

COMUNE DI SASSUOLO  
Provincia di Modena

AMPLIAMENTO ATTIVITA' PRODUTTIVA DEL FABBRICATO  
INDUSTRIALE "SPRAY DRY SPA"  
SITO IN VIA EMILIA ROMAGNA N. 15 - SASSUOLO

## Relazione Geologica e Sismica



DATA:

Maggio 2021

VERSIONE:

PRATICA N°

45/21

COMMITTENZA:

**SPRAY DRY SPA**

IL GEOLOGO:

*Dott. Geol. Marco Santi Bortolotti*

**GEODES SRL**

Via Michelangelo, 1 – 41051 Castelnuovo Rangone (Mo)  
Tel.: (059) 536629-535499 - E-mail: geodes.srl@tiscali.it  
Reg. Impr. Modena n° 02625920364 – Cod.Fisc. e Part. I.V.A. 02625920364



# Relazione Geologica e Sismica

## 1. PREMESSA

La presente relazione riferisce dello studio eseguito presso lo stabilimento Spray Dry Spa ubicato in Via Emilia Romagna a Sassuolo (Mo) (Fig. 1-2); in particolare espone gli aspetti geologici e sismici connessi con la realizzazione di un ampliamento dell'attività produttiva del fabbricato industriale esistente.

### 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 Sassuolo;
- 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° 3 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:

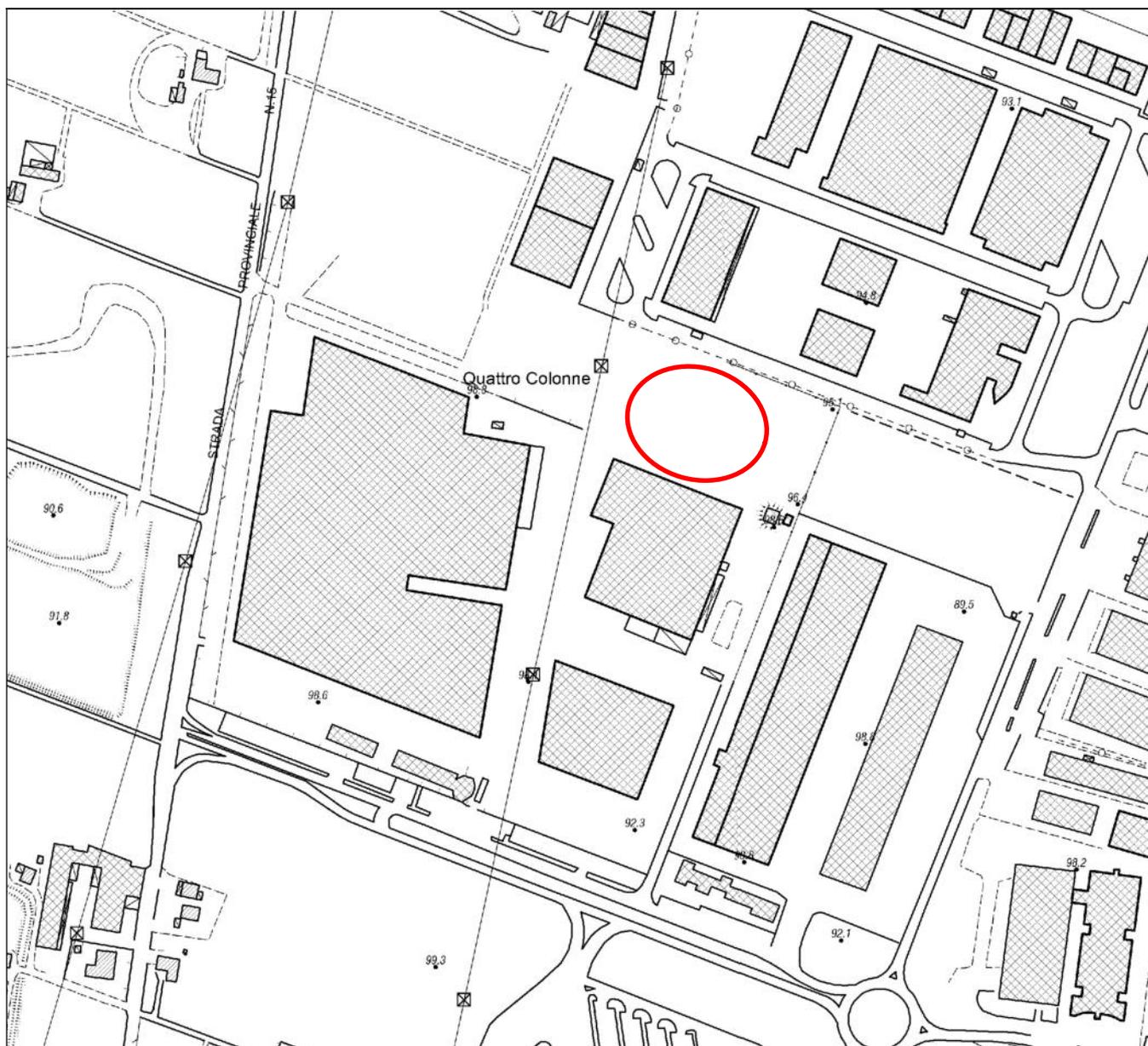
- valutare le condizioni geologiche-geomorfologiche e idrogeologiche dell'area;
- approfondire le conoscenze stratigrafiche, per meglio caratterizzare il terreno di fondazione;
- valutare la pericolosità sismica di base del sito di costruzione e gli eventuali effetti di sito dell'area;
- valutare la risposta sismica locale mediante classificazione semplificata del suolo in base alla  $V_sEq$ , 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.



