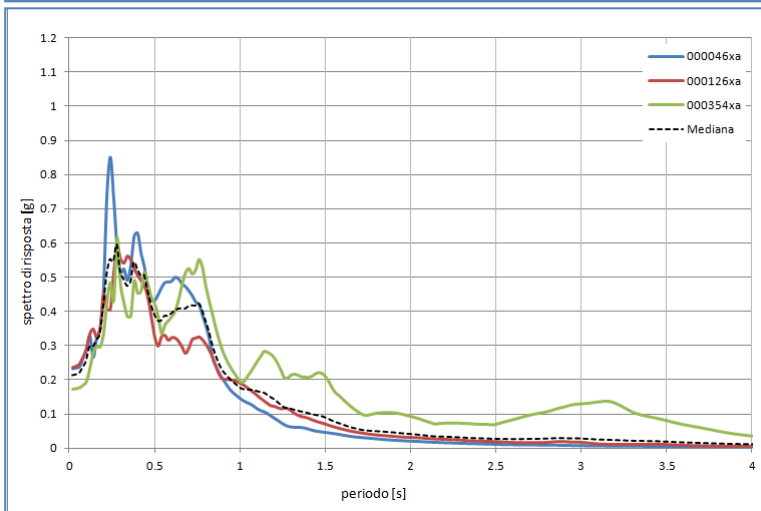
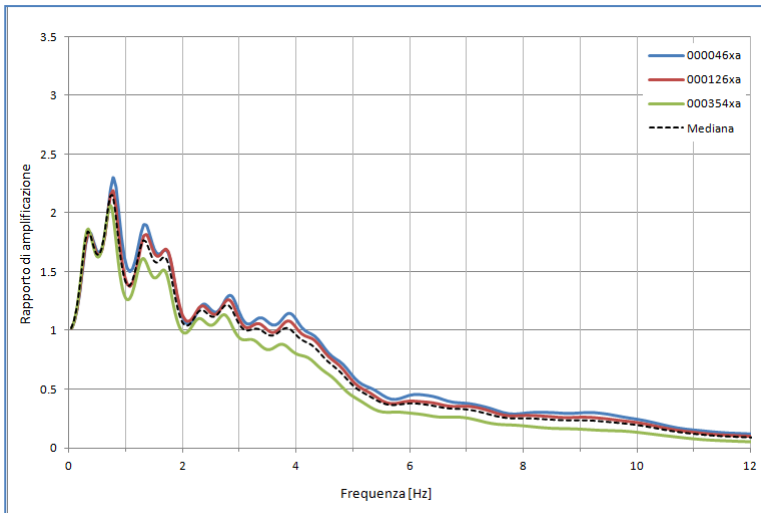
### MODELLO SISMO-STRATIGRAFICO

Per la caratterizzazione sismostratigrafica dell'area sono stati utilizzati i dati del cono sismico CPTUS6 (primi 30 metri) integrati con i valori di velocità più profondi della vicina ESAC5 (fino a 80 metri), per realizzare il fit congiunto con della curva del rapporto H/V (HVS10, sotto) e modellare il profilo di velocità fino a circa 120 metri (a sinistra), in corrispondenza del picco di frequenza fondamentale  $F_0$  dell'area (0.91 Hz).





## RISPOSTA SISMICA LOCALE CON MODELLAZIONE NUMERICA

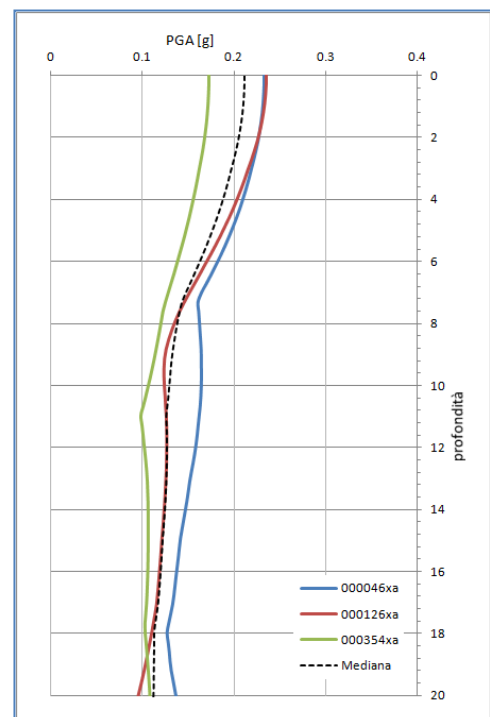


Nella figura a destra è riportato l'andamento, nei primi 20 metri al di sotto del piano campagna, dell'accelerazione massima (PGA) attesa in funzione della profondità per i tre terremoti di input e per la loro mediana. Si nota un generale progressivo aumento del valore di PGA al diminuire della profondità a partire dai 10-11 metri, coerentemente con il modello sismo-stratigrafico dell'area.

I fattori di amplificazione della PGA per i 3 segnali di input variano tra 1.22 a 1.67, con un  $F_{PGA}$  medio pari a 1.50 e quindi in linea con quello previsto dalle carte di microzonazione (Regione Emilia-Romagna e Gruppo di lavoro MS Emilia 2012, 2013) nell'area in oggetto (1.5).

Nella figura a sinistra si riporta il rapporto tra lo spettro al bedrock e quello atteso in superficie in funzione della frequenza per i tre accelerogrammi di input e per la loro mediana. Si osserva la massima amplificazione a frequenza poco inferiore a 1Hz, dato coerente con quanto riscontrato dalle misure di rumore ambientale, e a diverse altre frequenze, alcune delle quali sono armoniche superiori. La visibilità di queste ultime appare legata al basso smorzamento delle coperture.

