Via Modenese 314/B
41018 S. CESARIO S.P. (MO)
Tel. 059/930110 – Cell. 335/6412883
P.IVA 03685660361

# INSTALLAZIONE DI UN IMPIANTO DI COGENERATORE PRESSO LO STABILIMENTO INDUSTRIALE ITA SITO IN VIA VIAZZA N. 30 – FIORANO M.SE

# Relazione Geologica e Sismica

## Genera Projects Srl

Sito indagato:

Via Viazza, 30 - Fiorano Modenese (MO)

Novembre 2022

Dott. Geol. Marco Santi Bortolotti

# *Relazione Geologica e Sismica*

## *1. PREMESSA*

La presente relazione riferisce dello studio eseguito presso lo stabilimento ITA Spa ubicato in Via Viazza n. 30 a Fiorano Modenese (Mo) (Fig. 1-2); in particolare espone gli aspetti geologici e sismici connessi con l'installazione di un impianto di cogeneratore.

### 1.1 CRONOPROGRAMMA E METODOLOGIA DI LAVORO

Al fine di inquadrare e contestualizzare dal punto di vista geologico e sismico l'area d'intervento, si è proceduto essenzialmente attraverso due fasi:

- 1) analisi bibliografica degli studi e delle indagini disponibili nell'area e in un suo intorno significativo;
- 2) approfondimento d'indagine sito-specifica con esecuzione di nuove indagini geognostiche.

1) La ricerca bibliografica ha permesso di reperire dati di buona qualità; quelli più significativi e utilizzati in questo lavoro sono:

- cartografia tecnica e geologica esistente;
- Studio di Microzonazione Sismica del Comune di Fiorano M.se;
- consultazione di indagini geognostiche eseguite nell'area dallo studio scrivente.

2) La consultazione dei dati sopra elencati permette di ottenere un buon quadro generale del sito in studio. Per qualificare e completare ulteriormente lo studio sono state comunque programmate **nuove indagini geognostiche "sito-specifiche",** comprensive di:

- n° 2 prove penetrometriche dinamiche (All. 1)
- n° 1 indagine sismica Masw (All. 2)
- n° 1 indagine sismica Hvsr (All. 3)

Così operando, si è inteso definire meglio il modello geologico-sismico del terreno di fondazione ed in particolare:

- valutare le condizioni geologiche-geomorfologiche e idrogeologiche dell'area;
- approfondire le conoscenze stratigrafiche, per meglio caratterizzare il terreno di fondazione;
- valutare la pericolosità sismica di base del sito di costruzione e gli eventuali effetti di sito dell'area;
- valutare la risposta sismica locale mediante classificazione semplificata del suolo in base alla VsEq, calcolo dell'accelerazione spettrale elastica e dei coefficienti di amplificazione sismica (NTC 2018).
- individuare le possibili problematiche geologiche-tecniche dell'area in relazione all'intervento;
- definire il modello geologico-geotecnico.

Lo studio, pertanto, secondo i dettami della normativa vigente (NTC2018) e dello stato dell'arte, è stato rivolto alla caratterizzazione e modellazione geologica e sismica dell'area d'intervento che consiste nella ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, geomorfologici, idrogeologici, e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio.

L'elaborato è sviluppato in modo da costituire imprescindibile elemento di base e di riferimento per la redazione del dimensionamento geotecnico di dettaglio e per il completamento della successiva progettazione.

# RELAZIONE GEOLOGICA

Il modello geologico del sito viene sviluppato in modo da costituire utile elemento di riferimento per l'inquadramento, da parte del progettista, delle problematiche geotecniche a piccola/grande scala e per stilare il programma delle indagini. Il modello di riferimento sarà quindi validato e supportato da indagini specifiche in funzione dell'importanza delle opere.

## *2. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO (6.2.1 NTC)*

### 2.1 ELEMENTI GEOGRAFICI-GEOMORFOLOGICI DELL'AREA

L'area oggetto di studio é ubicata in via Viazza nella zona artigianale di Spezzano di Fiorano (Fig. 1-2).

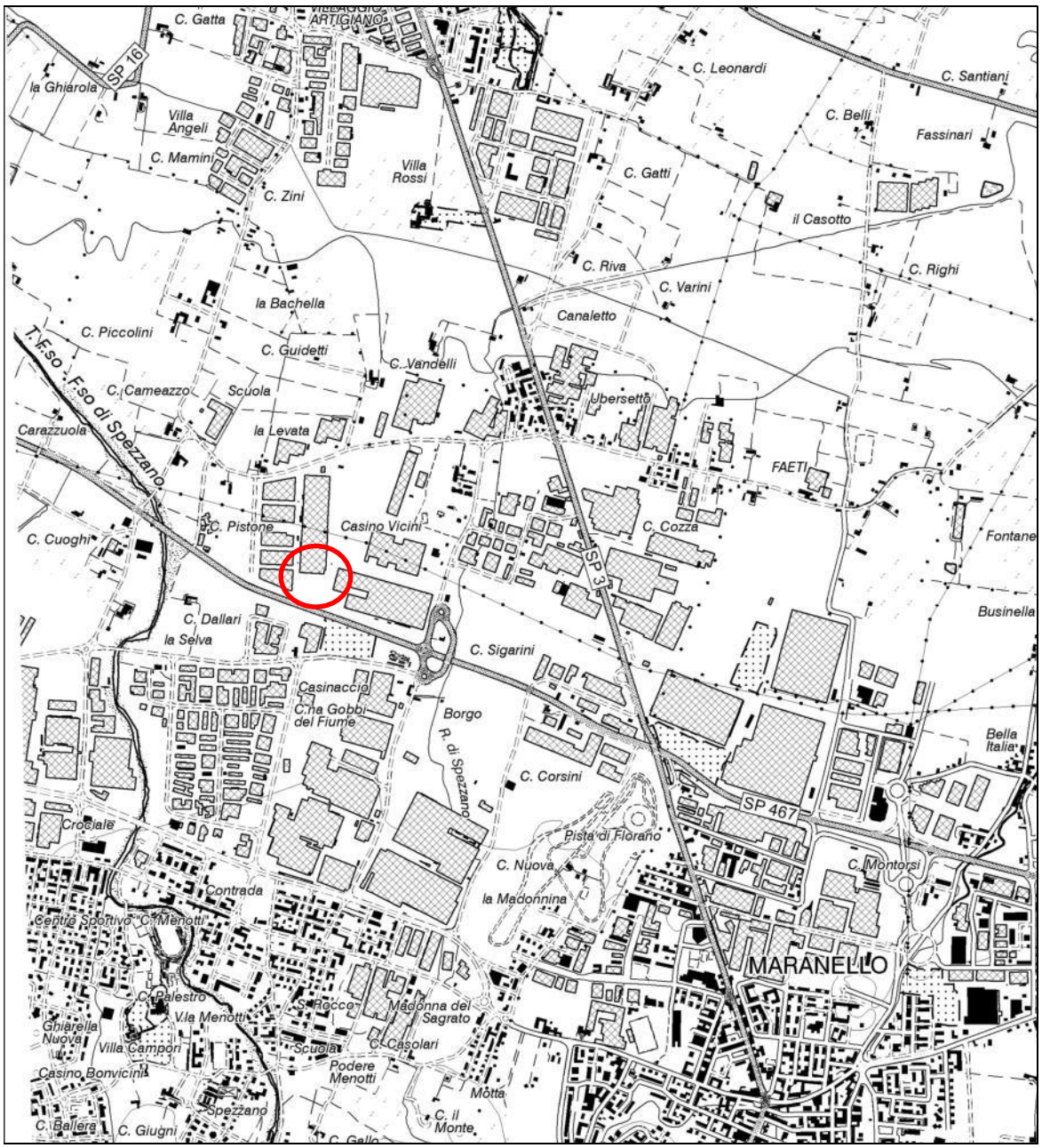



**Figura 1** – Inquadramento geografico 1:25.000 (Tavoletta Ctr n° 219ne).

Dal punto di vista geomorfologico, la zona in esame si colloca nell'alta pianura modenese, in posizione pianeggiante, a quote naturali medie intorno ai 115 m s.l.m., leggermente degradante verso NE (Fig. 2).

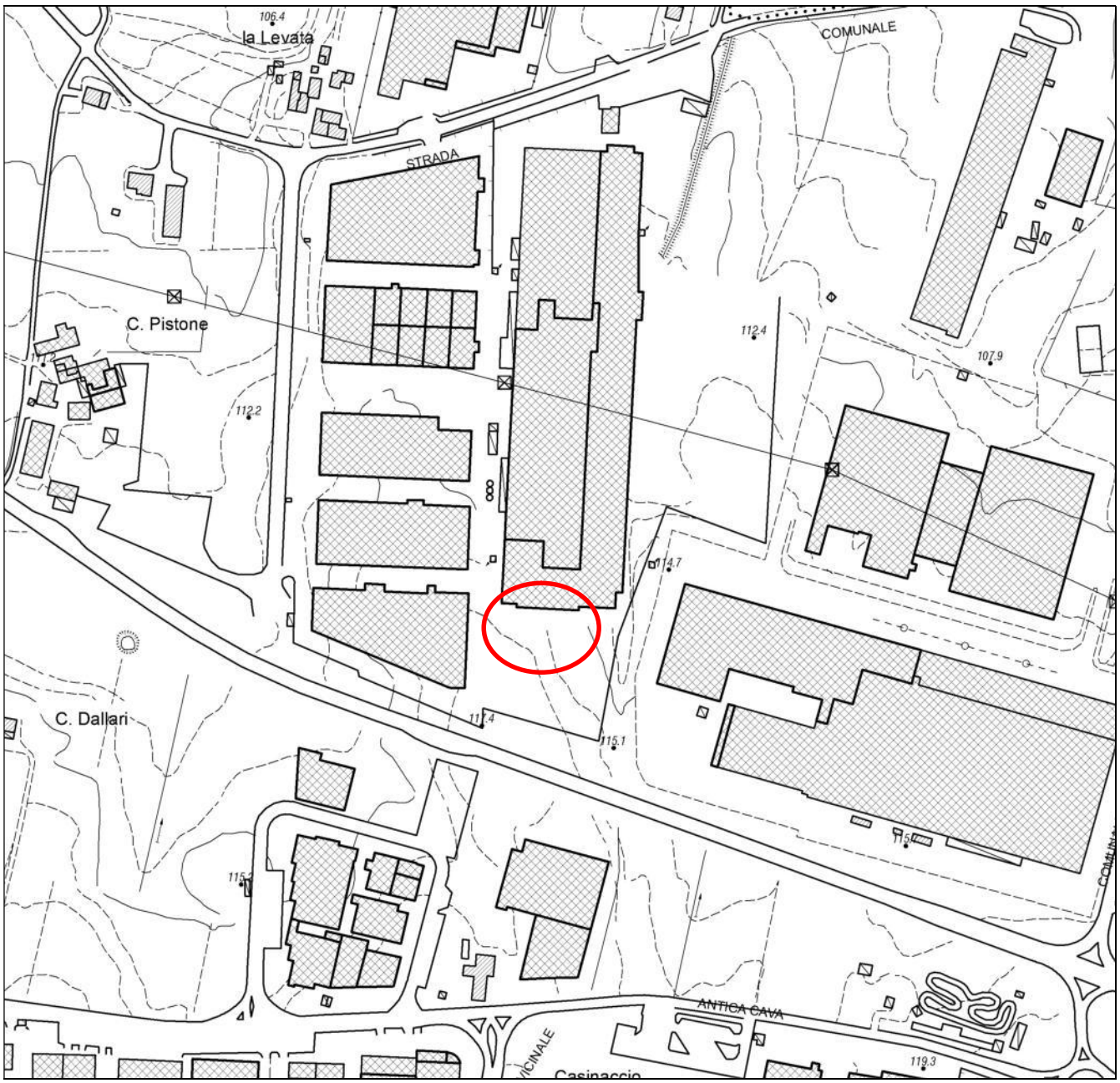



**Figura 2** – Corografia 1:5.000 (Elemento Ctr n° 219033).

Il sito in studio si pone in zona industriale, pertanto gli elementi morfologici sono totalmente mascherati.

Il sito d'intervento si colloca su piazzale asfaltato lungo il lato sud dello stabilimento. Al bordo meridionale il piazzale è delimitato dalla scarpata stradale dell'asse viario della Pedemontana.

### 2.1.1 Riferimenti Cartografici Ctr

Cartograficamente l'area in studio è individuata sulla C.T.R. nella Tavoletta 219ne a scala 1:25.000 (Fig. 1), nelle Sezione n° 219030 alla scala 1:10.000 e nell'Elemento n° 219033 a scala 1:5.000 (Fig. 2).

## 2.2 ELEMENTI GEOLITOLOGICI

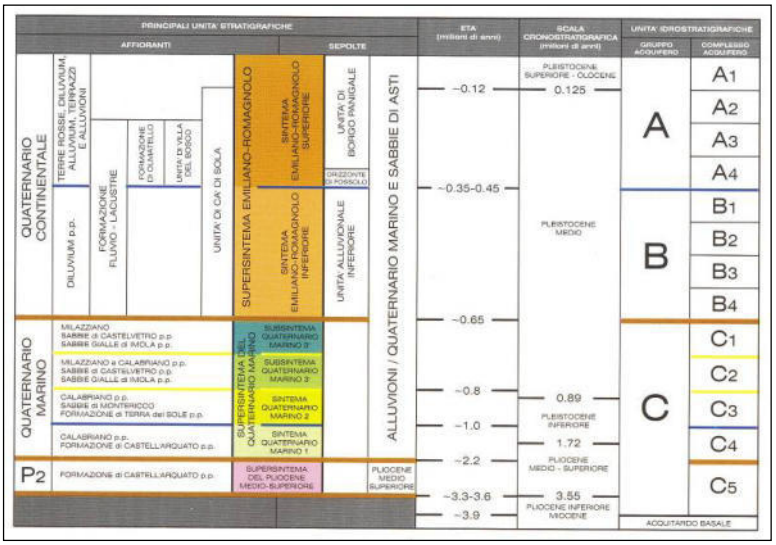
Nell'area di alta pianura in studio sono presenti depositi sedimentari di ambiente continentale, prevalentemente fluviali, la cui genesi è legata all'azione di trasporto e sedimentazione operata dai fiumi e dai torrenti principali, durante il Quaternario.

I sedimenti di piana alluvionale sono caratterizzati da materiali alluvionali argillosi, limosi e sabbiosi, stratificati o massivi, di prevalente accrescimento verticale, costituenti anche dossi fluviali. Sono stati deposti in epoca Neolitico-Medioevo dai corsi d'acqua che divagavano liberamente per la piana alluvionale ed in particolar modo, in questo settore della pianura, dal Fiume Panaro.

Superficialmente affiorano terreni prevalentemente limoso-sabbiosi e ghiaiosi a formare corpi lentiformi allungati in senso SW-NE e rilevati rispetto alla pianura circostante. ai quali si frappongono zone caratterizzate da litologie prevalentemente argillose, corrispondenti generalmente a depressioni ed a zone di esondazione.

Questo settore, appartenente all'Unità dei corsi d'acqua principali, è caratterizzato da materiali alluvionali prevalentemente ghiaiosi e sabbiosi della conoide pedemontana del F. Panaro con a tetto suoli alluvionali poco evoluti (Fig. 3).

Nell'ultima decina d'anni in seguito a studi di approfondimento condotti dal Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna, si è proceduto all'applicazione dei principi della Stratigrafia sequenziale allo studio descrittivo della successione dei depositi plio-quaternari del sottosuolo della pianura emiliano-romagnola, cercando, quando possibile, di correlare tali sedimenti con i coevi depositi terrazzati affioranti lungo il margine pedecollinari e le valli dei principali corsi d'acqua. Sono state pertanto introdotte unità a limiti inconformi o UBSU (*Unconformity Bounded Stratigraphic Units*) ed unità allostratigrafiche.




Si è cercato di applicare i criteri della stratigrafia sequenziale alla descrizione di tali sedimenti.

<u>Sintema emiliano-romagnolo inferiore</u>, comprendente i sedimenti di ambiente continentale sedimentati all'incirca tra 650 mila e 350/450 mila anni fa;

<u>Sintema emiliano-romagnolo superiore</u> comprendente i depositi continentali depositatisi da 350/450 mila anni fa al presente, alla cui sommità (intervallo compreso all'incirca tra i 125mila anni e l'attuale.

Vengono distinti dall'alto verso il basso (Gasperi & Pizziolo): a) Subsintema di Ravenna (AES8) (la cui parte superiore è denominata unità di Modena (AES8b); b) Subsintema di Villa Verucchio (AES7) suddiviso in unità di Niviano (AES7a) ed Unità di Vignola (AES7b); c) Subsintema di Bazzano (AES6).

La cartografia geologica di riferimento di più recente pubblicazione é rappresentata dalla "Carta geologica del Progetto CARG" (Fig. 3). Se ne riporta uno stralcio cartografico e la relativa legenda delle litologie presenti nell'area.

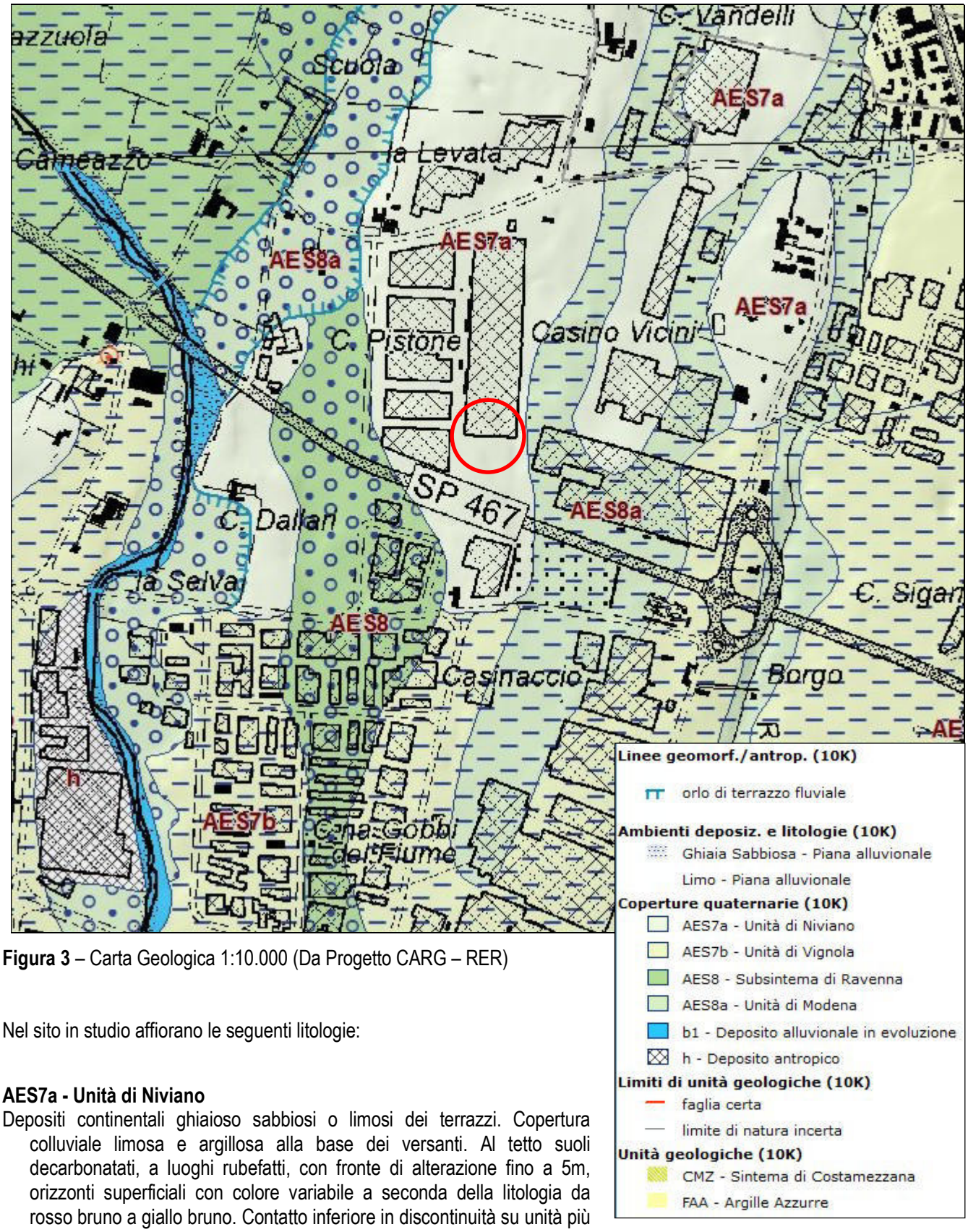



**Figura 3** – Carta Geologica 1:10.000 (Da Progetto CARG – RER)

Nel sito in studio affiorano le seguenti litologie:

**AES7a - Unità di Niviano**

Depositi continentali ghiaioso sabbiosi o limosi dei terrazzi. Copertura colluviale limosa e argillosa alla base dei versanti. Al tetto suoli decarbonatati, a luoghi rubefatti, con fronte di alterazione fino a 5m, orizzonti superficiali con colore variabile a seconda della litologia da rosso bruno a giallo bruno. Contatto inferiore in discontinuità su unità più antiche. Potenza affiorante < 10 m o non valutabile. Pleistocene sup.