FIGURA 2 - COROGRAFIA 1:5.000 (Elementi Ctr n° 219022-219023)



Dal punto di vista geomorfologico, la zona in esame si colloca nella alta pianura modenese; l'analisi morfologica di dettaglio mostra un'area pianeggiante con debole pendenza verso ne; le pendenze medie sono intorno a 0.5% (Fig. 2).

Il sito in studio si pone in zona antropizzata, pertanto gli elementi morfologici sono totalmente mascherati. Nei settori circostanti, in generale gli elementi naturali sono comunque scarsi: si rilevano nella campagna i fossi di regimazione delle acque superficiali e le scarpate stradali degli assi viari rilevati rispetto al piano naturale. Gli elementi morfologici più significativi rimangono gli alvei dei corsi d'acqua, F. Secchia a ovest e Fossa di Spezzano a nord.

### 2.1.1 Riferimenti Cartografici Ctr

Cartograficamente l'area in studio è individuata sulla C.T.R. nella Tavoleta 219no (Fig. 1), nella Sezione n° 219020 alla scala 1:10.000 e negli Elementi n° 219022-219023 alla scala 1:5.000 (Fig. 2).

## 2.2 ELEMENTI GEOLITOLOGICI

Questa zona della pianura, influenzata dal Fiume Secchia, è caratterizzata dai depositi fluviali alluvionali che formano la parte frontale della conoide del F. Secchia (Unità dei corsi d'acqua principali) (Fig. 3); questi depositi risultano caratterizzati da terreni granulometricamente eterogenei anche se le frazioni grossolane risultano dominanti soprattutto nell'area di maggiore influenza deposizionale del F. Secchia: sono presenti sequenze prevalentemente ghiaiose, soprattutto nelle aree apicali, che si attestano mediamente a modeste profondità dal p.c.. Nell'area in studio la ghiaia si presenta subaffiorante. A queste sequenze ghiaiose si alternano livelli pelitici che diventano via via più potenti e frequenti dirigendosi verso Nord o allontanandosi lateralmente dalla conoide, determinando una graduale transizione ai sedimenti fini della piana alluvionale, che si sviluppa contemporaneamente alla fronte e ai lati delle conoidi stesse. I sedimenti della pianura sono quasi sempre fini e finissimi (limi e argille), depositati per accrescimento verticale, e talora sabbiosi, legati a barre ad accrescimento laterale, ad argini naturali e ventagli di rotta.

L'area ricade all'interno dell'Unità dei "Corsi d'acqua principali", contraddistinta da depositi ghiaiosi di conoide e sabbiosi delle aree golenali.

Si tratta di sedimenti depositati in ambiente di conoide, sviluppatosi a partire dal Neolitico allo sbocco del Fiume Secchia in pianura e successivamente contraddistinto da alcuni degli episodi deposizionali più recenti.