Nella figura a sinistra sono riportati gli spettri di risposta dell'oscillatore armonico tipo ad un grado di libertà, in funzione del periodo proprio della struttura e per uno smorzamento tipico del 5%, ottenuti a partire dagli accelerogrammi di figura 3 e lo spettro mediano. È evidente come gli spettri di risposta ottenuti risentano significativamente del moto di input, risultando quindi piuttosto differenti per i tre accelerogrammi utilizzati. (segnali di riferimento DAL n.112/2007).



## GIUDIZIO DI FATTIBILITÀ DEGLI INTERVENTI EDILIZI

Per quanto concerne la riduzione del rischio sismico vale quanto indicato nelle Norme di Attuazione del PSC (Comune di Mirandola, 2014), a cui si rimanda per ogni dettaglio e di cui si riportano di seguito alcuni estratti.

Per l'area in esame risulta, dall'indagine eseguita, un valore dell'indice del potenziale di liquefazione basso. In considerazione del fatto che la conoscenza stratigrafica di questa porzione di territorio è però basata su uno scarso numero di indagini dirette, si dovrà comunque prevedere, nelle fasi esecutive, un'approfondita campagna di prove geognostiche. Per ogni intervento edilizio dovranno essere sempre verificati l'approfondimento e l'estensione dei livelli potenzialmente liquefacibili, sia superficiali (entro i primi 10 metri) che profondi (oltre i 10 metri), attraverso un numero adeguato di indagini in situ che permettano una buona definizione tessiturale dei depositi e un affidabile calcolo degli indici del potenziale di liquefazione (prove penetrometriche statiche con punta elettrica e/o piezocono spinte ad almeno 20 metri di profondità). *Se l'indice di liquefazione (LPI) risulterà pari o superiore a 2, per il calcolo dell'azione di sismica ai fini della progettazione non è ammesso l'approccio semplificato* (Comune di Mirandola, 2014) e dovranno quindi essere eseguiti calcoli della risposta sismica locale con modellazione numerica considerando le specificità delle singole opere in progetto e non potrà essere utilizzato, se non come riferimento indicativo preliminare, il calcolo eseguito in questa fase di pianificazione. Inoltre *dovranno essere valutati i potenziali cedimenti e per opere di particolare interesse pubblico o strategico, classi d'uso 3 e 4, si raccomandano interventi di mitigazione del rischio di liquefazione (consolidamento del terreno di fondazione, interventi per la riduzione delle pressioni interstiziali, ecc.)* (Comune di Mirandola, 2014).

Si dovrà porre particolare attenzione alle interferenze tra le fondazioni e i manufatti interrati con la falda presente in superficie. Le caratteristiche geomeccaniche dei terreni argillosi presenti in superficie dovranno essere puntualmente verificate in fase di progettazione degli interventi tramite ulteriori indagini geognostiche con particolare riferimento ai cedimenti ( $C_u$  tra 0.5 e 0.6 kg/cm<sup>2</sup>).

## BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (2011) - *Contributi per l'aggiornamento degli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica"*, Supplemento alla rivista Ingegneria sismica Anno XXVIII, no. 2.
- Albarello C. e Castellaro S. (2011) - *Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola. In AA.VV. (2011) - Contributi per l'aggiornamento degli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica"*, Supplemento alla rivista Ingegneria Sismica Anno XXVIII, no. 2.
- Comune di Mirandola (2014) - *Piano Strutturale Comunale - Norme di Attuazione*.
- 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.*, [Online], Available: [http://www.protezionecivile.it/cms/view.php?dir\\_pk=395&cms\\_pk=15833](http://www.protezionecivile.it/cms/view.php?dir_pk=395&cms_pk=15833).
- Idriss I.M. e Boulanger R.W. (2008) - *Soil liquefaction during earthquakes*, in *Monograph MNO-12, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA*.
- Iervolino I. (2012) - *Probabilità e salti mortali: le insidie della validazione dell'analisi di pericolosità attraverso l'occorrenza di singoli terremoti*, *Progettazione Sismica*, vol. 4, no. 2, pp. 37-43.
- Meletti C. e Valensise G. (ed.) (2004) - *Zonazione sismogenetica ZS9- App.2 al Rapporto conclusivo. Gruppo di lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza PCM 3274/2003)*, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.
- Rathje E.M. e Kottke A. (2010) - *Strata*, <https://nees.org/resources/strata>.
- Regione Emilia Romagna e Gruppo di lavoro MS Emilia 2012 (2013) - *Sisma 2012 - Studi sismici, Ordinanza n. 70 del 13/11/2012 e cartografia di riferimento*, <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/sismica/speciale-terremoto/sisma-2012-ordinanza-70-13-11-2012-cartografia>.
- Regione Emilia-Romagna (2007) - *Delibera Assemblea Legislativa n. 112/2007 - Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento tecnico in merito a "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica"*.
- Sonmez H. (2003) - *Modification to the liquefaction potential index and liquefaction susceptibility mapping for a liquefaction-prone area (Inegol-Turkey)*, *Environ. Geology*, vol. 44, no. 7, pp. 862-871.
- Stucchi M., Meletti C., Bazzurro P., Camassi R., Crowley H., Pagani M., Pinho R. e Calvi G. (2012) - *I terremoti del maggio 2012 e la pericolosità sismica dell'area: che cosa è stato sottostimato?*, *Progettazione sismica*, maggio, pp. 63-73.
- Tarabusi G. (2012) - *Microzonazione sismica del comune di Mirandola. Quadro conoscitivo del PSC*, <http://www.comune.mirandola.mo.it/la-citta-e-il-territorio/pianostrutturale-comunale-psc>.