### 2.3 ELEMENTI IDROGEOLOGICI DELL'AREA

L'andamento delle principali aste idrografiche è da SW verso NE. Il reticolo idrografico non appare particolarmente gerarchizzato nell'area di alta pianura; al contrario nella prima fascia collinare sono presenti microbacini idrografici ad andamento piumato, soprattutto in corrispondenza di valli minori dove si individuano le forme calanchive più evolute.

L'andamento della superficie piezometrica per l'area di pianura in studio è stato ripreso dagli studi condotti da ARPA riguardanti la qualità delle acque superficiali e sotterranee nella Provincia di Modena. A grandi linee la falda principale presenta un andamento di flusso da SW verso NE coincidente a quello dei corsi d'acqua principali e conforme all'andamento del gradiente topografico medio. I valori della soggiacenza sono generalmente molto elevati, attorno ai 40-50 m rispetto al p.c.. Non si esclude tuttavia la presenza di orizzonti saturi sospesi a profondità minori, soprattutto nei pressi dei Torrenti principali (Fossa di Spezzano, Tiepido) dove si può configurare una filtrazione dalla falda di subalveo verso le fasce perifluviali con alimentazione diretta da parte del corso d'acqua.

I corpi sedimentari potenzialmente acquiferi, si presentano a geometria più o meno lentiforme e spesso discontinui formati da materiali grossolani (ghiaie e sabbie).

L'idrogeologia del sottosuolo è pertanto caratterizzata da una falda freatica/semiconfinata che fa riferimento ad orizzonti acquiferi tendenzialmente profondi.

Nei fori di sondaggio non si è rilevato alcun livello di falda (14/11/2022).

L'intervento edificatorio previsto non interferirà con alcun livello di falda.

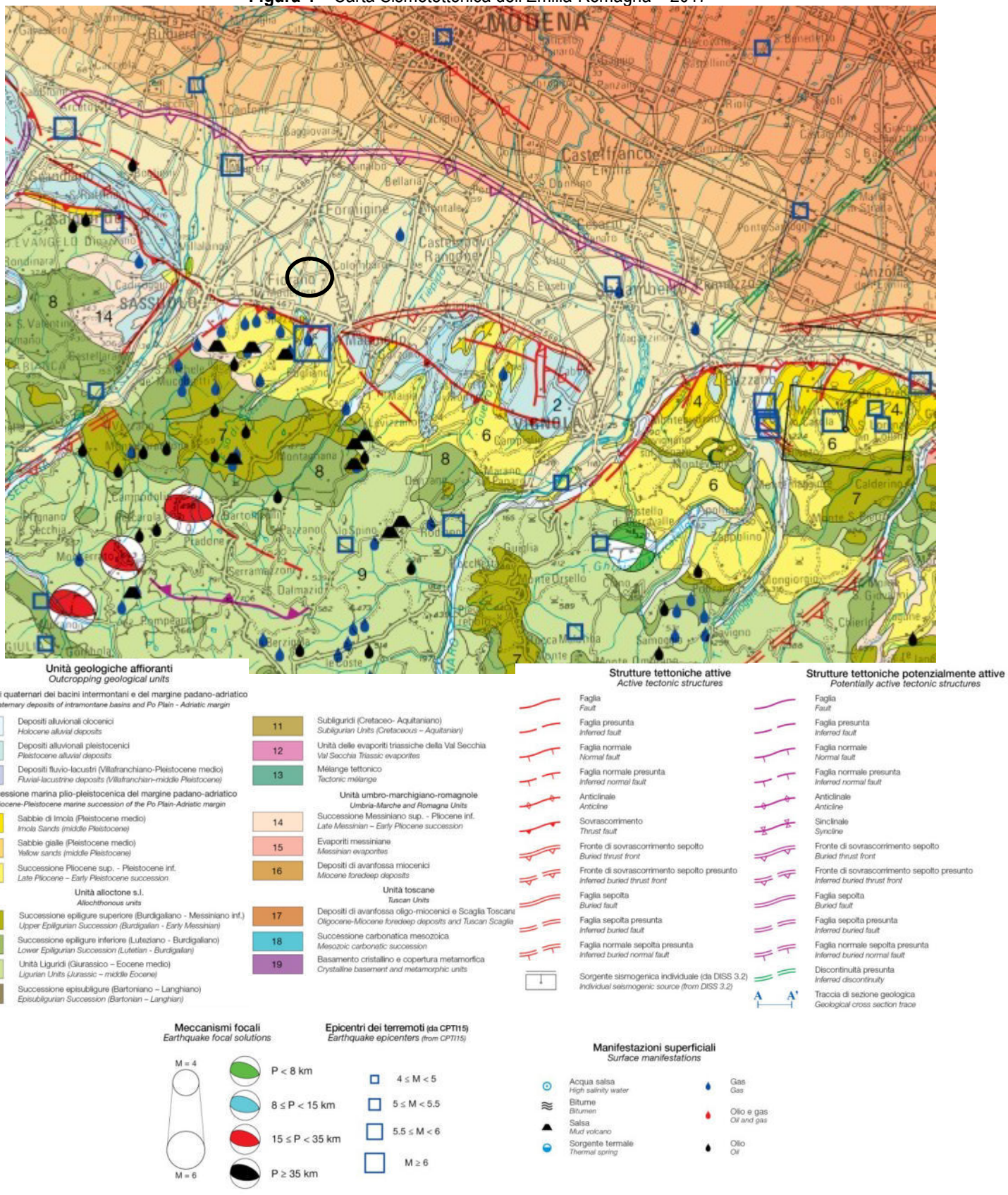
# 3. RELAZIONE SISMICA

## *3.1 DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO*

### 3.1.1 SISMOTETTONICA

Di seguito si riporta uno stralcio della Carta Sismotettonica dell'Emilia Romagna.

**Figura 4** – Carta Sismotettonica dell'Emilia-Romagna – 2017



***Zonazione sismogenetica***

È stata utilizzata la zonazione sismogenetica dell'INGV, chiamata ufficialmente ZS9. Rispetto alle zonazioni precedenti, in questo caso le zone sorgente sono state disegnate più vincolate rispetto alle sorgenti sismogenetiche e alla sismicità storica e strumentale e le aree circostanti sono state cautelate attraverso i normali effetti di propagazione della pericolosità sismica al di fuori delle zone sorgente.

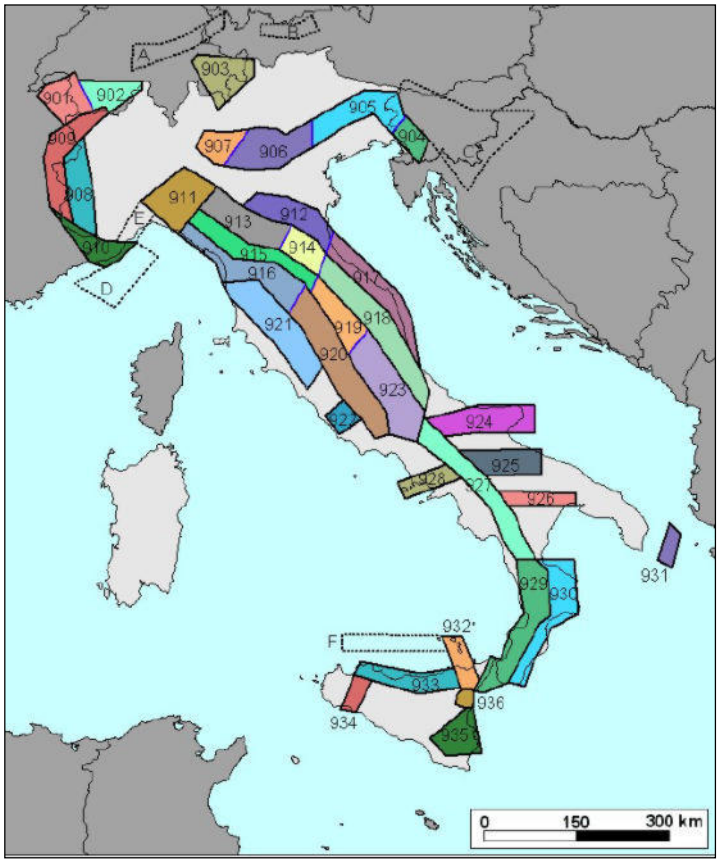



**Fig. 5 –** Zonazione sismogenetica ZS9 (INGV).

La zonizzazione ZS9 risulta basata prevalentemente sulle informazioni di ZS4; recepisce le informazioni sulle sorgenti sismogenetiche italiane messe a disposizione da DISS 2.0 (Database of Potential Sources for Earthquake Larger than M5.5 in Italy, 2001) e da altre compilazioni regionali di faglie attive; considera inoltre le indicazioni che derivano dall'analisi dei dati relativi ai terremoti più importanti verificatisi successivamente alla predisposizione di ZS4, alcuni dei quali localizzati al di fuori delle zone sorgente in essa definite; supera il problema delle ridotte dimensioni delle zone sorgente e della conseguente limitatezza del campione di terremoti che ricade in ciascuna di esse.

La ZS9 può essere utilizzata in congiunzione con il catalogo CPTI2, e fornisce inoltre una stima della "profondità efficace", cioè dell'intervallo di profondità nel quale viene rilasciato il maggior numero di terremoti in ogni zona sorgente, utilizzabile in combinazione con le relazioni di attenuazione determinate su base regionale, e fornisce per ogni zona un meccanismo di fagliazione prevalente, utilizzabile in combinazione con le relazioni di attenuazione modulate sulla base dei coefficienti proposti da Bommer et al. (2003).

La zonazione è costituita da 42 zone-sorgente, i limiti tra le zone sono neri e blu, i limiti neri definiscono limiti il cui tracciamento dipende esclusivamente da informazioni tettoniche e geologico-strutturali, il colore blu invece definisce suddivisioni di zone con uno stesso stile deformativo ma con differenti caratteristiche della sismicità. Come ad es. distribuzione spaziale degli eventi o la massima magnitudo rilasciata, ecc.

Le 42 zone-sorgente ZS9 vengono identificate da un numero che va da 901 a 936 o con una lettera da A a F.

***Sismicità delle zone sorgenti***

Nel territorio del Comune di Fiorano non sono riconosciute strutture sismogenetiche; tuttavia in passato sono stati risentiti gli effetti di numerosi terremoti dovuti ad una sismicità naturale localizzata nelle zone 913 e 912.

Le zone 913 e 912 sono quelle con un potenziale sismico tale da generare effetti non trascurabili nel territorio del Comune di Fiorano, mentre le altre vengono considerate poco influenti per generando terremoti con magnitudo a volte anche elevata (ad es. la zona 915).

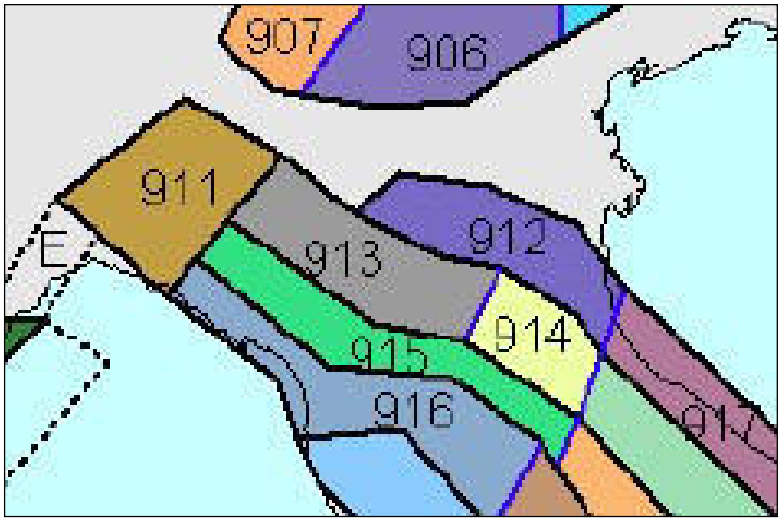



**Fig. 6 –** Zoom sulla zonazione sismogenetica ZS9 dell'Emilia Romagna ZS9.

La zona 912, già nota in passato per attività sismica, si trova in corrispondenza di una struttura anticlinalica sepolta, posta all'estremo occidentale dell'arco di pieghe e sovrascorrimenti a vergenza settentrionale della Dorsale Ferrarese, che costituisce una delle maggiori e più complesse strutture della Pianura Padana, fronte avanzato dell'App. Settentrionale.

La zona 913 è causa di una sensibile attività come documentato dagli eventi del bolognese, del reggiano e del parmense (anno 2000) risentiti nel bolognese. Questi eventi sono riconducibili a sorgenti superficiali attivate da meccanismi focali per compressione (faglie inverse e trascorrenti compressive) se si escludono eventi la cui origine è ancora incerta.

Fra questi figura il terremoto di Castelvetro del 1501 che avrebbe prodotto, in base alla ricostruzione macrosismica, effetti del IX° MCS. Se confermato, la fascia pedappenninica sarebbe quella potenzialmente più pericolosa per il territorio modenese.

**Ricostruzione della storia sismica**

Il catalogo delle massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani, valutate a partire dalla banca dati macrosismici del GNDT e dai dati del Catalogo dei Forti Terremoti in Italia di ING/SGA, Elaborato per il Dipartimento della Protezione Civile (D. Molin, M. Stucchi e G. Valensise, 1996), evidenzia quanto riportato nella figura seguente:

L'intensità massima registrata nel Comune di Fiorano è dell'VIII MCS (scala Mercalli-Cancani-Sieberg), corrispondente ad una magnitudo dell'ordine di 5.5-6 (scala Richter).

L'attività tellurica dell'area è nota e documentata dall'anno 1000, anche se la qualità e la quantità delle informazioni non sono omogenee e si manifesta sia con eventi singoli di media intensità, sia con sequenze sismiche estese nel tempo.

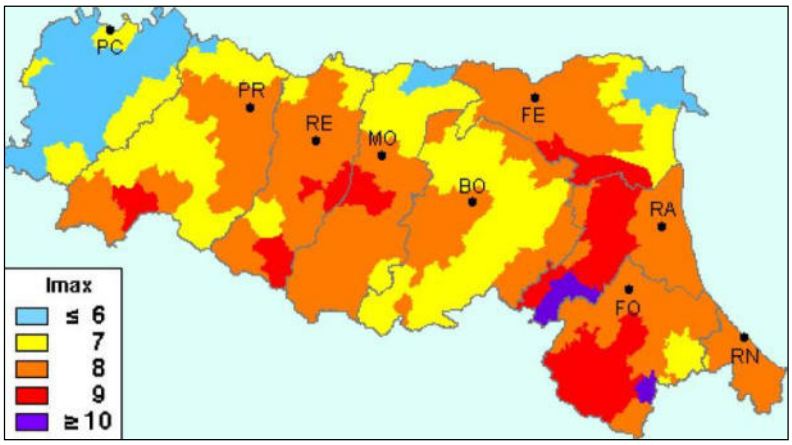



**Fig. 7 –** Intensità Macrosismiche osservate nei comuni italiani – GNDT ING/SGA

Le revisioni e ricollocazioni degli eventi storici e recenti, ma soprattutto l'attivazione di una rete sismica regionale integrata con quella nazionale, hanno permesso di distinguere, nell'ambito della regione, zone con differente regime sismico, vale a dire frequenza dei fenomeni, intensità e profondità focale.

Il confronto dei dati della sismicità strumentale con quelli storici evidenzia la stabilità nel tempo delle aree sismogenetiche.

Dal Catalogo parametrico CPTI15 dell'INGV si evince che storicamente i terremoti più forti entro una distanza di 30-40 km risultano:

<u>periodo dal 1000 al 2014</u>:

- Anno 1501 – Appennino modenese – Mw 5.98
- Anno 1929 – Bolognese – Mw 5.36
- Anno 2012 – Pianura Emiliana – Mw 5.90

A circa 60 km si segnala il sisma più intenso:

- Anno 1920 – Garfagnana – Mw 6.48

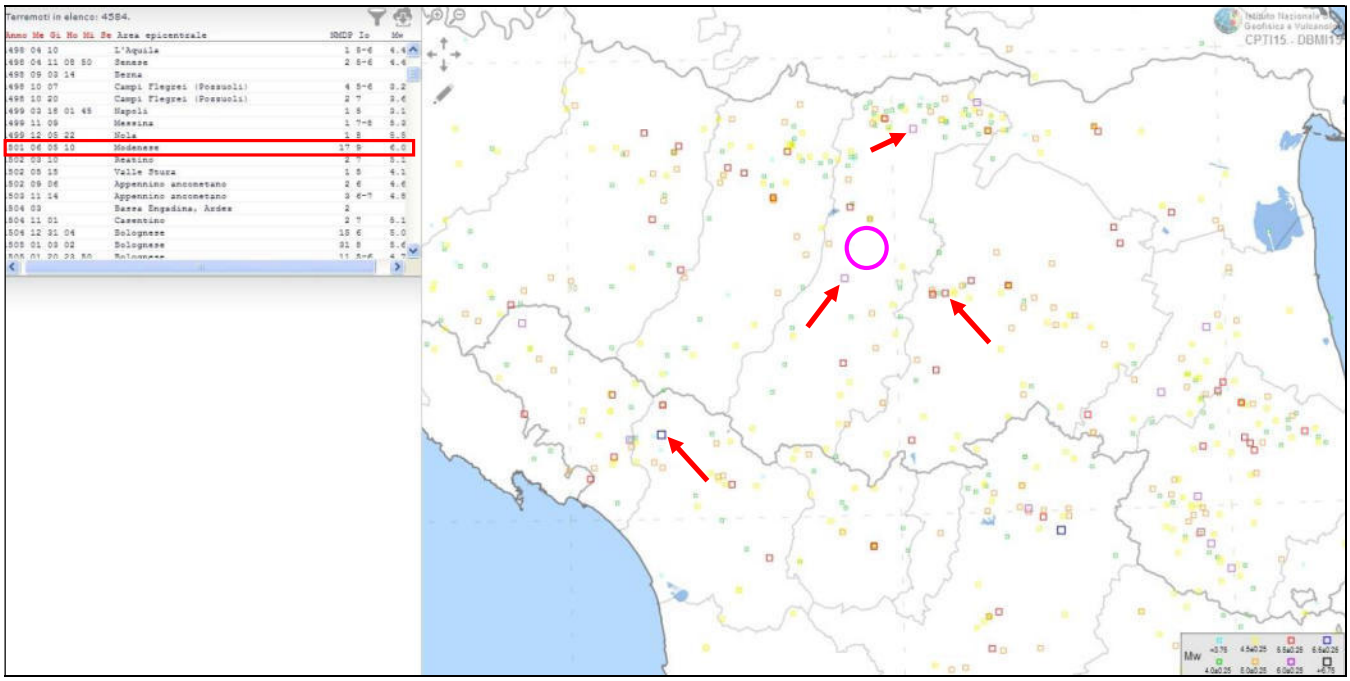



**Figura 8** – Tratto da INGV CPTI15 (Catalogo parametrico dei terremoti italiani – 2015) – Dal 1000 al 2014.

Area in studio

Nella pagina successiva sono elencate le osservazioni, aventi la maggiore intensità al sito, disponibili per il territorio comunale. Nella tabella sono indicate:

Is: intensità al sito

Anno Me Gi: anno mese giorno dell'evento

AE: località

Io: l'intensità massima epicentrale in scala MCS

Mw: magnitudo momento

### 3.1.1 SISMICITÀ RECENTE

La sismicità recente che ha interessato il territorio comunale di Fiorano è stata desunta dal Bollettino Sismico Italiano elaborato da ISIDe Working Group (INGV, 2010), Italian Seismological instrumental and parametric database: http://iside.rm.ingv.it.