La conoide, con apice a sud di Sassuolo, si sviluppa con inclinazione media verso valle dello 0.5%, mentre l'antistante pianura alluvionale è inclinata dello 0.1-0.2%; la zona apicale si contraddistingue oltre che per la presenza di depositi prevalentemente grossolani, per quella di canali intrecciati, legati allo sviluppo di corsi d'acqua tipo braided.

Le ghiaie presentano in genere alla sommità spessori variabili, sino ad un paio di metri, di depositi fini e finissimi di overbank, nei quali è possibile riconoscere diversi cicli positivi, deposti da successivi episodi di tracimazione; nell'area in oggetto tali depositi poggiano su conoidi più antiche.

Da un punto di vista litologico si tratta prevalentemente di ghiaie, con diametri variabili dai 70 cm a qualche centimetro, immerse in matrice sabbioso-limosa; le ghiaie, poco classate ed embricate, sono costituite in prevalenza da calcari ed arenarie, subordinatamente da selci ed ofioliti.

Le sabbie sono presenti oltre che nella matrice, in rare lenti poco sviluppate entro le ghiaie ed al tetto di queste, ove assieme ai limi ed alle argille, costituiscono uno strato potente sino ad un paio di metri.

La cartografia geologica di riferimento di più recente pubblicazione è rappresentata dalla "Carta geologica del Progetto CARG" (Fig. 3). In base agli 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-quadernari 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.

PRINCIPALI UNITA' STRATIGRAFICHE				ETA (migliaia di anni)	SCALA CRONOSTRATIGRAFICA (migliaia di anni)	UNITA' IDROSTRATIGRAFICHE	
AFFIORANTI		SERPOLTE				GRUPPO SCOPERTO	COMPLESSO ACQUIFERO
QUATERNARIO CONTINENTALE	TERRE ROSSE, DELUVIUM, ALLUVIUM, TERRAZZI E ALLUVIONI	SUPERSTESIMA EMILIANO-ROMAGNOLA SUPERIORE	UNITA' DI BORGO PINGALE	-0.12	0.125	A	A1
	FORMAZIONE DI QUARTELLO		UNITA' DI BOLOGNA	-0.35-0.45			B1
	FORMAZIONE FLUVIO-LACUSTRE		UNITA' ALLUVIALE INFERIORE	-0.65			B2
	DELUVIUM p.p.		UNITA' DI CASTELVETRO	-0.8			B3
QUATERNARIO MARINO	MILAZZANO SABIE DI CASTELVETRO p.p. SABIE GIALLE di MOGLA p.p.	SUPERSTESIMA EMILIANO-ROMAGNOLA INFERIORE	UNITA' DI CASTELVETRO	-0.85		C	C1
	MILAZZANO e CALABRANO p.p. SABIE DI CASTELVETRO p.p. SABIE GIALLE di MOGLA p.p.		UNITA' DI CASTELVETRO	-1.0			C2
	CALABRANO p.p. SABIE DI MONTERRICCO FORMAZIONE di TERRA del SOLE p.p.		UNITA' DI CASTELVETRO	-1.2			C3
	CALABRANO p.p. FORMAZIONE di CASTELLARQUATO p.p.		UNITA' DI CASTELVETRO	-2.2			C4
	P2 FORMAZIONE di CASTELLARQUATO p.p.		UNITA' DI CASTELVETRO	-3.3-3.6			C5
ALLUVIONI / QUATERNARIO MARINO E SABIE DI ASTI				-3.9			