Nello specifico sono stati ricercati i terremoti, registrati nell'intervallo di tempo tra il 01/01/2007 e il 31/12/2021, aventi una magnitudo maggiore di 5 in un raggio di 100 km dal Comune di Fiorano.

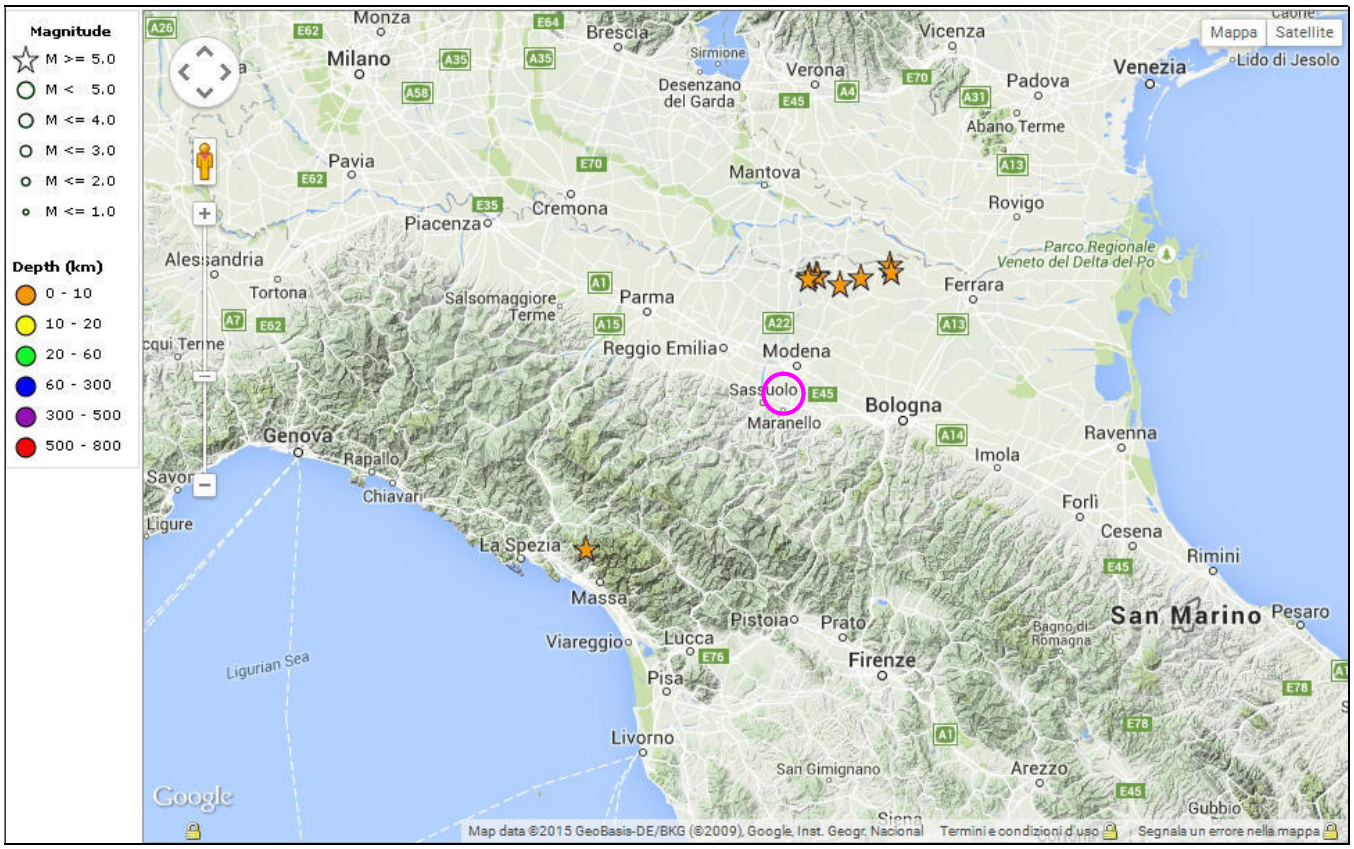



**Figura 9**: Eventi sismici recenti registrati con M > 5.

Data: 01/01/2007 → 31/12/2021

Distanza: 100 km da Fiorano

Magnitudo: > 5

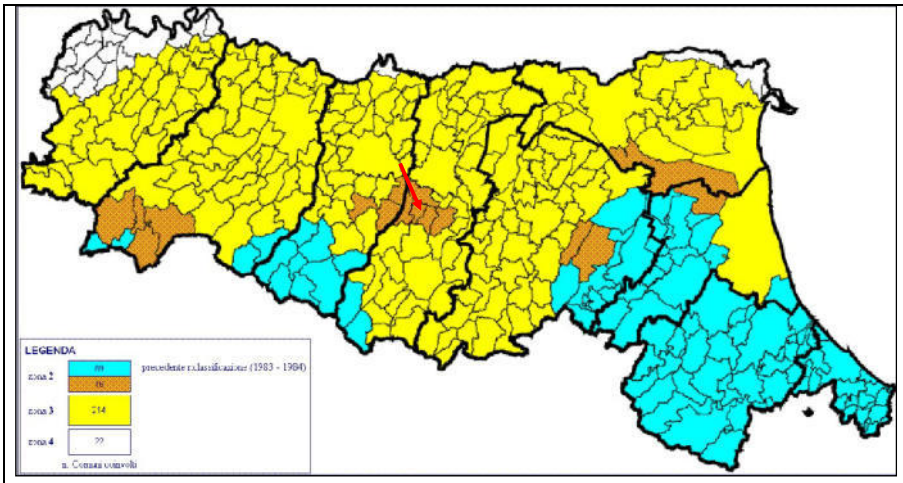
Terremoti totali: 9

| Tempo Origine (UTC) | Latitudine | Longitudine | Profondità | Magnitudo | Fonte |
|---|---|---|---|---|---|
| 2013-06-21 10:33:56.070 | 44.09 | 10.062 | 5.7 | 5.1--Mw | BULLETIN |
| 2012-05-29 11:00:22.990 | 44.866 | 10.976 | 7.2 | 5.1--ML | BULLETIN |
| 2012-05-29 11:00:01.680 | 44.856 | 10.941 | 8.7 | 5.0--ML | REMO |
| 2012-05-29 10:55:56.550 | 44.865 | 10.98 | 4.4 | 5.3--Mw | REMO |
| 2012-05-29 08:25:51.480 | 44.865 | 10.948 | 7.9 | 5.0--ML | REMO |
| 2012-05-29 07:00:02.880 | 44.842 | 11.066 | 8.1 | 5.6--Mw | REMO |
| 2012-05-20 03:02:47.090 | 44.86 | 11.152 | 9.1 | 5.0--ML | BULLETIN |
| 2012-05-20 02:07:28.950 | 44.874 | 11.27 | 6.1 | 5.0--ML | BULLETIN |
| 2012-05-20 02:03:50.170 | 44.896 | 11.264 | 9.5 | 5.8--Mw | BULLETIN |

## 3.2 NORMATIVA SISMICA DI RIFERIMENTO

***Ordinanza P.C.M. 3274/2003***

A seguito della nuova classificazione sismica (Ordinanza P.C.M. 3274 del 20/3/2003 e s.m), il territorio nazionale è diviso in quattro zone sismiche caratterizzate da differenti valori dell'acc.ne orizzontale massima (ag/g) su suolo di categoria A.




| ZONA | VALORE DI $a_g$ |
|---|---|
| 1 | 0,35 |
| 2 | 0,25 |
| 3 | 0,15 |
| 4 | 0,05 |

**Fig. 10** - Classificazione sismica attuale di riferimento - Ordinanza PCM del 20 marzo 2003 n. 2374 All. 1.

Il Comune di Fiorano M.se ricade in "zona sismica 2" a cui corrisponde un'accelerazione orizzontale massima convenzionale su suolo di categoria A, riferita ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni, ed espressa come frazione dell'accelerazione di gravità g, pari a $a_g$ =0,25g.

***Ordinanza P.C.M. 3519/2006***

Successivamente, l'Ordinanza PCM 3519/2006 ha indicato i *Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone.*

A tale ordinanza è allegata la *Mappa di Pericolosità sismica di riferimento a scala nazionale* nella quale è possibile verificare che il territorio del Comune di Fiorano M.se è compreso nell'area caratterizzata da **valori dell'accelerazione massima al suolo (amax)**, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita ai suoli molto rigidi (Vs30> 800 m/s; cat. A, All. 2, 3.1), **compresi tra 0,150 e 0,175** l'accelerazione di gravità **g**.

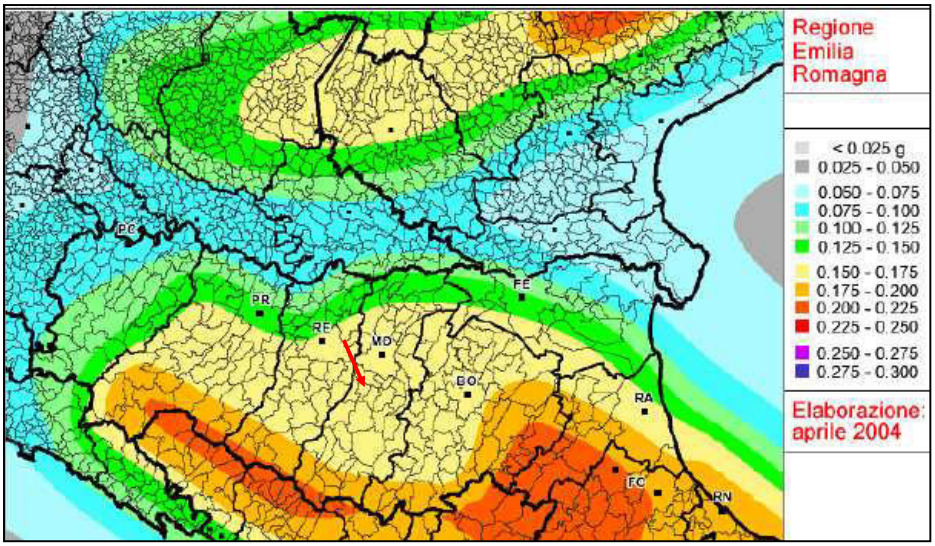



**Fig. 11** - Mappa di pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima al suolo (amax) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita ai suoli molto rigidi (Vs30> 800 m/s; cat. A) allegata all'Ordinanza PCM n. 3519 del 28 aprile 2006. (Fonte: Sito web della Regione Emilia-Romagna).

***Del. Rer. 112/2007***

Recentemente poi, la RER ha approvato la Del. n. 112 del 02-05-2007 "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica."; in All. A4 sono riportati i valori di accelerazione max, espressa sempre in frazione dell'accelerazione di gravità g ($a_{refg}$), per ogni comune della Regione.

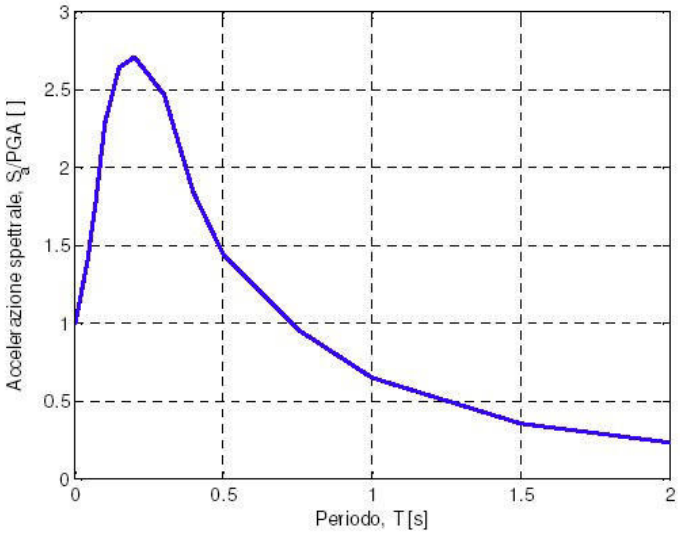
| | | |
|---|---|---|
| MO | Concordia sulla Secchia | 0.127 |
| MO | Fanano | 0.179 |
| MO | Finale Emilia | 0.149 |
| **MO** | **Fiorano Modenese** | **0.162** |
| MO | Fiumalbo | 0.198 |
| MO | Formigine | 0.163 |
| MO | Frassinoro | 0.178 |

Per il Comune di Fiorano M.se risulta $a_{refg}$=0,162.

***Definizione del moto di riferimento***

La PGA per un periodo di ritorno di 475 anni riportata nelle mappe di pericolosità sismica di INGV (Meletti C., Montaldo V., 2007. Stime di pericolosità sismica per diverse probabilità di superamento in 50 anni: valori di ag. Progetto DPC-INGV S1, Deliverable D2, http://esse1.mi.ingv.it/d2.html) varia nell'intervallo 0,150 ÷ 0,175 g. Tali dati sono anche stati utilizzati anche dalla Regione Emilia Romagna nella redazione della Delibera dell'Assemblea Legislativa n° 112 - 2007 "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica" dove viene indicata una PGA corrispondente a 0,159 g per l'intero territorio comunale.

La RER fornisce lo spettro di risposta normalizzato, dal quale è possibile ottenere, moltiplicando i valori della tabella seguente per il valore di $a_{refg}$ di ogni comune (vedi sopra), lo spettro di risposta a probabilità uniforme che descrive le caratteristiche del moto sismico atteso per ogni comune dell'Emilia-Romagna.




| T (s) | $Sa/a_{ref}$ |
|---|---|
| 0,00000 | 1,00000 |
| 0,04000 | 1,38865 |
| 0,07000 | 1,75927 |
| 0,10000 | 2,28349 |
| 0,15000 | 2,63726 |
| 0,20000 | 2,70745 |
| 0,30000 | 2,46642 |
| 0,40000 | 1,84047 |
| 0,50000 | 1,44476 |
| 0,75000 | 0,95494 |
| 1,00000 | 0,64546 |
| 1,50000 | 0,35479 |
| 2,00000 | 0,23070 |

Spettro di risposta normalizzato ($T_R$ = 475 anni, smorzamento = 5%) per l'Emilia-Romagna, e valori che lo definiscono.

Nella prima colonna sono riportati i valori del periodo proprio T, espresso in secondi, nella seconda i valori di accelerazione spettrale normalizzata al valore di accelerazione massima orizzontale (PGA), espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g (pari a 9.81m/s$^2$), al corrispondente periodo T.

***NTC2018***

Le NTC stabiliscono che l'accelerazione orizzontale massima del sito di riferimento non è più riferita ad una classificazione comunale ma viene calcolata considerando le proprietà del sito in esame, utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi (§ 7.11.3 NTC18). In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella seguente Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, Vs. I valori di Vs sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

Il suolo può essere assimilato e classificato in modo semplificato in una delle 5 classi principali (A,B,C,D,E).

**Tab. 3.2.II –** *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

| Categoria | Caratteristiche della superficie topografica |
|---|---|
| A | *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m. |
| B | *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti,* caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s. |
| C | *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s. |
| D | *Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti,* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s. |
| E | *Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D,* con profondità del substrato non superiore a 30 m. |

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, V S,eq (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^{N} \frac{h_i}{V_{S,i}}} \quad \text{m/s}$$

hi = spessore dello strato i-esimo
$V_{Si}$ = velocità delle onde di taglio nello strato i-esimo
N = numero strati considerati
H= profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

## *3.3 PROSPEZIONI GEOFISICHE*

Allo scopo di valutare la pericolosità sismica di base del sito di costruzione e la risposta sismica locale mediante classificazione semplificata del suolo in base alla VsEq, e calcolare l'accelerazione spettrale elastica e dei coefficienti di amplificazione sismica (NTC 2018), oltre alla consultazione dello Studio di Microzonazione Sismica di Fiorano, sono state eseguite e consultate le seguenti indagini sismiche:

- n° 1 indagine di sismica a rifrazione con metodologia MASW (All. 2);
- n° 1 prospezione sismica passiva di microtremori HVSR (All. 3);

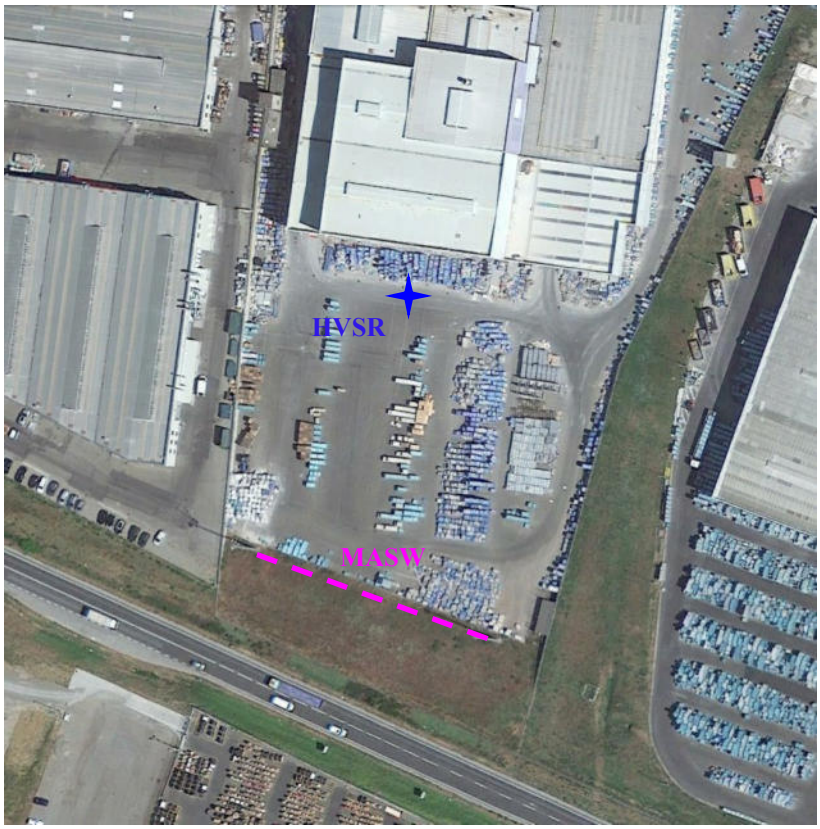
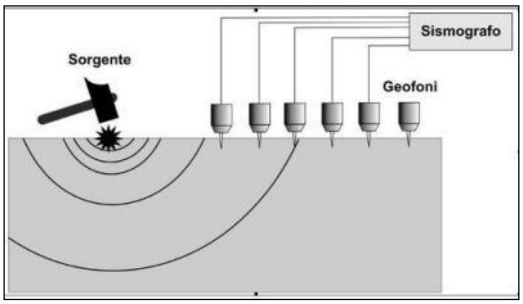



**Fig. 12** – Ubicazione indagini geofisiche

### 3.3.1 PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE TIPO MASW – ALLEGATO 2

Al fine di valutare la possibilità di definire in modo semplificato la categoria di suolo e fornire una prima caratterizzazione della risposta sismica del sito in esame è stata consultata una MASW eseguita dallo scrivente nel lotto adiacente.

***Acquisizione e strumentazione impiegata***




La tecnica non è invasiva e richiede una fonte di energizzazione (mazza battente). Le onde *Rayleigh*, che sono il risultato dell'interferenza fra le onde di pressione "P" e quelle di taglio "S", si trasmettono sulla superficie libera e, in un terreno stratificato, subiscono una sorta di dispersione con velocità di propagazione che dipende dalla frequenza.

Le componenti a frequenza minore penetrano più in profondità per cui hanno una maggior velocità di fase.

L'acquisizione è avvenuta tramite sismografo a 24 canali (Sismografo PASI mod. 16S-U) collegato a geofoni verticali a frequenza propria di 4.5Hz (spaziatura tra geofoni 2 m, 1s di acquisizione, offset minimi di 2-5 m).

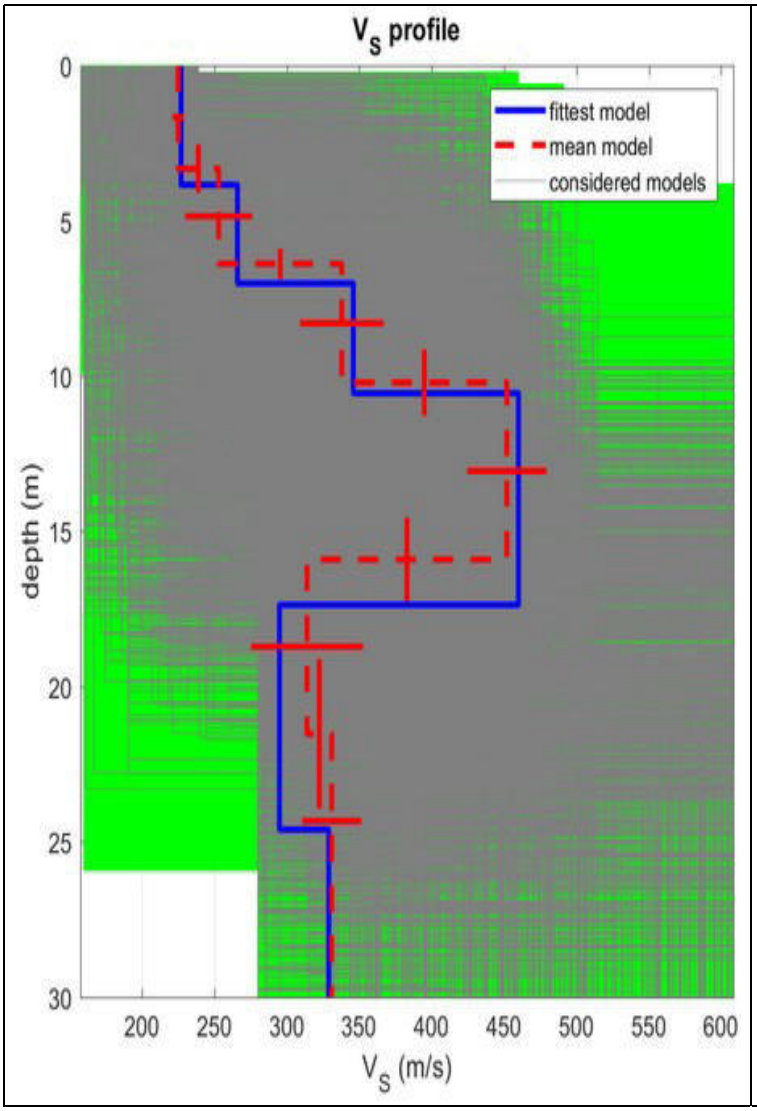
L'indagine eseguita è composta da n° 1 stendimento lungo 46 m.

***Elaborazione dati***

Per le analisi dei dati acquisiti si è adottato il software *winMASW 7.3* Pro (www.eliosoft.it).

Per ricostruire il profilo verticale della velocità delle onde di taglio (VS), i dati acquisiti sono stati elaborati tramite i seguenti passaggi: determinazione spettro di velocità, identificazione curve di dispersione, inversione/modellazione di queste ultime. Di seguito si riporta, per la Masw, il profilo verticale delle Vs (Allegato 2).

**MASW**




| Profondità (m) | | Spessore (m) | Vs |
|---|---|---|---|
| da | a | (m) | (m/s) |
| 0.0 | 3.8 | 3.8 | 227 |
| 3.8 | 7.0 | 3.2 | 266 |
| 7.0 | 10.5 | 3.5 | 346 |
| 10.5 | 17.3 | 6.8 | 460 |
| 17.3 | 24.5 | 7.2 | 295 |
| 24.5 | | | 329 |

***CATEGORIA DI SUOLO: C (NTC18)***

Terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivamente compresi tra 180 m/s e 360 m/s

***VsEq = Vs30 = 316 m/s***

### 3.3.2 INVERSIONI DI VELOCITÀ

L'analisi di dettaglio del profilo Vs dell'indagine geofisica mostra un calo di velocità delle Vs; tale diminuzione non è però significativo in termini di alterazione della risposta sismica locale, e non inficia quindi il trend generale di aumento di velocità con la profondità investigata.

Nella valutazione della significatività delle inversioni di velocità, si fa riferimento agli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica – Protezione Civile 2008, dove si asserisce che la presenza di una inversione di velocità nel profilo delle Vs di una successione litostratigrafia si intende realizzata quando un terreno rigido sovrasta stratigraficamente un terreno meno rigido (soffice) con un rapporto $Vs_{rig}/Vs_{sof} > 2$, con la Vs dello strato più rigido maggiore di 500 m/s. In tali casi è opportuno passare a un livello di approfondimento superiore. L'uso degli abachi è comunque consentito comunque se l'inversione è dovuta a uno strato più rigido di spessore minore di Vs/60, dove Vs è la velocità media di tutta la copertura al di sopra del basamento sismico espressa in m/s.

Questi concetti sono stati ribaditi da diversi autori (vedi: D. Albarello , Prof. E. Aiello, S. Castellaro), in occasione di corsi di aggiornamento professionale; essi definiscono con Inversione di Velocità del profilo delle Vs in profondità, una situazione litostratigrafica dove siano verificate contemporaneamente le seguenti 4 condizioni:

- 1) un terreno rigido che in profondità sovrasta un terreno soffice con un rapporto $Vs_{rig}/Vs_{sof} > 2$
- 2) la differenza fra le Vs dei due terreni deve essere > 200 m/s
- 3) lo spessore dello strato a minore velocità deve essere > 5 m
- 4) la Vs dello strato più rigido deve essere $\geq$ 500 m/s

**INVERSIONE DI VELOCITÀ VS**

| *Condizione* | *Valore* | *Verifica* |
|---|---|---|
| terreno rigido/terreno soffice – $Vs_{rig}/Vs_{sof}$ | > 2 | NO |
| Differenza tra le Vs dei due terreni | > 200 m/s | NO |
| Spessore strato a minor velocità | > 5 m | Sì |
| Vs dello strato rigido | $\geq$ 500 m/s | NO |

La situazione sismostratigrafica riscontrata verifica solo una delle condizioni sopra descritte, la 3); pertanto è possibile affermare che il sottosuolo di fondazione nel sito in studio non presenta inversioni di velocità del profilo Vs tali da alterare la Risposta Sismica locale.

Si conferma quindi, in via preliminare, un modello di sottosuolo riconducibile alla classificazione semplificata tipica delle categorie di sottosuolo definite dalle NTC18.

### 3.3.2 PROSPEZIONE SISMICA PASSIVA DI MICROTREMORI (HVSR) – ALLEGATO 3

L'indagine HVSR, registrazione con tromografo di rumore sismico ambientale di fondo (microtremore), si pone come obiettivo preminente l'individuazione delle diverse frequenze di risonanza del terreno il tutto, nell'ottica di valutare eventuali fenomeni di amplificazione del moto sismico nel terreno d'indagine.

*Strumentazione utilizzata*

La registrazione di rumore sismico ambientale è stata effettuata tramite tromografo digitale *Tromino* della *Micromed s.p.a;* tale strumento permette sia l'acquisizione digitale in alta risoluzione in modo passivo/non intrusivo che il pre-processing dei dati. Esso è costituito da tre velocimetri elettrodinamici ortogonali (N-S, E-W e UP-DOWN) autobloccanti in fase di non acquisizione.

Qui di seguito vengono riportate le caratteristiche tecniche dello strumento impiegato.

micromed

➢ SPECIFICHE TECNICHE

| | |
|---|---|
| Costruttore: | Micromed S.P.A. via Giotto 2 - 31020 - Mogliano Veneto (TV) - Italia tel. +39-041-5937000 fax +39-041-5937011 e-mail: info@tromino.it support@tromino.it |
| Apparato: | TROMINO® sistema ultraportatile di acquisizione del rumore sismico |
| Classificazione: | • CISPR 11 - EN 55011 (apparati a radiofrequenza Industriali, Scientifici e Medicali (ISM) - Caratteristiche disturbi radio - Limiti e metodi di misura), Gruppo1 Classe B. |
| Conformità agli standard: | EN 55011, IEC 61000-4-2, IEC 61000-4-4, IEC 61000-4-3. |
| Alimentazione | 2 x 1.5 $V_{DC}$ AA, batterie alcaline |
| Voltaggio Interno | +3.3 V, +3.6 V per la sezione analogica |
| Potenza utilizzata | 75 mW (GPS inattivo), 450 mW (GPS attivo) |
| Durata Batteria | 80 h in continuo, GPS inattivo |
| Numero canali | 7 + 1 analogico |

micromed

| | |
|---|---|
| Amplificatori | tutti i canali con ingressi differenziali |
| Rumore | <0.5 µV r.m.s. @ campionamento128Hz |
| Impedenza in ingresso | $10^9\Omega$ |
| Intervallo di frequenza | DC – 360 Hz |
| Frequenza campionamento | 16384 Hz per canale |
| Frequenza sovracamp. | 32x, 64x, 128x |
| Risoluzione A/D | 24 bit equivalenti |
| Max ingresso analogico | 51.2 mV (781 nV/digit) |
| Display | grafico, 128 x 64 pixel, retroilluminato |
| Tastiera | soft-touch, 4 tasti |
| Orologio | interno, permanente con data e allarme, può essere visualizzato durante l'acquisizione |
| GPS | 12 canali con marcatempo (precisione 1 µs) |
| Livellamento | a bolla, alta precisione orizzontale, sensibilità 5' arco (0.083°) |
| Connessioni | Porta USB tipo B |
| Registrazione dati | memoria interna, standard 512 Mb, opzionale fino a 2 Gb |
| Dimensioni e peso | 10 x 14 x 7.7 (altezza) cm. 1.1 kg Contenitore in alluminio |
| Accoppiamento al terreno | piedini o cuscino reologico |

micromed

| | |
|---|---|
| Condizioni ambientali per l'uso | temperatura – 10 / +70°C<br>umidità 0-90% senza condensa |
| Impermeabilità | Indice di protezione IP → 65 (a prova di polvere e schizzi) |
| Sensori | 3 velocimetri elettrodinamici ortogonali<br>Auto-bloccanti quando non acquisiscono<br>Correzione elettronica ed attraverso il software *Grilla* per la risposta in frequenza dei sensori |
| Intervallo frequenza di lavoro | 0.1 - 256 Hz. |

L'elaborazione dei dati è stata effettuata tramite il software *Grilla vers. 6.1* in dotazione allo strumento; esso permette di definire gli spettri delle singole componenti (N-S, E-W e UP-DOWN), di effettuare le analisi H/V e di valutare la VSEq.

È stata effettuata n° 1 acquisizione di 20 min.

La registrazione è stata effettuata su piazzale asfaltato.

Il disturbo da traffico veicolare può essere considerato medio, in virtù della distanza dalle strade principali; eventuali passaggi casuali possono essere eliminati senza problemi essendo ben visibili negli spettri (in particolare nel diagramma hz/min della serie temporale H/V) e comunque di durata minima. L'acquisizione è avvenuta in condizioni meteo buone (12°C, vento assente).

Per ulteriori dettagli/approfondimenti circa l'acquisizione si rimanda agli elaborati allegati.

*Interpretazione dei dati*

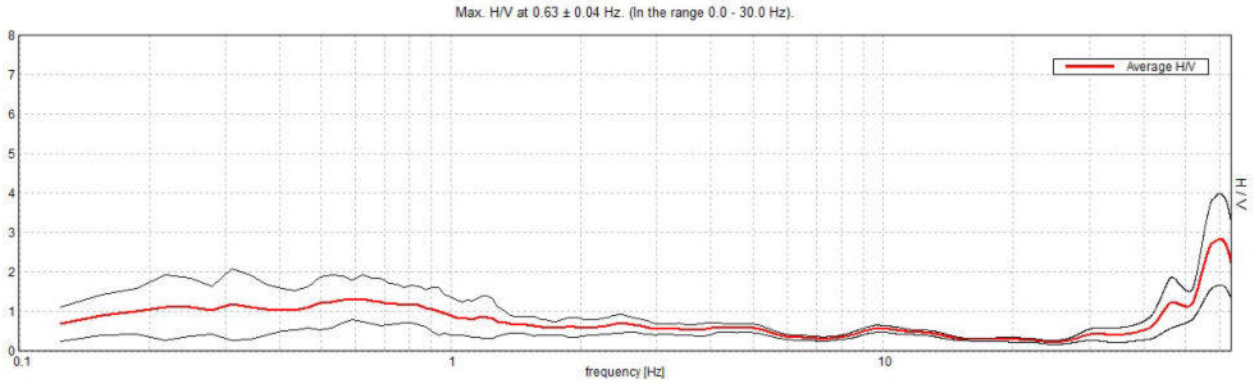
L'elaborazione dei dati ha permesso di ottenere i diagrammi specifici ovvero gli spettri delle singole componenti (N-S, E-W e UP-DOWN) e lo spettro del moto del suolo (H/V) (vedi elaborato specifico).

In fase di elaborazione dati, inoltre, è stata eseguita anche un'analisi H/V con una percentuale di *smoothing* inferiore ovvero pari all'1% (qui non riportata) in modo tale da individuare i vari i picchi antropici e le loro frequenze; tale analisi conferma, sostanzialmente, che i picchi H/V alle frequenze individuate sono di natura stratigrafica.

La presenza di significative impedenze sismiche viene segnalata con l'elaborazione degli spettri HVSR, e delle tre componenti spaziali. I risultati analitici sono riportati in forma grafica in Allegato 3. L'analisi degli esiti di questa indagine può essere associata alle conoscenze di sottosuolo (stratigrafia e geomeccanica), ed alle misure ottenute dalle altre indagini geofisiche.

L'andamento della curva H/V unitamente all'osservazione del profilo Vs della Masw permette di rilevare la presenza di un'inversione di velocità; la linea rossa (average H/V) in effetti scende a valori inferiori a 1. Tale andamento è fortemente influenzato dalla presenza del piazzale asfaltato e sottostante sottofondo grossolano.

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE




*Frequenze di risonanza*

L'HVSR non mostra picchi significativi di risonanza.

Il picco ad alta frequenza >50 Hz è causato dal piazzale asfaltato.

Si lascia al tecnico strutturista il calcolo della frequenza di vibrazione della struttura in progetto. La conoscenza di tale caratteristica è necessaria al fine di valutare l'esistenza di eventuali incrementi dell'ampiezza delle oscillazioni sismiche, legati a fenomeni di doppia risonanza tra la frequenza fondamentale dei terreni superficiali e il primo modo di vibrare della struttura in previsione.

## *3.4 ANALISI SEMPLIFICATA (NTC18)*

### 3.4.1 CLASSIFICAZIONE DEL SUOLO

L'analisi dei dati ottenuti con le indagini geofisiche unitamente alle conoscenze geologiche e litostratigrafiche, permette di ottenere un modello di sottosuolo riconducibile alla classificazione semplificata tipica delle categorie di sottosuolo definite dalle NTC 2018. La Masw fornisce un valore della VsEq di 316 m/s a 0 m di prof.

Il suolo di fondazione del sito d'intervento, viene classificato come:

- **suolo di fondazione Categoria C (NTC2018)**

a cui corrisponde un coefficiente di amplificazione stratigrafica **Ss=1.47**

Questa procedura semplificata è stata concordata con l'Ing. Strutturista. Nel caso in cui la si ritenesse opportuna, è possibile eseguire un'analisi di RSL (Risposta Sismica Locale) con utilizzo di accelerogrammi e codici di calcolo.

### 3.4.2 CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

*Condizioni topografiche – amplificazione topografica $S_T$*

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.IV):

**Tabella 3.2.IV** – *Categorie topografiche*

| Categoria | Caratteristiche della superficie topografica |
|---|---|
| T1 | Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15°$ |
| T2 | Pendii con inclinazione media $i > 15°$ |
| T3 | Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15° \leq i \leq 30°$ |
| T4 | Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30°$ |

**Tabella 3.2.VI** – *Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica $S_T$*

| Categoria topografica | Ubicazione dell'opera o dell'intervento | $S_T$ |
|---|---|---|
| T1 | - | 1,0 |
| T2 | In corrispondenza della sommità del pendio | 1,2 |
| T3 | In corrispondenza della cresta del rilievo | 1,2 |
| T4 | In corrispondenza della cresta del rilievo | 1,4 |

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

L'intervento in progetto si colloca nell'alta pianura modenese, pertanto si ottiene una **categoria topografica T1** a cui si fa corrispondere un coefficiente di amplificazione: **$S_T$=1.0**.

## 3.5 CALCOLO DEI PARAMETRI SISMICI DEL SITO (NTC 2018)

I parametri spettrali necessari per definire l'azione sismica di progetto vengono determinati inserendo:

a) Classe della struttura II - Cu = 1 (verificare dal Progettista)
b) vita nominale della costruzione: 50 anni
c) azione sismica: stato limite di salvaguardia della vita (tempo di ritorno: 475 anni)

I parametri tabellati sono sempre riferiti al substrato rigido. Oltre ad ag si riportano anche altri due parametri:

- Fo: valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- Tc: periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Il valore del sito viene ottenuto tramite la media pesata dei valori che si riferiscono ai quattro punti del reticolo che comprendono l'area in oggetto mediante la seguente formula:

$$p = \frac{\sum_1^4 \frac{Pi}{di}}{\sum_1^4 \frac{1}{di}}$$

Dove:
p = valore del parametro di interesse nel punto in esame
pi = valore del parametro di interesse nell'i-simo punto della maglia elementare contenete il punto in esame
di = distanza del punto in esame dall'i-simo punto della maglia suddetta

*Parametri sismici*

Di seguito si riportano i parametri e i coefficienti sismici del sito.

| Sito in esame | | Siti di riferimento | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| latitudine: | 44,545231 | Sito 1 ID: 16501 | Lat: 44,5550 | Lon: 10,8250 | Distanza: 2044,455 |
| longitudine: | 10,846866 | Sito 2 ID: 16502 | Lat: 44,5565 | Lon: 10,8952 | Distanza: 4027,811 |
| Classe: | 2 | Sito 3 ID: 16724 | Lat: 44,5066 | Lon: 10,8973 | Distanza: 5869,943 |
| Vita nominale: | 50 | Sito 4 ID: 16723 | Lat: 44,5050 | Lon: 10,8272 | Distanza: 4735,534 |

Parametri sismici

| | |
|---|---|
| Categoria sottosuolo: | C |
| Categoria topografica: | T1 |
| Periodo di riferimento: | 50 anni |
| Coefficiente cu: | 1 |

| Parametri sismici | | Operatività SLO | |
|---|---|---|---|
| Probabilità di superamento: | 81 % | Ss: | 1,500 |
| Tr: | 30[anni] | Cc: | 1,650 |
| ag: | 0,052 g | St: | 1,000 |
| Fo: | 2,485 | Kh: | 0,016 |
| Tc*: | 0,253[s] | Kv: | 0,008 |
| | | Amax: | 0,768 |
| | | Beta: | 0,200 |

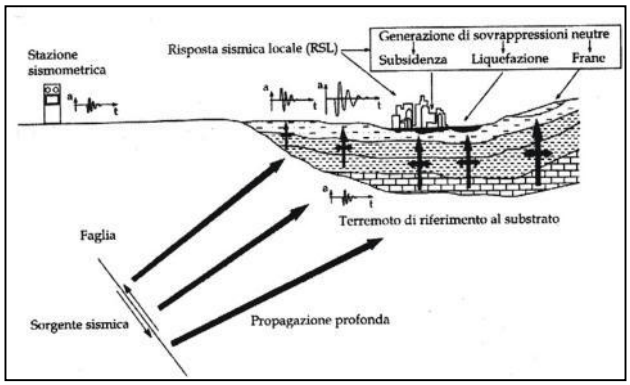
| Parametri sismici | | Danno SLD | |
|---|---|---|---|
| Probabilità di superamento: | 63 % | Ss: | 1,500 |
| Tr: | 50[anni] | Cc: | 1,630 |
| ag: | 0,065 g | St: | 1,000 |
| Fo: | 2,494 | Kh: | 0,019 |
| Tc*: | 0,266[s] | Kv: | 0,010 |
| | | Amax: | 0,954 |
| | | Beta: | 0,200 |

| Parametri sismici | | Salvaguardia della vita SLV | |
|---|---|---|---|
| Probabilità di superamento: | 10 % | Ss: | 1,470 |
| Tr: | 475[anni] | Cc: | 1,580 |
| ag: | 0,163 g | St: | 1,000 |
| Fo: | 2,382 | Kh: | 0,058 |
| Tc*: | 0,290[s] | Kv: | 0,029 |
| | | Amax: | 2,353 |
| | | Beta: | 0,240 |

| Parametri sismici | | Prevenzione del collasso SLC | |
|---|---|---|---|
| Probabilità di superamento: | 5 % | Ss: | 1,410 |
| Tr: | 975[anni] | Cc: | 1,550 |
| ag: | 0,206 g | St: | 1,000 |
| Fo: | 2,390 | Kh: | 0,081 |
| Tc*: | 0,306[s] | Kv: | 0,041 |
| | | Amax: | 2,843 |
| | | Beta: | 0,280 |

## 3.6 PERICOLOSITÀ SISMICA ED EFFETTI LOCALI

La diversa entità dei danni prodotti da un terremoto nello stesso ambito territoriale dimostra che le azioni sismiche possono assumere, anche a distanze di poche decine di metri, caratteristiche differenti in funzione delle diverse condizioni geologiche che caratterizzano un dato ambito territoriale (morfologia superficiale, morfologia del substrato roccioso sepolto, presenza/profondità della falda freatica, proprietà del sottosuolo, presenza di faglie, ecc).