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

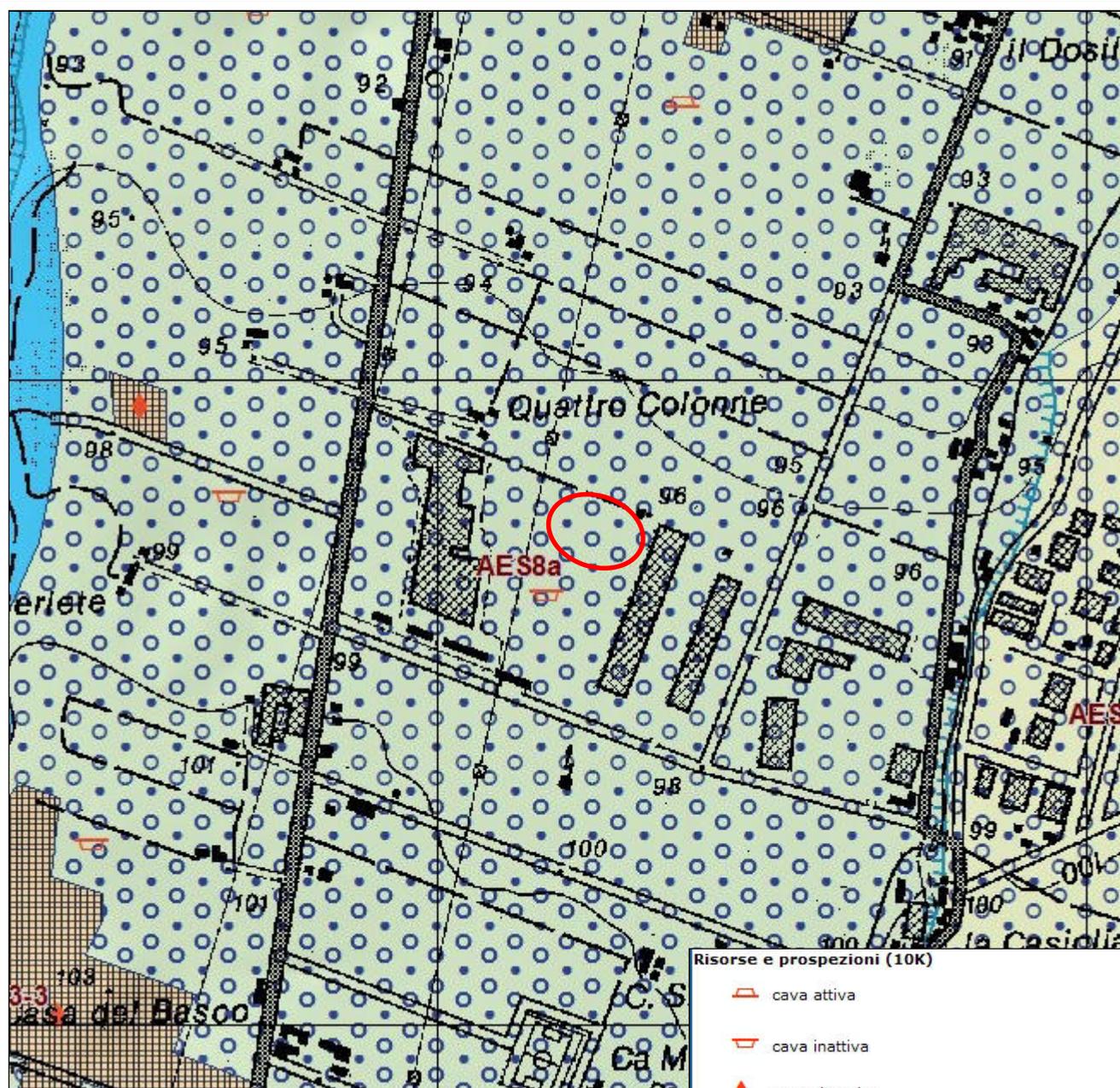
Sintema emiliano-romagnolo inferiore, comprendente i sedimenti di ambiente continentale sedimentati all'incirca tra 650 mila e 350/450 mila anni fa;

Sintema emiliano-romagnolo superiore 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).

Di seguito si riporta uno stralcio della Carta geologica del Progetto Carg della RER e relativa legenda delle litologie cartografate (Fig. 3).

FIGURA 3 – CARTA GEOLOGICA 1:10.000



Da Progetto CARG – Regione Emilia Romagna.

### AES8a - Unità di Modena

Depositi ghiaiosi passanti a sabbie e limi di terrazzo alluvionale. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. Unità definita dalla presenza di un suolo a bassissimo grado di alterazione, con profilo potente meno di 100 cm, calcareo, grigio-giallastro o bruno grigiastro.

Nella pianura ricopre resti archeologici di età romana del VI secolo d.C..