Terreni con caratteristiche geotecniche particolarmente scadenti possono, in condizioni di sollecitazione sismica, perdere temporaneamente o permanentemente la capacità portante a loro ascrivibile in condizioni statiche, causando cedimenti e lesioni negli edifici, anche se questi sono stati costruiti secondo criteri tali da far loro sopportare le sollecitazioni indotte dai terremoti attesi. Altro caso riguarda l'effetto di liquefazione in condizioni sismiche dei terreni sabbiosi saturi che, sotto sollecitazioni cicliche, tendono a perdere la loro resistenza al taglio.

In alcuni casi, le particolari caratteristiche del sito, sia di tipo morfologico sia derivanti dalla natura del substrato, possono determinare effetti di amplificazione delle sollecitazioni, rispetto ad una situazione tipo. Si precisa che la situazione tipo é in generale definita da un'area pianeggiante con roccia granitica come appoggio per le strutture di fondazione degli edifici oppure, negli studi di microzonazione sismica, come il substrato roccioso (bedrock) che risente del terremoto di riferimento per il sito in questione, rispetto al quale si verifica l'eventuale effetto di amplificazione.

Tale effetto di amplificazione è legato alla presenza di terreni con rigidità inferiori a quella di riferimento; tale condizione di minore rigidità può ad esempio essere espressa dal valore dell'impedenza acustica della roccia (prodotto della densità per la velocità delle onde sismiche): più l'impedenza acustica della roccia è minore rispetto a quella della roccia di riferimento più l'effetto di amplificazione si rende evidente.

L'effetto di amplificazione sismica si risente poi anche quando il substrato è costituito da "terreni" (in senso geotecnico: terreni quaternari, depositi superficiali, ecc.), che per la loro stessa natura sono caratterizzati da valori di impedenza acustica sempre inferiori a quelli della roccia di riferimento. In questi casi, tuttavia, accade spesso che il fenomeno di amplificazione non risulta la causa delle lesioni e dei crolli degli edifici costruiti su questi terreni. In effetti, sono le caratteristiche geotecniche dei medesimi, che in condizioni di sollecitazione sismica tendono a peggiorare decisamente, a determinare i crolli: a causa della perdita di capacità portante alle strutture di fondazione, che avviene prima che l'effetto di amplificazione venga risentito dalla struttura degli immobili.

Fondamentale quindi è la valutazione della "risposta sismica locale" (RSL). Con tale termine s'intende l'insieme delle modifiche in intensità, ampiezza e frequenza, che un moto sismico relativo ad una formazione rocciosa di base (bedrock), posta ad una certa profondità nel sottosuolo, subisce attraverso gli strati di terreno sovrastanti fino alla superficie.

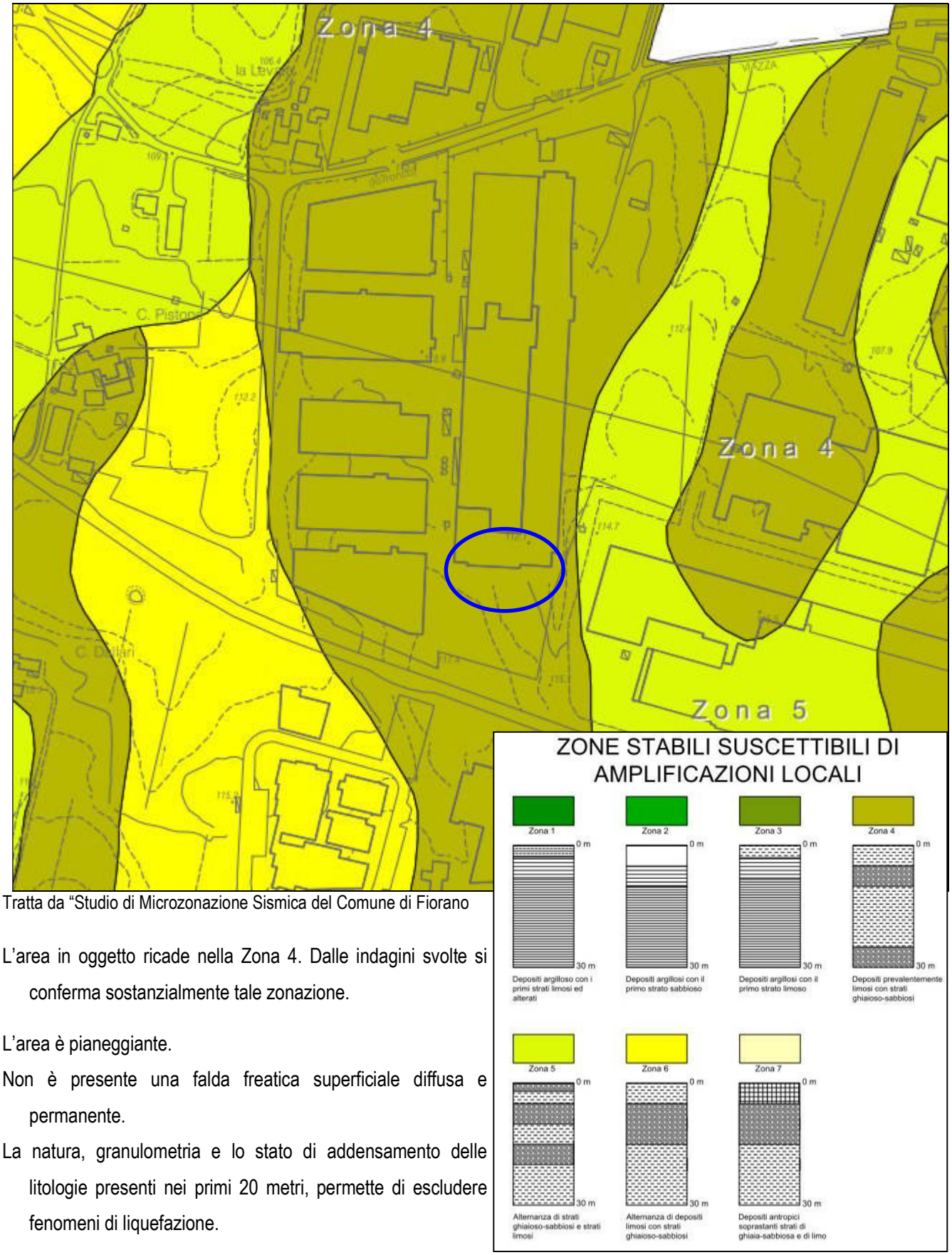
I due coefficienti di amplificazione che sono stati considerati in questo studio sono:

$S_s$ (in base al profilo stratigrafico e tipo di suolo) e $S_T$ (coefficiente di amplificazione topografica) - Cap. 3.2-3.3-3.4.

<u>Per l'area in esame, si escludono effetti locali indotti da instabilità, liquefazione e da cedimenti.</u>

## *3.7 EFFETTI DI SITO – MICROZONAZIONE SISMICA*

Dalla consultazione dello Studio di Microzonazione Sismica del Comune di Fiorano, di seguito si riporta la "Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica", nella quale il sito in studio rientra in "Zona stabile suscettibile di amplificazioni locali".




Tratta da "Studio di Microzonazione Sismica del Comune di Fiorano

L'area in oggetto ricade nella Zona 4. Dalle indagini svolte si conferma sostanzialmente tale zonazione.

L'area è pianeggiante.

Non è presente una falda freatica superficiale diffusa e permanente.

La natura, granulometria e lo stato di addensamento delle litologie presenti nei primi 20 metri, permette di escludere fenomeni di liquefazione.

# 4. INDAGINI GEOGNOSTICHE – MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO

## *4.1 INDAGINI, MODELLAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA DEL TERRENO DI FONDAZIONE*

Per la caratterizzazione litostratigrafica e fisico-meccanica dei terreni di fondazione del sito sono state eseguite:

- n° 3 prove penetrometriche dinamiche (All. 1)

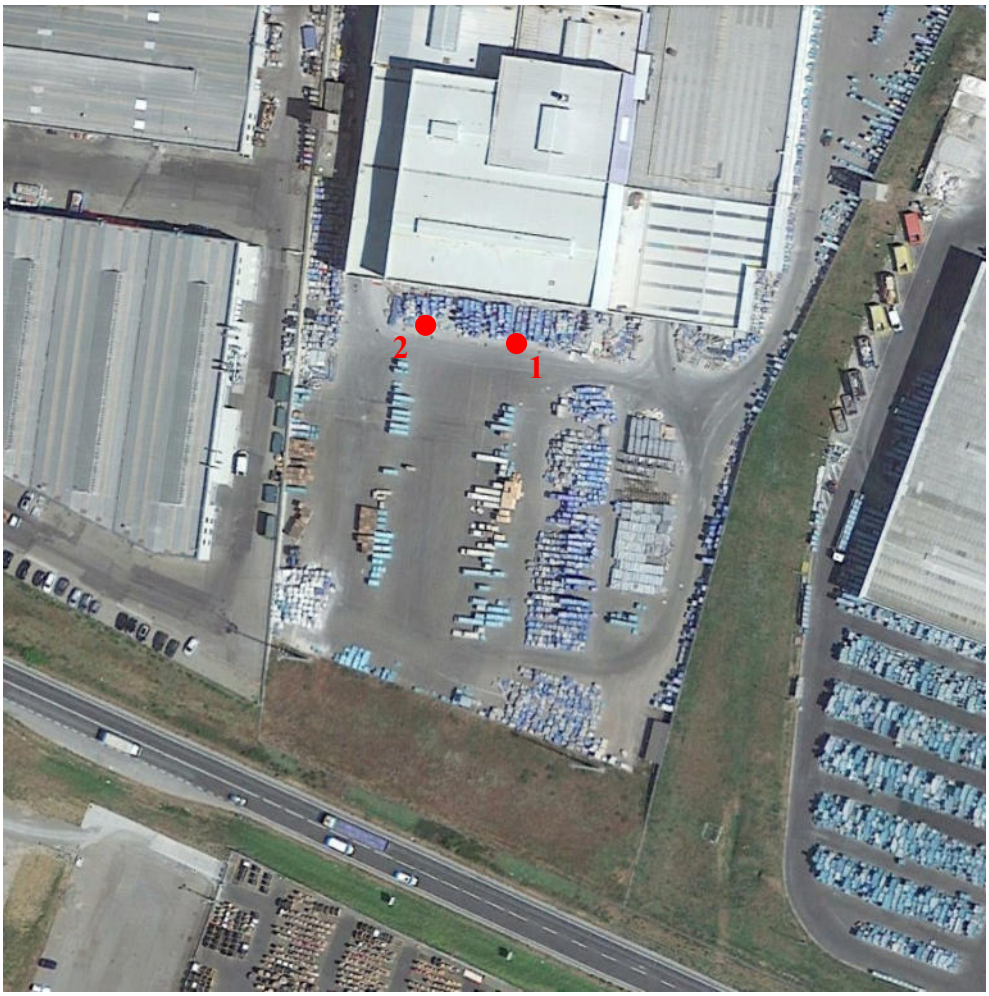



**Figura 12** – Ubicazione indagini su foto aerea

● : prova penetrometrica dinamica

| | |
|---|---|
| | |
| Prova penetrometrica n° 1. | Prova penetrometrica n° 2. |

#### 4.1.1 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE – ALLEGATO 1

Per le prove eseguite si è utilizzato un ***penetrometro Tg 63***, certificato dalla Ditta Pagani Geotechnical Equipment di Piacenza, montato su mezzo cingolato fornito di autoancoraggio per sopportare la spinta massima di 20 tonnellate.

Il dispositivo di spinta (*martinetto idraulico*) è ancorato al suolo per mezzo di un viti elicoidali laterali che devono fornire l'adeguato contrasto all'atto della penetrazione delle aste e della punta. Il martinetto agisce su una *batteria doppia di aste* (aste esterne cave e aste interne piene coassiali), alla cui estremità inferiore è collegata la punta. Lo sforzo necessario per l'infissione viene determinato a mezzo di un opportuno sistema di misura, collegato al martinetto idraulico.

La *punta conica* (telescopica) è dotata di un manicotto sovrastante per la misura dell'attrito laterale (punta/manicotto tipo "Begemann"). Le caratteristiche tecniche sono riassunte nella tabella seguente:

**Pagani Tg 63 – dinamico**

| | |
|---|---|
| Peso Massa battente | 63,5 Kg |
| Altezza di caduta libera | 0.75 m |
| Peso sistema di battuta | 8 Kg |
| Diametro punta conica | 50.46 mm |
| Area di base punta | 20 cm² |
| Lunghezza delle aste | 1 m |
| Peso aste a metro | 6.3 Kg/m |
| Profondità giunzione prima asta | 0.80 m |
| Avanzamento punta | 0.20 m |
| Numero colpi per punta | N (20) |
| Coeff. Correlazione | 1.504 |
| Rivestimento/fanghi | No |
| Angolo di apertura punta | 90 |

<u>Per le prove dinamiche</u>, dalla lettura in campagna del numero dei colpi (N), necessari per infiggere la punta di 20 cm, si sono ricavati, tramite la "*formula degli olandesi*", i valori di *resistenza dinamica alla punta "$R_{pd}$"* $R_{pd}=[(M^2*H)*N]/[ad*(M+Pa)]$ (kg/cm²). In allegato 1, oltre ai tabulati di calcolo, si riporta una litostratigrafia schematica interpretativa e due modelli di grafici, il primo riporta il *"Numero (N) di Colpi" e la "Profondità" in m*, il secondo la *resistenza dinamica alla punta "$R_{pd}$"*.

Di seguito si riporta la legenda dei parametri calcolati con le prove (All 1):

| Legenda | |
|---|---|
| Nspt = | n° colpi da SPT |
| $\gamma$ = | peso di volume |
| $\phi$ = | angolo d'attrito |
| C' = | coesione efficace |
| Cu = | coesione non drenata |
| Ed = | modulo edometrico |
| Mo= | modulo confinato |

### 4.1.2 CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA E MECCANICO-RESISTIVA DEI TERRENI DI FONDAZIONE

Sulla base delle interpretazioni delle indagini, è possibile, per una immediata valutazione delle caratteristiche dei terreni attraversati, ricostruire le seguenti stratigrafie interpretative.

**SEQUENZE LITOSTRATIGRAFICHE**

| PROVA 1 | | PROVA 2 | |
|---|---|---|---|
| 0.0÷0.6 m | Asfalto<br>Sottofondo grossolano | 0.0÷0.6 m | Asfalto<br>Sottofondo grossolano |
| 0.6÷1.6 m | Terreni di riporto eterogenei molto addensati.<br>Rpd=90÷162 kg/cm² | 0.6÷1.6 m | Terreni di riporto eterogenei molto addensati.<br>Rpd=54÷117 kg/cm² |
| 1.6÷5.8 m | Limi argillosi mediamente addensati (Rpd=15÷33 kg/cm²) passanti ad addensati oltre i 4 m (Rpd=37÷65 kg/cm²). | 1.6÷6.4 m | Limi argillosi mediamente addensati (Rpd=15÷31 kg/cm²) passanti ad addensati oltre i 4 m (Rpd=37÷78 kg/cm²). |
| 5.8÷7.0 m | GHIAIE addensate in matrice limo sabbiosa.<br>Rpd=124÷322 kg/cm² | 6.4÷7.0 m | GHIAIE addensate in matrice limo sabbiosa.<br>Rpd=124÷322 kg/cm² |

Rpd: resistenza dinamica alla punta con valori riferiti alla superficie della punta di perforazione (20 cm²).

Il quadro litostratigrafico emerso dalle indagini risulta caratterizzato da una sequenza di terreni a granulometria medio-fine limi argillosi limoso-sabbiosi da mediamente addensati ad addensati fino a profondità comprese tra 5.8-6.4 m, dove si intercetta un livello di ghiaia addensata che ha determinato il rifiuto strumentale delle perforazioni.

Le indagini eseguite hanno permesso una buona validazione del modello geologico in studio.

Il piano d'indagini eseguito è ritenuto quindi idoneo in quanto rileva il passaggio terreni fini/ghiaie che rappresenta la discordanza ed eteropia verticale più importante all'interno del volume significativo di terreno coinvolto nell'intervento in progetto.

### 4.1.3 IDROLOGIA SOTTERRANEA

Per quanto riguarda la conformazione e il regime idrologico del sottosuolo, all'interno dei fori di sondaggio non è stata rilevato alcun livello di falda (14/11/2022).

Le acque che si infiltrano negli accumuli detritici superficiali, vengono smaltiti dal livello di ghiaia sottostante e difficilmente possono generare livelli di falde freatiche continue; al più sospese e arealmente discontinue.

<u>L'intervento edificatorio previsto non interferirà con alcun livello di falda.</u>

## 5. MODELLO GEOTECNICO

Di seguito si riporta il modello geotecnico medio derivante dalle indagini eseguite.

I parametri geotecnici sono ottenuti dall'elaborazione ponderata delle varie formulazioni indirette ricavabili dall'interpretazione delle prove penetrometriche. I valori caratteristici proposti tengono conto della tipologia di fondazione scelta e dalla geometria latero-verticale degli strati discretizzati.

**MODELLO GEOTECNICO - PARAMETRI GEOTECNICI NOMINALI MEDI E CARATTERISTICI**

| Stratigrafia | Strati<br>prof. in m | Parametri geotecnici<br>nominali medi | Parametri geotecnici<br>caratteristici (platea) |
|---|---|---|---|
| | 0.0 – 0.6 m<br>Asfalto<br>sottofondo grossolano | - | - |
| | 0.6 – 1.6 m<br>Terreni di riporto<br>eterogenei<br>molto addensati | $\gamma$ = 2.0 t/m$^3$<br>$\phi$ = 31°<br>C' = - kPa<br>Cu = - kPa<br>Ed = 10.000 kPa<br>Ks = 5 kg/cm$^3$ | $\gamma$ = 2.0 t/m$^3$<br>$\phi$ = 28.7°<br>C' = - kPa<br>Cu = - kPa<br>Ed = 9300 kPa<br>Ks = 5 kg/cm$^3$ |
| | 1.6 – 3.6<br>Limi argillosi<br>mediamente addensati<br>***Falda assente*** | $\gamma$ = 1.8 t/m$^3$<br>$\phi$ = 23°<br>C' = 7 kPa<br>Cu = 65 kPa<br>Ed = 2500 kPa<br>Ks = 1.5 kg/cm$^3$ | $\gamma_k$ 1.8 t/m$^3$<br>$\phi_k$ 21.8°<br>C'$_k$ 6 kPa<br>Cu$_k$ 55.4 kPa<br>Ed$_k$ 2400 kPa<br>Ks = 1.5 kg/cm$^3$ |
| | 3.6 – 5.8/6.4<br>Limi argillosi<br>addensati | $\gamma$ = 1.9 t/m$^3$<br>$\phi$ = 26°<br>C' = 12 kPa<br>Cu = 120 kPa<br>Ed = 6500 kPa<br>Ks = 3 kg/cm$^3$ | $\gamma_k$ 1.9 t/m$^3$<br>$\phi_k$ 24.7°<br>C'$_k$ 10.3 kPa<br>Cu$_k$ 103 kPa<br>Ed$_k$ 6200 kPa<br>Ks = 3 kg/cm$^3$ |
| | >5.8/6.4 m<br>Livello di GHIAIE<br>addensate | $\gamma$ = 2.0 t/m$^3$<br>$\phi$ = 39°<br>Mo = 30.000 kPa<br>Ks = 8 kg/cm$^3$ | $\gamma_k$ 2.0 t/m$^3$<br>$\phi_k$ 36°<br>Mo$_k$ 28.000 kPa<br>Ks = 8 kg/cm$^3$ |

Legenda: $\gamma$ peso di volume; $\phi$ angolo d'attrito; C' coesione efficace; Cu coesione non drenata; Ed modulo edometrico; Mo modulo confinato; Ks coeff. di Winkler

## *6. INTERVENTO IN PROGETTO E TIPOLOGIA DI FONDAZIONE*

Il progetto prevede l'installazione di un impianto di cogeneratore.

Per i dati dimensionali di dettaglio dell'intervento si rimanda agli elaborati progettuali.

Come riferito dall'Ing. Progettista, verrà realizzata una platea di fondazione innestata nelle litologie addensate superficiali.

La scelta di una quota di appoggio fondale superficiale permette di sfruttare la presenza di terreni che seppur anche di riporto sono dotati di buone caratteristiche meccanico-resistive e comunque migliori del livello litologico sottostante intercettato a partire da -1.6 m di profondità dal piano piazzale.

Questa soluzione risulta quindi compatibile con le caratteristiche fisico-meccaniche e resistive delle litologie presenti.

L'apertura degli scavi di fondazione permetterà di qualificare la natura dei terreni e quantificarne precisamente i caratteri lito-tecnici e quindi confermare le ipotesi fatte; nel caso di disomogeneità latero-verticali non evidenziate dall'indagine geognostica eseguita, di conseguenza andranno affinate profondità e dimensionamento delle fondazioni.

## 7. CONSIDERAZIONI FINALI

Nell'area in studio (Fig. 1-2), è stato eseguito uno studio volto alla ricostruzione degli aspetti geologici dell'area connessi con l'installazione di un impianto di cogeneratore presso lo stabilimento ITA Spa in via Viazza n. 30 a Fiorano Modenese (Mo).

Le indagini geognostiche svolte hanno messo in evidenza i seguenti aspetti:

- Il sito d'intervento è caratterizzato da piazzale asfaltato con relativo sottofondo grossolano e litologie probabilmente di riporto molto addensate fino a -1.6 m di profondità.
- Il quadro litostratigrafico naturale sottostante risulta caratterizzato da una sequenza di terreni a granulometria medio-fine limi argillosi limoso-sabbiosi da mediamente addensati ad addensati fino a profondità comprese tra 5.8-6.4 m, dove si intercetta un livello di ghiaia addensata che ha determinato il rifiuto strumentale delle perforazioni.
- Le indagini eseguite hanno permesso una buona validazione del modello geologico in studio. Il piano d'indagini eseguito è ritenuto quindi idoneo in quanto rileva il passaggio terreni fini/ghiaie che rappresenta la discordanza ed eteropia verticale più importante all'interno del volume significativo di terreno coinvolto nell'intervento in progetto.
- Per quanto riguarda la conformazione e il regime idrologico del sottosuolo, nei sondaggi non è stato rinvenuto alcun livello di falda o livelli di filtrazione preferenziale d'acqua.
- L'intervento edificatorio previsto non interferirà con alcun livello di falda.
- La caratterizzazione sismica dell'area ha permesso di classificare il suolo di fondazione come categoria C.
- Per gli effetti di sito, si escludono fenomeni quali instabilità, liquefazione o cedimenti sismo-indotti. Si avrà invece amplificazione sismica per caratteristiche litologiche.
- L'accelerazione massima su suolo rigido e pari a ag = 0.163 (Cu=1.0).
- Allo stato limite ultimo (SLV) l'ampl. stratigrafica Ss=1.47, l'ampl. topografica St=1.

Per quanto riguarda la scelta della tipologia di fondazione, verrà realizzata una platea innestata nelle litologie addensate superficiali.

La scelta di una quota di appoggio fondale superficiale permette di sfruttare la presenza di terreni che seppur anche di riporto sono dotati di buone caratteristiche meccanico-resistive e comunque migliori del livello litologico sottostante intercettato a partire da -1.6 m di profondità dal piano piazzale.

Questa soluzione risulta quindi compatibile con le caratteristiche fisico-meccaniche e resistive delle litologie presenti.

L'apertura degli scavi di fondazione permetterà di qualificare la natura dei terreni e quantificarne precisamente i caratteri lito-tecnici e quindi confermare le ipotesi fatte; nel caso di disomogeneità latero-verticali non evidenziate dall'indagine geognostica eseguita, di conseguenza andranno affinate profondità e dimensionamento delle fondazioni.

Dalle considerazioni sopra esposte, si ritiene l'intervento in progetto compatibile con le caratteristiche geologiche e sismiche dell'area.

Dott. Geol. Marco Santi Bortolotti

ORDINE DEI GEOLOGI REGIONE EMILIA ROMAGNA
DOTT. MARCO SANTI BORTOLOTTI
Regione Emilia-Romagna
GEOLOGO
SEZ. A
N. 815 ALBO. P.

# ALLEGATO - 1 -

## PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA PESANTE (DPH) N°** **1**

Localita`: Ceramica ITA-ITILES, Fiorano M.se (Mo) Data: 14/11/2022

Comm.za -

Quota: -

TABELLA DATI

| Prof. | N° Colpi | Nspt | Terreno coesivo | | Terreno granulare | | Olandesi | Parametri Geotecnici - Valori medi | | | | | | N° asta | falda | descrizione litologica interpretativa | STRATIGRAFIA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cu | Ed | ϕ ' | Mo | Rpd | Nspt | γ | Cum | ϕ'm | C' | Ed | | | | |
| (m) | (n°) | (n°) | (t/mq) | (t/mq) | (°) | (t/mq) | (kg/cmq) | n° | (t/mc) | (t/mq) | (°) | (t/mq) | (t/mq) | 100cm | ≈≈≈ | | |
| | | n° colpi SPT | coesione non drenata | modulo edometrico | angolo d'attrito | modulo confinato | Res. Din. alla punta | | | | | | | | | | |
| 0.0 | 0 | | | | | | 0.0 | | | | | | | 1 | - | Asfalto | |
| 0.2 | 75 | 112.8 | 218.6 | 6768.0 | 46.7 | 8008.8 | 728.8 | | | | | | | 1 | - | sottofondo | |
| 0.4 | 37 | 55.6 | 107.8 | 3338.9 | 41.0 | 3951.0 | 359.6 | | | | | | | 1 | - | grossolano | |
| 0.6 | 39 | 58.7 | 113.6 | 3519.4 | 41.5 | 4164.6 | 379.0 | | | | | | | 1 | - | | |
| 0.8 | 18 | 27.1 | 48.5 | 1624.3 | 35.2 | 1922.1 | 161.8 | | | | | | | 2 | - | | |
| 1.0 | 15 | 22.6 | 40.4 | 1353.6 | 33.4 | 1601.8 | 134.8 | | | | | | | 2 | - | Terreni di riporto | |
| 1.2 | 10 | 15.0 | 26.9 | 902.4 | 30.0 | 1067.8 | 89.9 | 21.4 | 2.0 | 38.2 | 33 | 3.8 | 1281 | 2 | - | eterogenei | |
| 1.4 | 12 | 18.0 | 32.2 | 1082.9 | 31.5 | 1281.4 | 107.9 | | | | | | | 2 | - | molto addensati | |
| 1.6 | 16 | 24.1 | 43.0 | 1443.8 | 34.0 | 1708.5 | 143.8 | | | | | | | 2 | - | | |
| 1.8 | 4 | 6.0 | 9.9 | 361.0 | 24.5 | 427.1 | 33.5 | | | | | | | 3 | - | | |
| 2.0 | 3 | 4.5 | 7.3 | 270.7 | 23.2 | 320.4 | 25.1 | | | | | | | 3 | - | | |
| 2.2 | 3 | 4.5 | 7.3 | 270.7 | 23.2 | 320.4 | 25.1 | | | | | | | 3 | - | | |
| 2.4 | 3 | 4.5 | 7.3 | 270.7 | 23.2 | 320.4 | 25.1 | | | | | | | 3 | - | Limi argillosi | |
| 2.6 | 3 | 4.5 | 7.3 | 270.7 | 23.2 | 320.4 | 25.1 | 5.0 | 1.8 | 7.7 | 24 | 0.8 | 298 | 3 | - | mediamente | |
| 2.8 | 2 | 3.0 | 4.4 | 180.5 | 21.7 | 213.6 | 15.6 | | | | | | | 4 | - | addensati | |
| 3.0 | 3 | 4.5 | 6.8 | 270.7 | 23.2 | 320.4 | 23.5 | | | | | | | 4 | - | | |
| 3.2 | 4 | 6.0 | 9.1 | 361.0 | 24.5 | 427.1 | 31.3 | | | | | | | 4 | - | | |
| 3.4 | 4 | 6.0 | 9.1 | 361.0 | 24.5 | 427.1 | 31.3 | | | | | | | 4 | - | | |
| 3.6 | 4 | 6.0 | 9.0 | 361.0 | 24.5 | 427.1 | 31.3 | | | | | | | 4 | - | | |
| 3.8 | 5 | 7.5 | 10.6 | 451.2 | 25.6 | 533.9 | 36.7 | | | | | | | 5 | - | | |
| 4.0 | 5 | 7.5 | 10.6 | 451.2 | 25.6 | 533.9 | 36.7 | | | | | | | 5 | - | | |
| 4.2 | 6 | 9.0 | 12.8 | 541.4 | 26.6 | 640.7 | 44.0 | | | | | | | 5 | - | | |
| 4.4 | 7 | 10.5 | 15.0 | 631.7 | 27.6 | 747.5 | 51.4 | | | | | | | 5 | - | Limi argillosi | |
| 4.6 | 7 | 10.5 | 15.0 | 631.7 | 27.6 | 747.5 | 51.4 | 10.8 | 1.9 | 14.7 | 28 | 1.5 | 648 | 5 | - | addensati | |
| 4.8 | 7 | 10.5 | 14.1 | 631.7 | 27.6 | 747.5 | 48.4 | | | | | | | 6 | - | | |
| 5.0 | 7 | 10.5 | 14.1 | 631.7 | 27.6 | 747.5 | 48.4 | | | | | | | 6 | - | | |
| 5.2 | 8 | 12.0 | 16.1 | 721.9 | 28.4 | 854.3 | 55.3 | | | | | | | 6 | - | | |
| 5.4 | 8 | 12.0 | 16.1 | 721.9 | 28.4 | 854.3 | 55.3 | | | | | | | 6 | - | | |
| 5.6 | 9 | 13.5 | 18.1 | 812.2 | 29.2 | 961.1 | 62.3 | | | | | | | 6 | - | | |
| 5.8 | 10 | 15.0 | 19.1 | 902.4 | 30.0 | 1067.8 | 65.4 | | | | | | | 7 | - | | |
| 6.0 | 19 | 28.6 | 36.7 | 1714.6 | 35.7 | 2028.9 | 124.3 | | | | | | | 7 | - | | |
| 6.2 | 24 | 36.1 | 46.5 | 2165.8 | 36.8 | 2562.8 | 157.0 | | | | | | | 7 | - | | |
| 6.4 | 20 | 30.1 | 38.6 | 1804.8 | 35.3 | 2135.7 | 130.8 | 46.0 | 2.0 | | 39 | | 2761 | 7 | - | Livello di | |
| 6.6 | 38 | 57.2 | 73.9 | 3429.1 | 41.3 | 4057.8 | 248.5 | | | | | | | 7 | - | GHIAIA | |
| 6.8 | 52 | 78.2 | 96.1 | 4692.5 | 44.4 | 5552.8 | 322.5 | | | | | | | 8 | - | | |
| 7.0 | RIF | | | | | | | | | | | | | 8 | - | | |
| 7.2 | | 0.0 | -0.7 | 0.0 | 15.0 | 0.0 | 0.0 | | | | | | | 8 | - | | |
| 7.4 | | 0.0 | -0.7 | 0.0 | 15.0 | 0.0 | 0.0 | | | | | | | 8 | - | | |
| 7.6 | | 0.0 | -0.7 | 0.0 | 15.0 | 0.0 | 0.0 | | | | | | | 8 | - | | |
| 7.8 | | 0.0 | -0.7 | 0.0 | 15.0 | 0.0 | 0.0 | | | | | | | 9 | - | | |
| 8.0 | | 0.0 | -0.8 | 0.0 | 15.0 | 0.0 | 0.0 | | | | | | | 9 | - | | |
| 8.2 | | 0.0 | -0.8 | 0.0 | 15.0 | 0.0 | 0.0 | | | | | | | 9 | - | | |
| 8.4 | | 0.0 | -0.8 | 0.0 | 15.0 | 0.0 | 0.0 | | | | | | | 9 | - | | |
| 8.6 | | 0.0 | -0.8 | 0.0 | 15.0 | 0.0 | 0.0 | | | | | | | 9 | - | | |
| 8.8 | | 0.0 | -0.8 | 0.0 | 15.0 | 0.0 | 0.0 | | | | | | | 10 | - | | |
| 9.0 | | 0.0 | -0.9 | 0.0 | 15.0 | 0.0 | 0.0 | | | | | | | 10 | - | | |
| 9.2 | | 0.0 | -0.9 | 0.0 | 15.0 | 0.0 | 0.0 | | | | | | | 10 | - | | |
| 9.4 | | 0.0 | -0.9 | 0.0 | 15.0 | 0.0 | 0.0 | | | | | | | 10 | - | | |
| 9.6 | | 0.0 | -0.9 | 0.0 | 15.0 | 0.0 | 0.0 | | | | | | | 10 | - | | |
| 9.8 | | 0.0 | -0.9 | 0.0 | 15.0 | 0.0 | 0.0 | | | | | | | 11 | - | | |
| 10.0 | | 0.0 | -1.0 | 0.0 | 15.0 | 0.0 | 0.0 | | | | | | | 11 | - | | |