Potenza massima di alcuni metri (< 10 m). *Post-VI secolo d.C*

### 2.3 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Dal punto di vista idrogeologico l'area in esame si colloca nel settore apicale dell'unità idrogeologica della conoide principale del Fiume Secchia; attualmente il corso d'acqua, come quasi tutti i corsi d'acqua padano-appenninici, incide le proprie alluvioni in posizione marginale, spostato verso ovest rispetto all'antico alveo, conseguentemente a movimenti tettonici molto recenti (Quaternario).

La struttura idrogeologica è composta da terreni a granulometria prevalentemente grossolana anche a basse profondità dal piano campagna; in questa zona i sedimenti alluvionali all'interno dei quali sono presenti acquiferi a litologia ghiaioso-sabbiosa, presentano nell'insieme spessori di svariate decine di metri.

La conoide del F. Secchia è caratterizzata dall'esistenza nel sottosuolo di terreni prevalentemente grossolani ad elevata permeabilità, costituiti da ghiaie a matrice sabbiosa con sottili e discontinue intercalazioni limose-argillose e limo-sabbiose. Si è quindi in presenza di un acquifero monostrato con valori di trasmissività molto elevati che solo localmente può essere differenziabile.

Complessivamente la conoide del Secchia s'inquadra nell'acquifero dell'alta pianura modenese nel modo descritto dallo schema GNDCI del C.N.R.: in sintesi esiste all'apice della conoide una condizione di flusso imposto di sub-alveo, flussi variabili nel tempo con gli acquiferi confinati sui fianchi Est ed Ovest e flussi univoci nella parte distale della conoide.

La falda è a pelo libero in una fascia di monte fortemente allungata in asse al Fiume Secchia, e, a valle della isopiezometrica 50 m, circa 1500 m a nord del T. Fossa, la falda è in pressione.

L'alveo del Secchia è riconosciuto infiltrante sino all'altezza della confluenza Secchia/Tresinaro.

Riguardo alla posizione del passaggio falda libera/in pressione, va notato che Pellegrini M. (1989), rileva che la parte apicale della conoide è costituita da un monostrato indifferenziato ed affiorante, senza importanti intercalazioni e con falda libera, fino all'altezza della Casiglia; a nord di questa località i livelli impermeabili assumono una certa continuità e determinano condizioni strutturali di acquifero monostrato compartimentato, mantenendo comunque intercomunicazione tra i livelli acquiferi, il gradiente idraulico fino alla località Casiglia è tipico di una falda libera e la isopiezometrica 55 m segna il passaggio ad una condizione di confinamento.

In conclusione quindi, l'area in studio si colloca immediatamente a valle del passaggio tra l'acquifero con falda libera e quello compartimentato.

Al di sotto del primo acquifero e separato da questo da diaframmi scarsamente permeabili costituiti da limi ed argille di spessore ed estensione areale variabile, si rinviene il secondo acquifero, caratterizzato dalla presenza di falde semi-confinato, che localmente possono assumere caratteristiche prossime a quelle confinate; questo secondo acquifero risulta in particolare caratterizzato da un monostrato compartimentato costituito da più livelli permeabili ghiaioso-sabbiosi tra loro variamente comunicanti, localmente separati da setti argillosi, talora anche di discreto spessore e notevole estensione.

Come per la base del primo acquifero, anche in questo caso si possono evidenziare importanti strutture depresse con asse posto in direzione sud-nord e l'inclinazione della superficie risulta anche in questo caso variabile spostandosi verso nord.

La produttività di questo acquifero, sfruttato dalla maggior parte dei pozzi ad uso acquedottistico ed industriali presenti nell'area, risulta notevolmente maggiore rispetto a quello soprastante, sia qualitativamente che quantitativamente.