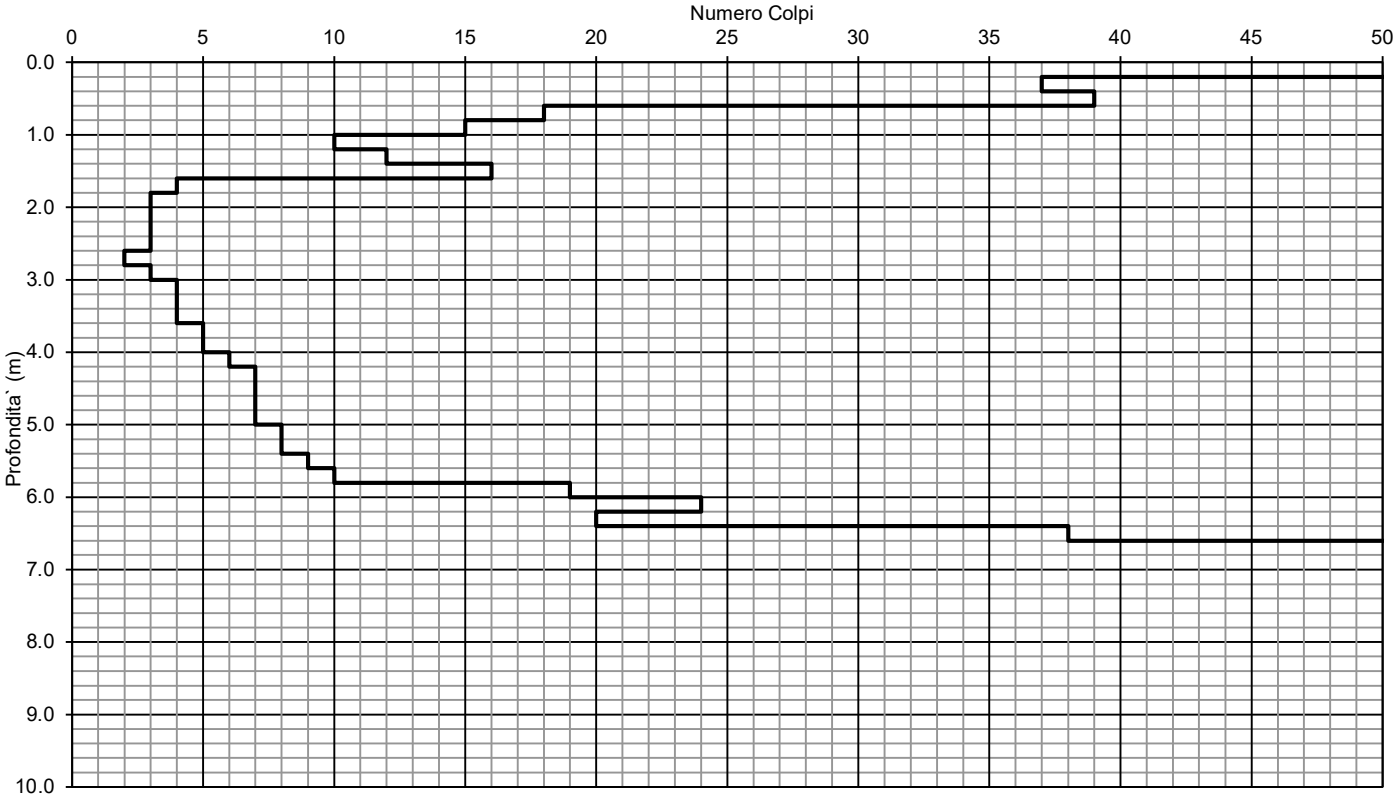
*Legenda*

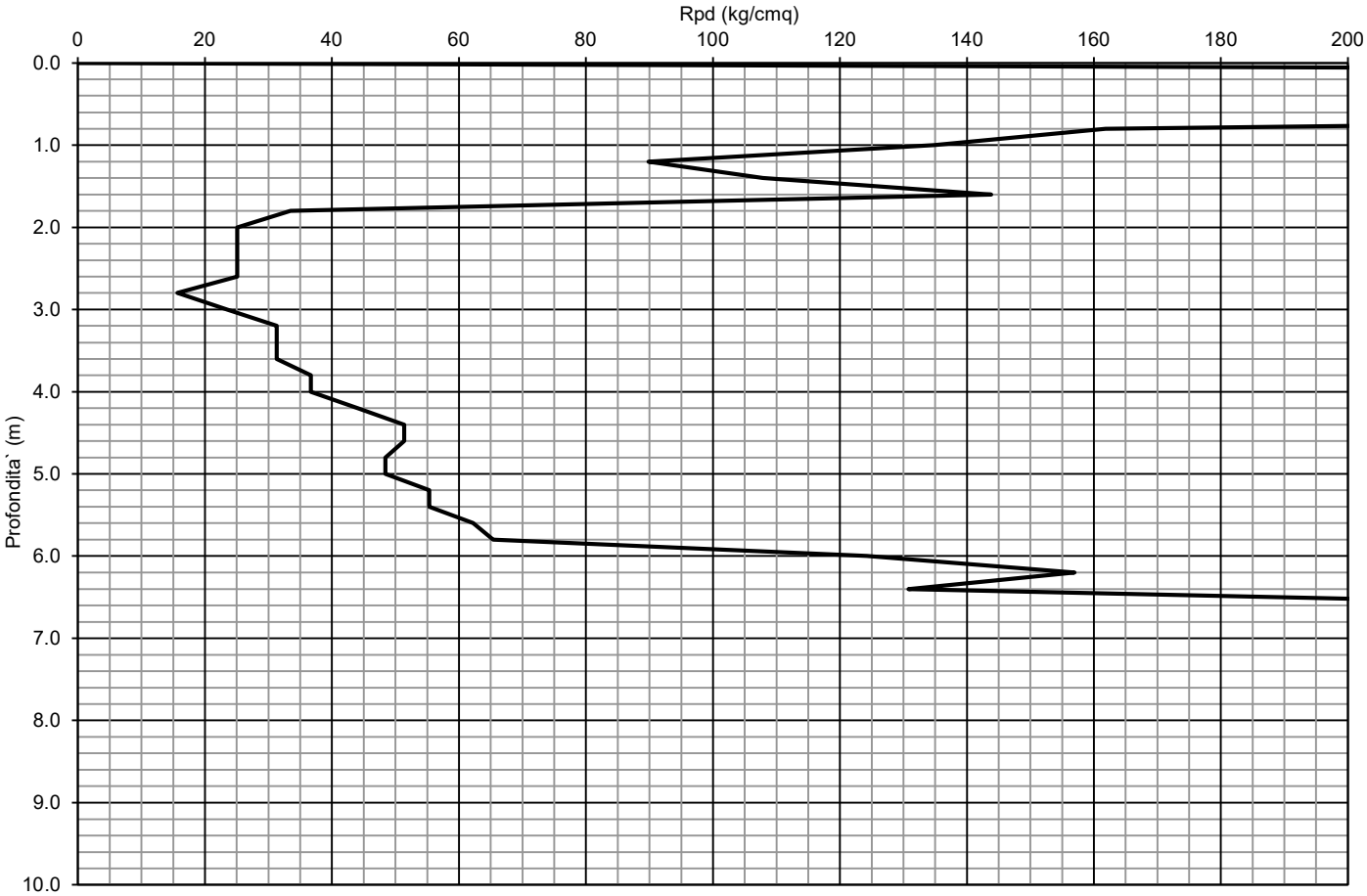
| | |
|---|---|
| Nspt = | numero colpi della prova SPT |
| γ = | peso di volume |
| Cu = | coesione non drenata |
| C' = | coesione drenata |
| ϕ = | angolo d'attrito |
| Ed = | modulo edometrico |
| Mo= | modulo confinato |
| Rpd = | resistenza dinamica alla punta (Olandesi) |

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA PESANTE (DPH) N°** **1**

Localita`: Ceramica ITA-ITILES, Fiorano M.se (Mo) Data: **14/11/2022**

Comm.za -



**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA PESANTE (DPH) N°** **2**

Localita`: Ceramica ITA-ITILES, Fiorano M.se (Mo) Data: 14/11/2022

Comm.za -

Quota: -

TABELLA DATI

| Prof. | N° Colpi | Nspt | Terreno coesivo | | Terreno granulare | | Olandesi | Parametri Geotecnici - Valori medi | | | | | | N° asta | falda | descrizione litologica interpretativa | STRATIGRAFIA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Cu | Ed | ϕ ' | Mo | Rpd | Nspt | γ | Cum | ϕ'm | C' | Ed | | | | |
| (m) | (n°) | (n°) | (t/mq) | (t/mq) | (°) | (t/mq) | (kg/cmq) | n° | (t/mc) | (t/mq) | (°) | (t/mq) | (t/mq) | 100cm | ≈≈≈ | | |
| | | n° colpi SPT | coesione non drenata | modulo edometrico | angolo d'attrito | modulo confinato | Res. Din. alla punta | | | | | | | | | | |
| 0.0 | 0 | | | | | | 0.0 | | | | | | | 1 | - | Asfalto | |
| 0.2 | 114 | 171.5 | 332.3 | 10287.4 | 42.4 | 12173.4 | 1107.8 | | | | | | | 1 | - | sottofondo | |
| 0.4 | 49 | 73.7 | 142.8 | 4421.8 | 43.9 | 5232.4 | 476.2 | | | | | | | 1 | - | grossolano | |
| 0.6 | 25 | 37.6 | 72.8 | 2256.0 | 37.2 | 2669.6 | 242.9 | | | | | | | 1 | - | | |
| 0.8 | 13 | 19.6 | 35.0 | 1173.1 | 32.1 | 1388.2 | 116.9 | | | | | | | 2 | - | | |
| 1.0 | 12 | 18.0 | 32.3 | 1082.9 | 31.5 | 1281.4 | 107.9 | | | | | | | 2 | - | Terreni di riporto | |
| 1.2 | 11 | 16.5 | 29.6 | 992.6 | 30.8 | 1174.6 | 98.9 | 16.5 | 2.0 | 29.6 | 31 | 3.0 | 993 | 2 | - | eterogenei | |
| 1.4 | 13 | 19.6 | 34.9 | 1173.1 | 32.1 | 1388.2 | 116.9 | | | | | | | 2 | - | molto addensati | |
| 1.6 | 6 | 9.0 | 16.0 | 541.4 | 26.6 | 640.7 | 53.9 | | | | | | | 2 | - | | |
| 1.8 | 3 | 4.5 | 7.4 | 270.7 | 23.2 | 320.4 | 25.1 | | | | | | | 3 | - | | |
| 2.0 | 2 | 3.0 | 4.8 | 180.5 | 21.7 | 213.6 | 16.7 | | | | | | | 3 | - | | |
| 2.2 | 3 | 4.5 | 7.3 | 270.7 | 23.2 | 320.4 | 25.1 | | | | | | | 3 | - | | |
| 2.4 | 2 | 3.0 | 4.8 | 180.5 | 21.7 | 213.6 | 16.7 | | | | | | | 3 | - | Limi argillosi | |
| 2.6 | 2 | 3.0 | 4.8 | 180.5 | 21.7 | 213.6 | 16.7 | 4.2 | 1.8 | 6.5 | 23 | 0.7 | 253 | 3 | - | mediamente | |
| 2.8 | 2 | 3.0 | 4.4 | 180.5 | 21.7 | 213.6 | 15.6 | | | | | | | 4 | - | addensati | |
| 3.0 | 3 | 4.5 | 6.8 | 270.7 | 23.2 | 320.4 | 23.5 | | | | | | | 4 | - | | |
| 3.2 | 4 | 6.0 | 9.1 | 361.0 | 24.5 | 427.1 | 31.3 | | | | | | | 4 | - | | |
| 3.4 | 4 | 6.0 | 9.1 | 361.0 | 24.5 | 427.1 | 31.3 | | | | | | | 4 | - | | |
| 3.6 | 3 | 4.5 | 6.7 | 270.7 | 23.2 | 320.4 | 23.5 | | | | | | | 4 | - | | |
| 3.8 | 5 | 7.5 | 10.6 | 451.2 | 25.6 | 533.9 | 36.7 | | | | | | | 5 | - | | |
| 4.0 | 6 | 9.0 | 12.8 | 541.4 | 26.6 | 640.7 | 44.0 | | | | | | | 5 | - | | |
| 4.2 | 6 | 9.0 | 12.8 | 541.4 | 26.6 | 640.7 | 44.0 | | | | | | | 5 | - | | |
| 4.4 | 6 | 9.0 | 12.8 | 541.4 | 26.6 | 640.7 | 44.0 | | | | | | | 5 | - | | |
| 4.6 | 6 | 9.0 | 12.8 | 541.4 | 26.6 | 640.7 | 44.0 | | | | | | | 5 | - | | |
| 4.8 | 8 | 12.0 | 16.1 | 721.9 | 28.4 | 854.3 | 55.3 | | | | | | | 6 | - | Limi argillosi | |
| 5.0 | 8 | 12.0 | 16.1 | 721.9 | 28.4 | 854.3 | 55.3 | 12.5 | 1.9 | 16.6 | 29 | 1.7 | 748 | 6 | - | addensati | |
| 5.2 | 9 | 13.5 | 18.2 | 812.2 | 29.2 | 961.1 | 62.3 | | | | | | | 6 | - | | |
| 5.4 | 10 | 15.0 | 20.2 | 902.4 | 30.0 | 1067.8 | 69.2 | | | | | | | 6 | - | | |
| 5.6 | 9 | 13.5 | 18.1 | 812.2 | 29.2 | 961.1 | 62.3 | | | | | | | 6 | - | | |
| 5.8 | 10 | 15.0 | 19.1 | 902.4 | 30.0 | 1067.8 | 65.4 | | | | | | | 7 | - | | |
| 6.0 | 10 | 15.0 | 19.1 | 902.4 | 30.0 | 1067.8 | 65.4 | | | | | | | 7 | - | | |
| 6.2 | 11 | 16.5 | 21.0 | 992.6 | 30.8 | 1174.6 | 71.9 | | | | | | | 7 | - | | |
| 6.4 | 12 | 18.0 | 22.9 | 1082.9 | 31.5 | 1281.4 | 78.5 | | | | | | | 7 | - | | |
| 6.6 | 29 | 43.6 | 56.3 | 2617.0 | 38.5 | 3096.7 | 189.7 | | | | | | | 7 | - | Livello di | |
| 6.8 | 36 | 54.1 | 66.3 | 3248.6 | 40.7 | 3844.2 | 223.3 | 58.7 | 2.0 | | 41 | | 3519 | 8 | - | GHIAIA | |
| 7.0 | 52 | 78.2 | 96.1 | 4692.5 | 44.4 | 5552.8 | 322.5 | | | | | | | 8 | - | | |
| 7.2 | | 0.0 | -0.7 | 0.0 | 15.0 | 0.0 | 0.0 | | | | | | | 8 | - | | |
| 7.4 | | 0.0 | -0.7 | 0.0 | 15.0 | 0.0 | 0.0 | | | | | | | 8 | - | | |
| 7.6 | | 0.0 | -0.7 | 0.0 | 15.0 | 0.0 | 0.0 | | | | | | | 8 | - | | |
| 7.8 | | 0.0 | -0.7 | 0.0 | 15.0 | 0.0 | 0.0 | | | | | | | 9 | - | | |
| 8.0 | | 0.0 | -0.8 | 0.0 | 15.0 | 0.0 | 0.0 | | | | | | | 9 | - | | |
| 8.2 | | 0.0 | -0.8 | 0.0 | 15.0 | 0.0 | 0.0 | | | | | | | 9 | - | | |
| 8.4 | | 0.0 | -0.8 | 0.0 | 15.0 | 0.0 | 0.0 | | | | | | | 9 | - | | |
| 8.6 | | 0.0 | -0.8 | 0.0 | 15.0 | 0.0 | 0.0 | | | | | | | 9 | - | | |
| 8.8 | | 0.0 | -0.8 | 0.0 | 15.0 | 0.0 | 0.0 | | | | | | | 10 | - | | |
| 9.0 | | 0.0 | -0.9 | 0.0 | 15.0 | 0.0 | 0.0 | | | | | | | 10 | - | | |
| 9.2 | | 0.0 | -0.9 | 0.0 | 15.0 | 0.0 | 0.0 | | | | | | | 10 | - | | |
| 9.4 | | 0.0 | -0.9 | 0.0 | 15.0 | 0.0 | 0.0 | | | | | | | 10 | - | | |
| 9.6 | | 0.0 | -0.9 | 0.0 | 15.0 | 0.0 | 0.0 | | | | | | | 10 | - | | |
| 9.8 | | 0.0 | -0.9 | 0.0 | 15.0 | 0.0 | 0.0 | | | | | | | 11 | - | | |
| 10.0 | | 0.0 | -1.0 | 0.0 | 15.0 | 0.0 | 0.0 | | | | | | | 11 | - | | |

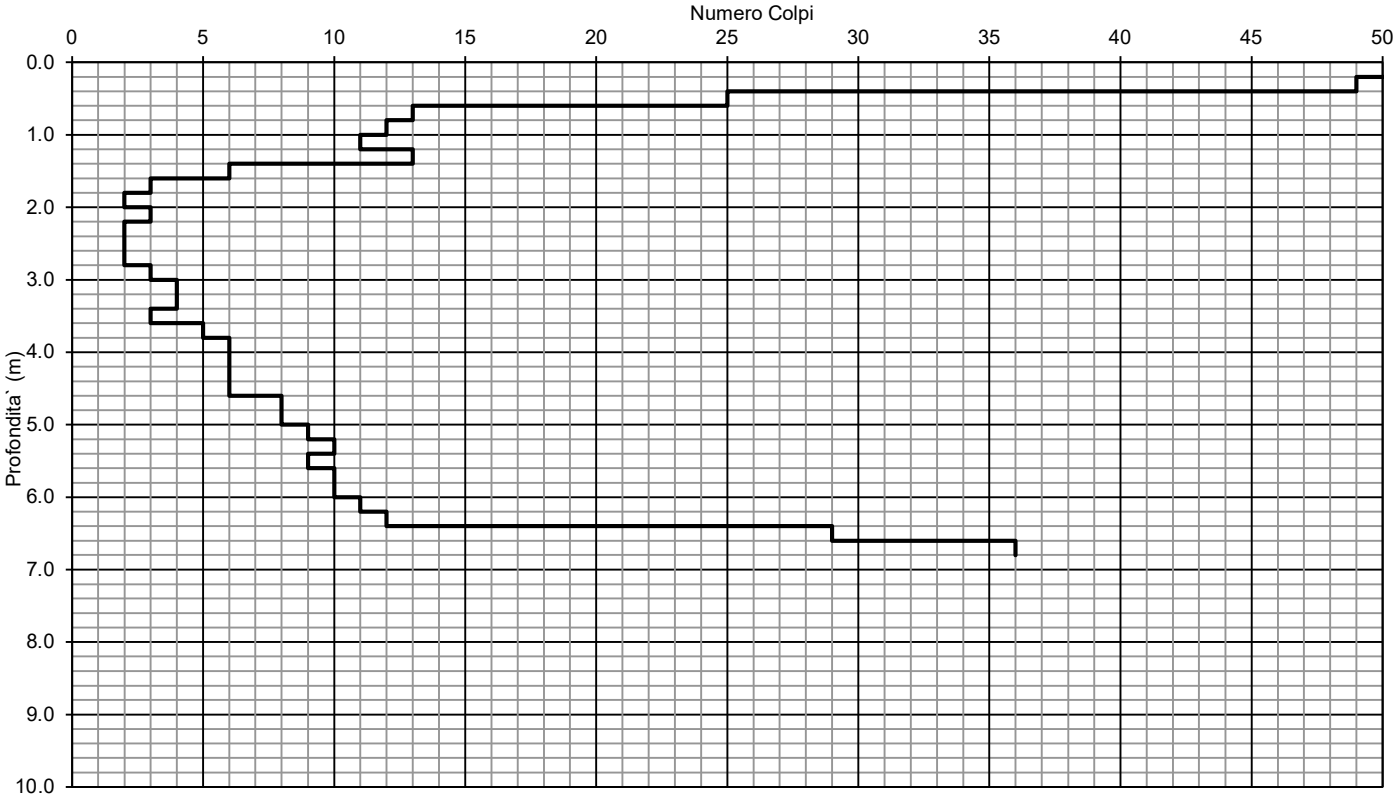
*Legenda*

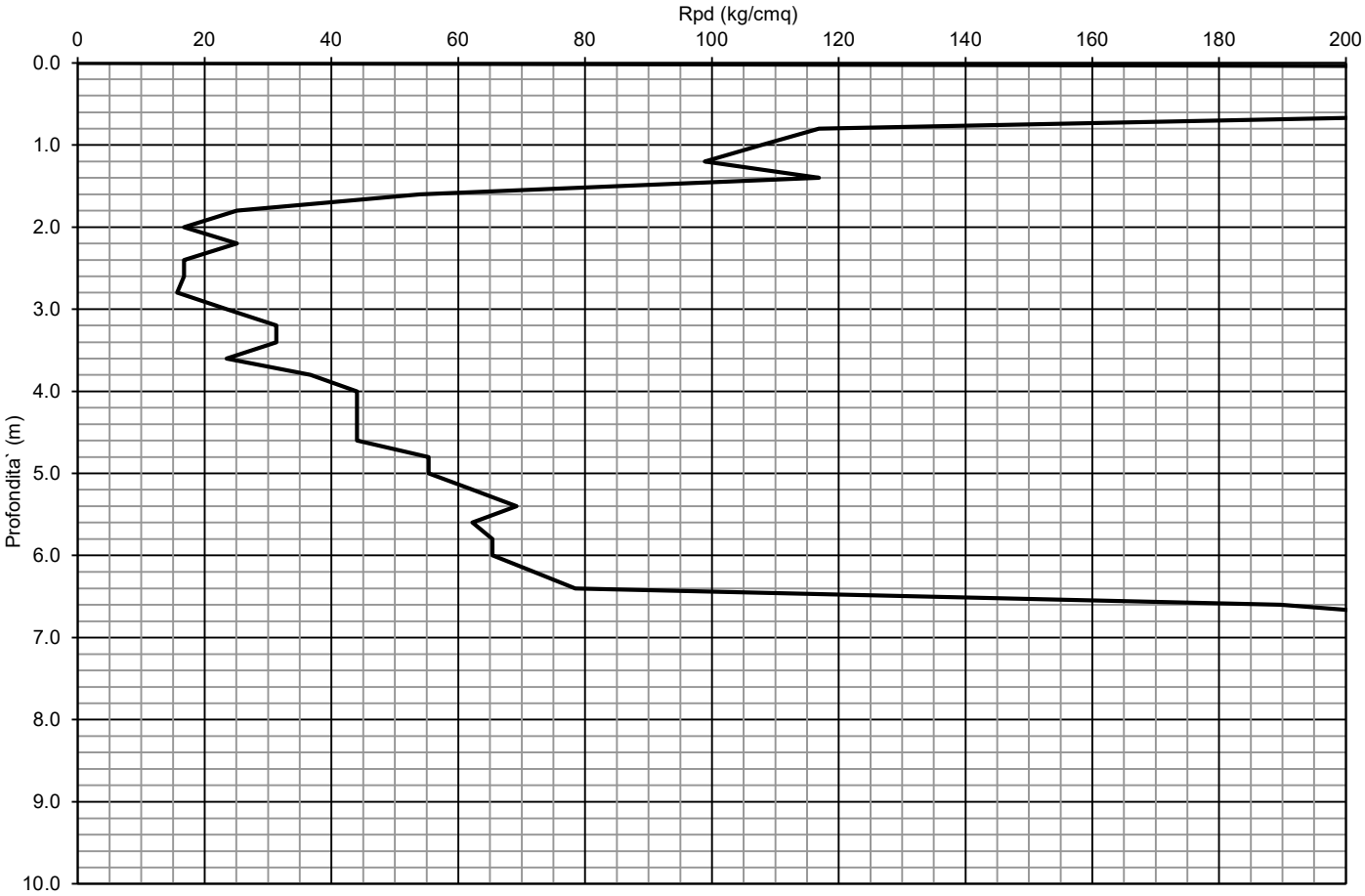
| | |
|---|---|
| Nspt = | numero colpi della prova SPT |
| γ = | peso di volume |
| Cu = | coesione non drenata |
| C' = | coesione drenata |
| ϕ = | angolo d'attrito |
| Ed = | modulo edometrico |
| Mo= | modulo confinato |
| Rpd = | resistenza dinamica alla punta (Olandesi) |

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA PESANTE (DPH) N°** **2**

Localita`: Ceramica ITA-ITILES, Fiorano M.se (Mo) Data: **14/11/2022**

Comm.za -



# ALLEGATO - 2 -

## INDAGINE GEOFISICA - MASW

SERVIZI SRL

## ***PROSPEZIONE SISMICA DI SUPERFICIE***
## ***MASW***

Committente: Genera Project Srl
Località: Via Viazza n. 30 – Fiorano M.se (Mo)
Data prova 14/11/2022

***Attrezzatura utilizzata***

- Sismografo PASI SG 24 16S-U a 24 canali
- n° 24 geofoni verticali Pasi da 4.5 Hz con clip singola
- geofono starter
- n° 1 cavo schermato su rullo, 100 m, trasmissione geofono starter-Sismografo
- n° 2 cavi sismici su rullo, 75 m, 12 tracce, intervallo 5 m, connettori e attacchi singoli
- mazza di battuta kg 8
- piattello di battuta in alluminio (20x20x5 cm)
- pc portatile
- Sofware Winmasw Pro 7.3

***Finalità d'indagine***

Al fine di caratterizzare la risposta sismica del sito in esame è stata effettuata una serie di acquisizioni MASW (*Multi-channel Analysis of Surface Waves,* analisi della dispersione delle onde superficiali di Rayleigh da misure di sismica attiva – e.g. Park et al., 1999) utili a definire il profilo verticale della VS (velocità di propagazione delle onde di taglio).
Nel loro insieme, le procedure adottate sono state eseguite in accordo alle norme tecniche NTC 2018
Queste acquisizioni, in buona misura, fanno risalire la stima dell'effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio (VS).
La classificazione del sottosuolo è stata svolta sulla base del valore della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, V S,eq (in m/s), definita dall'espressione:

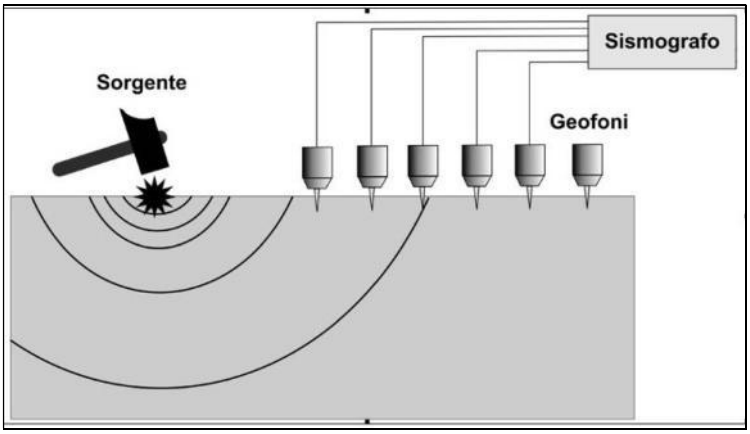
$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^{N} \frac{h_i}{V_{S,i}}} \quad \text{m/s}$$

hi = spessore dello strato i-esimo
$V_{Si}$ = velocità delle onde di taglio nello strato i-esimo
N = numero strati considerati
H= profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V S non inferiore a 800 m/s

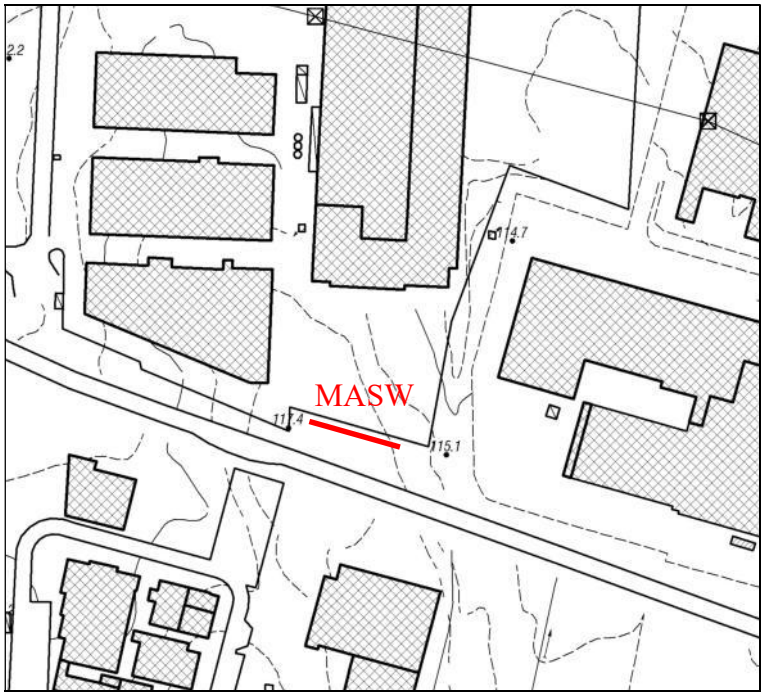
***Metodologia ed elaborazione d'indagine***

Lunghezza stendimento: 46 m
N° geofoni: 24
Spaziatura geofoni: 2 m
Offset energizzazione: 2-5 m

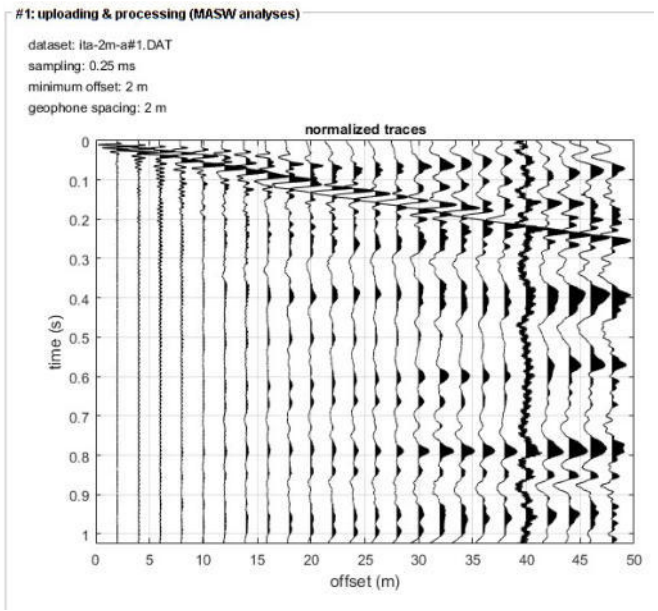
Per ricostruire il profilo verticale della velocità delle onde di taglio (VS), i dati acquisiti sono stati elaborati tramite i seguenti passaggi: determinazione spettro di velocità, identificazione curve di dispersione, inversione/modellazione di queste ultime.

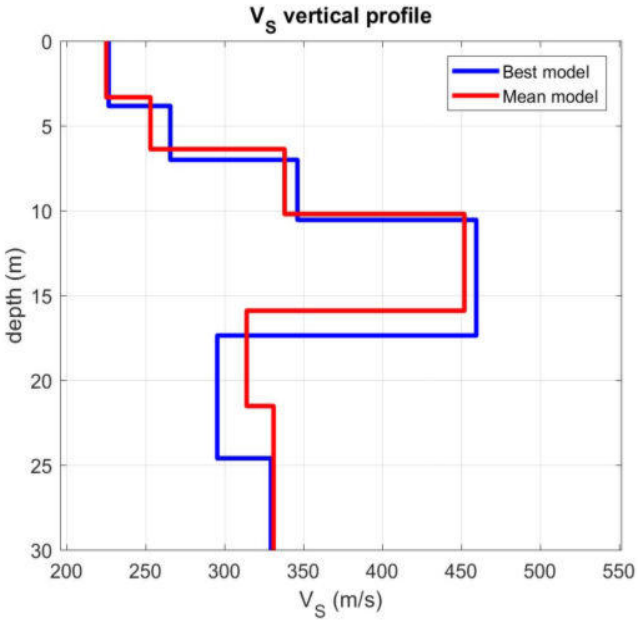


## MASW - UBICAZIONE

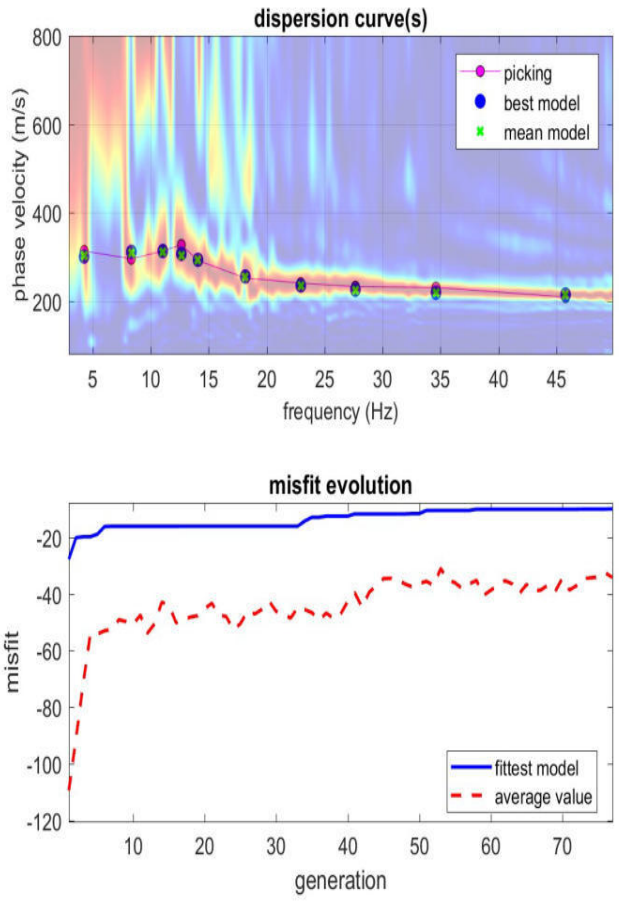


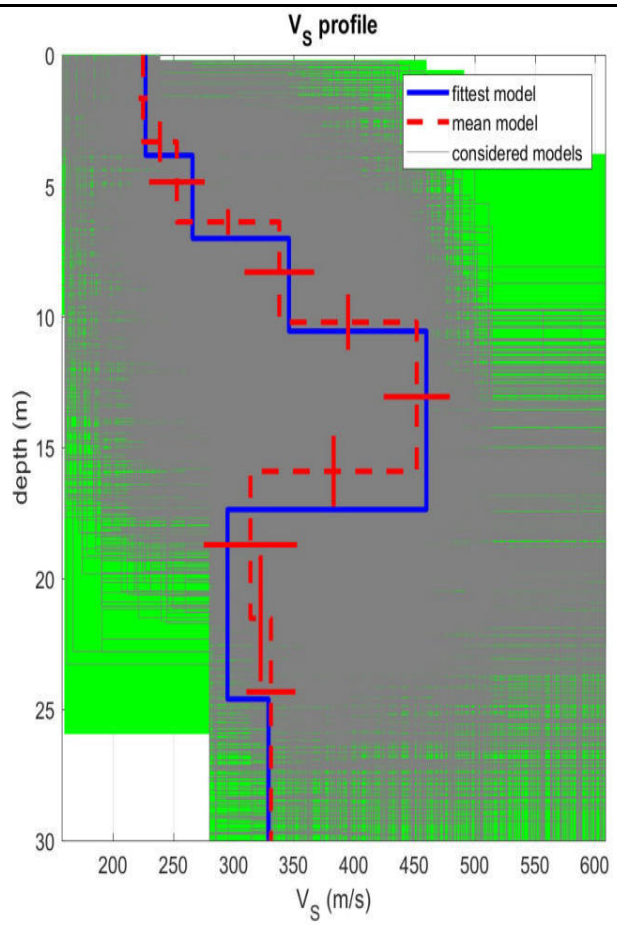
## Sismogramma e modelli del profilo di velocità



## MASW




**MASW**

| Profondità (m) | | Spessore (m) | Vs |
|---|---|---|---|
| da | a | (m) | (m/s) |
| 0.0 | 3.8 | 3.8 | 227 |
| 3.8 | 7.0 | 3.2 | 266 |
| 7.0 | 10.5 | 3.5 | 346 |
| 10.5 | 17.3 | 6.8 | 460 |
| 17.3 | 24.5 | 7.2 | 295 |
| 24.5 | | | 329 |

### *CATEGORIA DI SUOLO: C (NTC18)*

Terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivamente compresi tra 180 m/s e 360 m/s

***VsEq = Vs30 = 316 m/s***

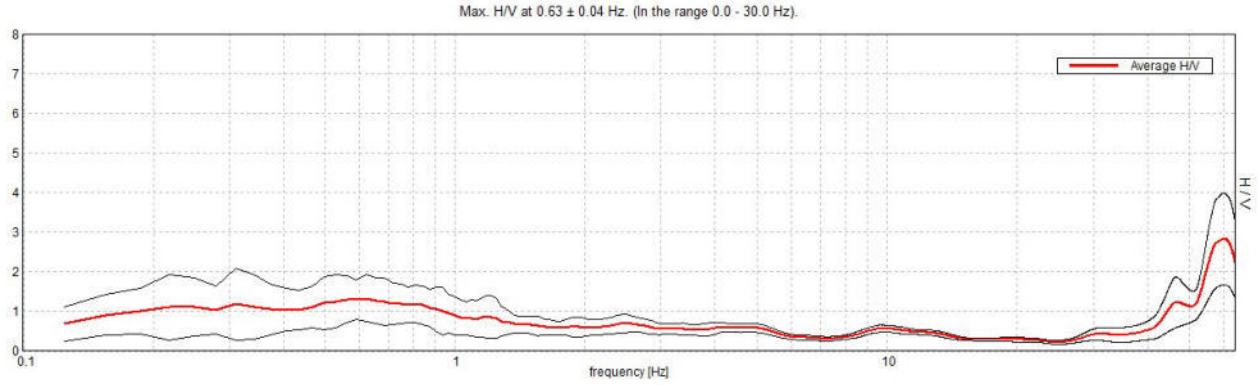
# ALLEGATO - 3 -

## INDAGINE GEOFISICA - HVSR

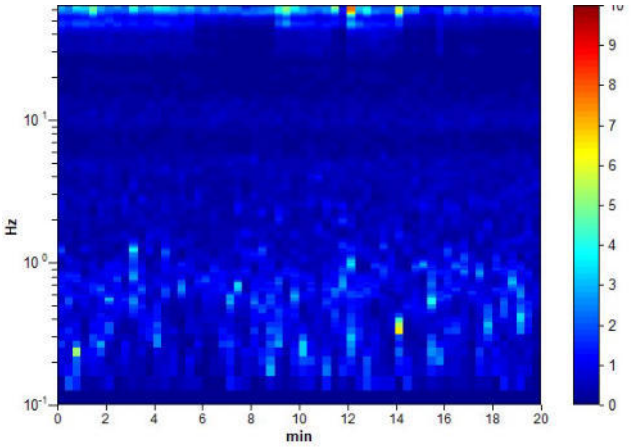
## INDAGINE SISMICA - HVSR
## Via Viazza n. 30 – ITA SPA, FIORANO M.SE (MO)

Instrument: TRZ-0162/01-11
Start recording: 14/11/22 12:20:29 End recording: 14/11/22 12:40:29
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS data not available
Trace length: 0h20'00". Analysis performed on the entire trace.
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 20 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

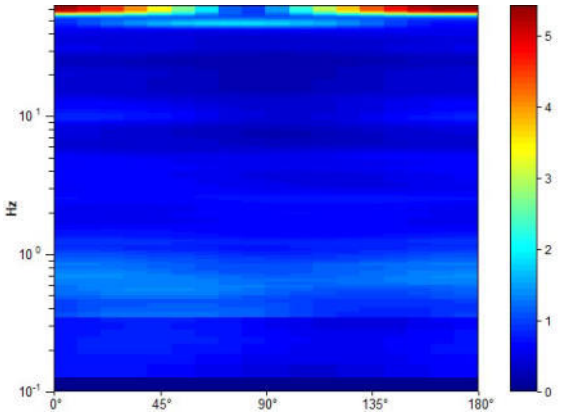
### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



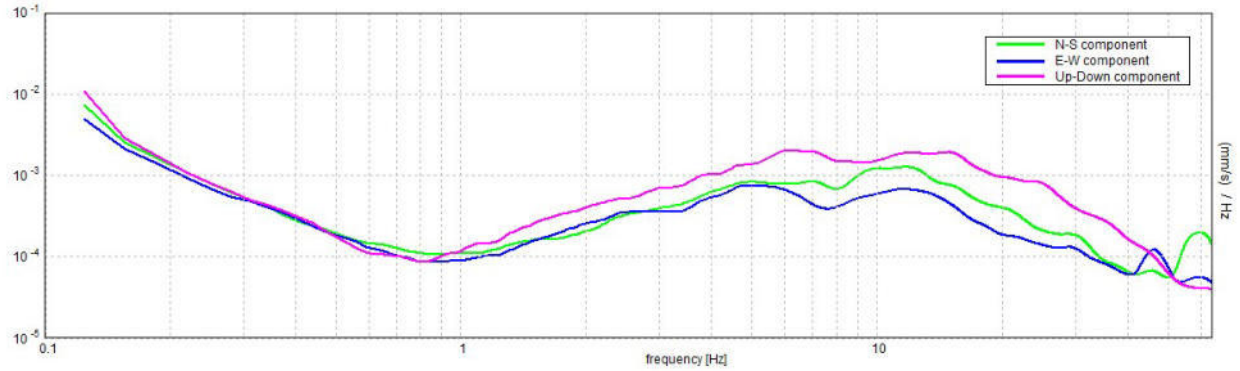

### H/V TIME HISTORY




### DIRECTIONAL H/V




### SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the** *Grilla* **manual before interpreting the following tables**.]

**Max. H/V at 0.63 ± 0.04 Hz (in the range 0.0 - 30.0 Hz).**

| **Criteria for a reliable H/V curve** [All 3 should be fulfilled] | | | |
|---|---|---|---|
| $f_0 > 10 / L_w$ | 0.63 > 0.50 | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | 750.0 > 200 | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$Hz<br>$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$Hz | Exceeded 0 out of 31 times | OK | |
| **Criteria for a clear H/V peak** [At least 5 out of 6 should be fulfilled] | | | |
| Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$ \| $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | | | NO |
| Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$ \| $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 1.5 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | 1.33 > 2 | | NO |
| $f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | \|0.03286\| < 0.05 | OK | |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | 0.02054 < 0.09375 | OK | |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | 0.2921 < 2.0 | OK | |

| | |
|---|---|
| $L_w$ | window length |
| $n_w$ | number of windows used in the analysis |
| $n_c = L_w n_w f_0$ | number of significant cycles |
| $f$ | current frequency |
| $f_0$ | H/V peak frequency |
| $\sigma_f$ | standard deviation of H/V peak frequency |
| $\varepsilon(f_0)$ | threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ |
| $A_0$ | H/V peak amplitude at frequency $f_0$ |
| $A_{H/V}(f)$ | H/V curve amplitude at frequency f |
| $f^-$ | frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$ |
| $f^+$ | frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$ |
| $\sigma_A(f)$ | standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided |
| $\sigma_{logH/V}(f)$ | standard deviation of log $A_{H/V}(f)$ curve |
| $\theta(f_0)$ | threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$ |

| Threshold values for $\sigma_f$ and $\sigma_A(f_0)$ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Freq. range [Hz] | < 0.2 | 0.2 – 0.5 | 0.5 – 1.0 | 1.0 – 2.0 | > 2.0 |
| $\varepsilon(f_0)$ [Hz] | 0.25 $f_0$ | 0.2 $f_0$ | 0.15 $f_0$ | 0.10 $f_0$ | 0.05 $f_0$ |
| $\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$ | 3.0 | 2.5 | 2.0 | 1.78 | 1.58 |
| log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{logH/V}(f_0)$ | 0.48 | 0.40 | 0.30 | 0.25 | 0.20 |