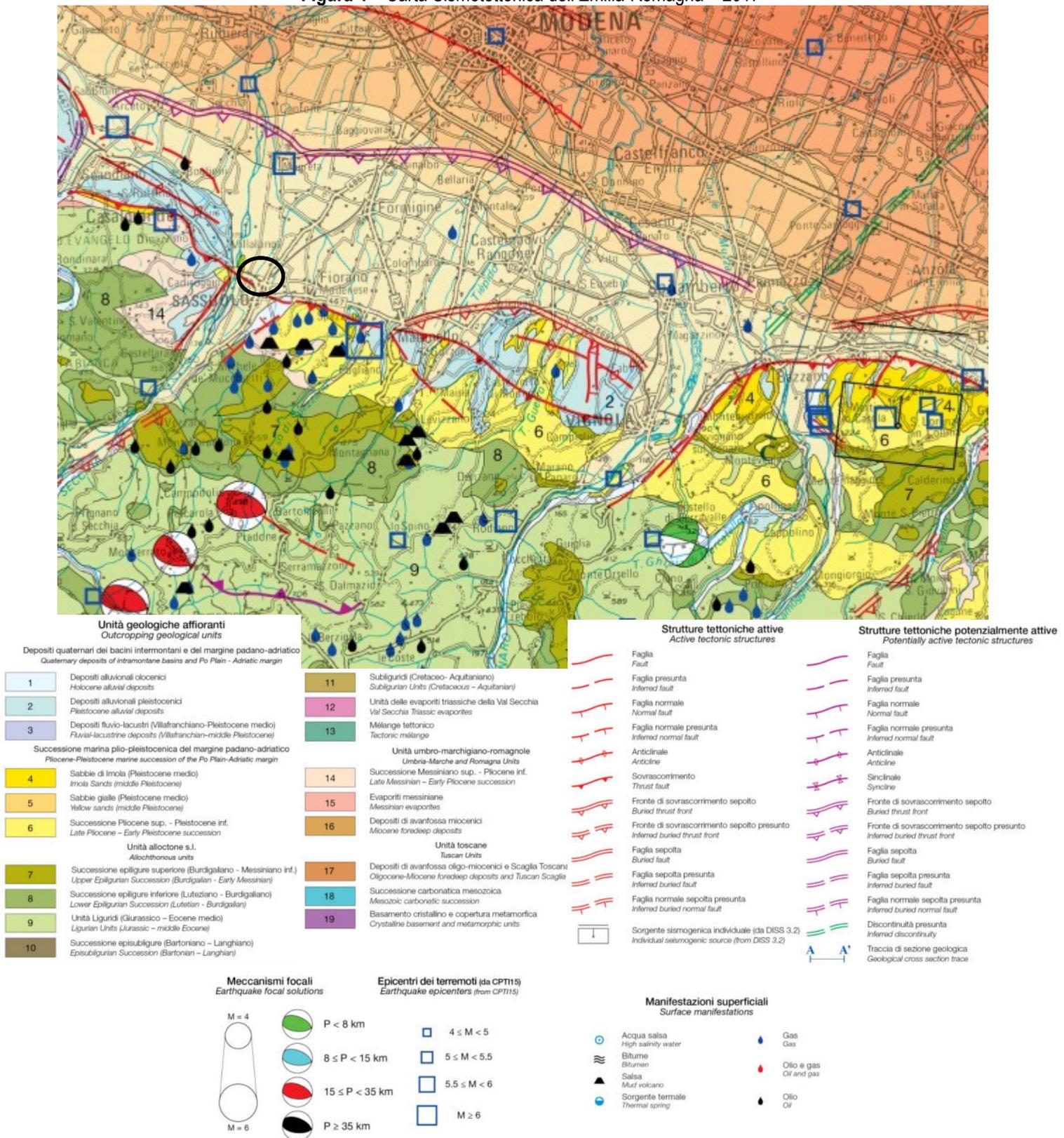
### 3. RELAZIONE SISMICA

#### 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.

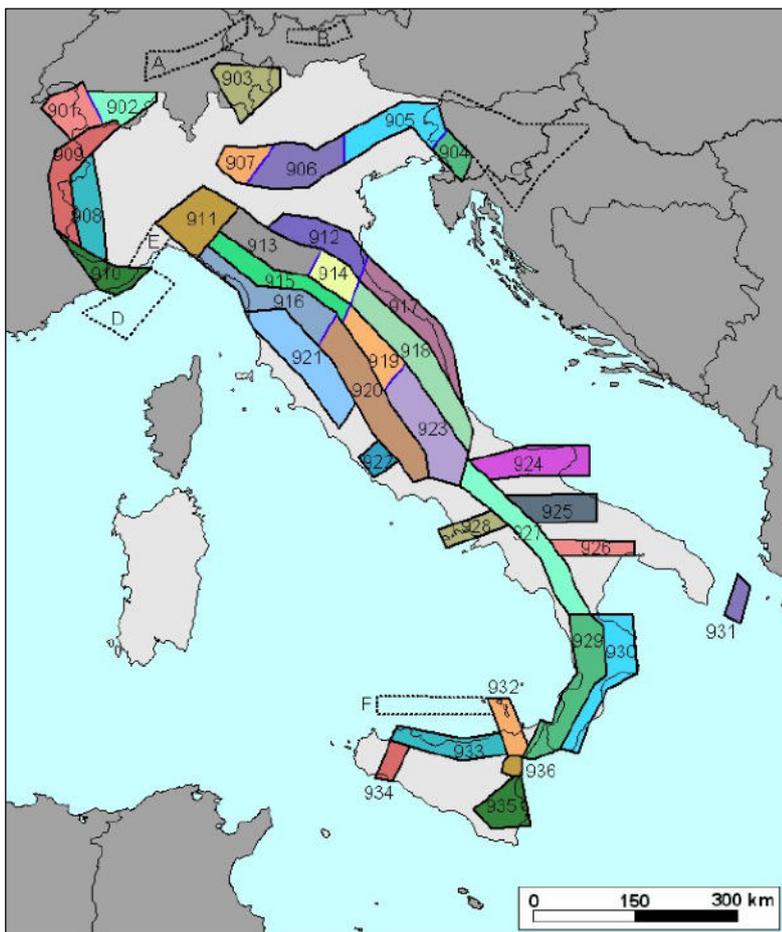


Fig. 5 – Zonazione sismogenetica ZS9 (INGV).

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.

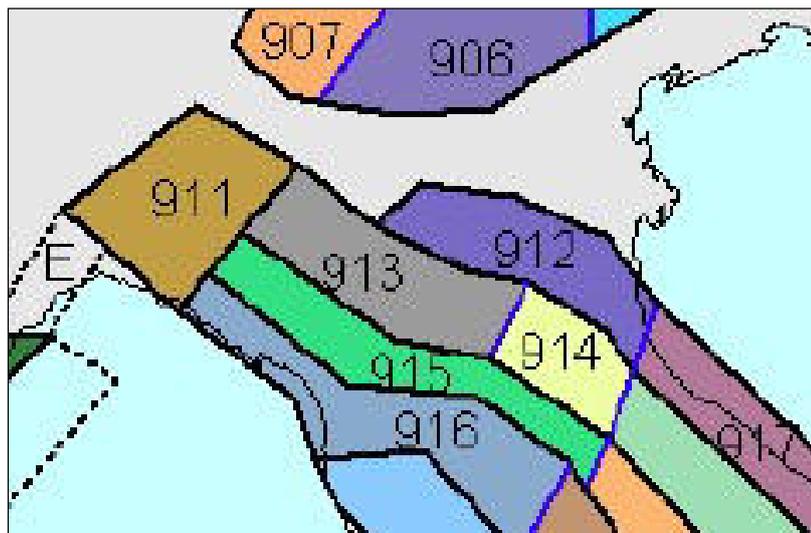


Fig. 6 – Zoom sulla zonazione sismogenetica ZS9 dell'Emilia Romagna ZS9.

### Sismicità delle zone sorgenti

Nel territorio del Comune di Sassuolo 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 Sassuolo, mentre le altre vengono considerate poco influenti per generando terremoti con magnitudo a volte anche elevata (ad es. la

zona 915).

La ZS913 presenta un'attività presumibilmente legata al fronte del thrust pedeappenninico, mentre la ZS912 è rappresentata dalla parte settentrionale della pianura, ovvero la zona al di sopra della dorsale attiva delle Pieghe Ferraresi. La zona ZS915 si colloca nell'alto Appennino, dove il risentimento è dovuto sia alla sismicità locale, sia alla sismicità della vicina Garfagnana.

Il territorio del Comune di Sassuolo ricade una zona sismogenetica (zona 913) caratterizzata da terremoti di magnitudo medio-bassa. La maggior parte dei terremoti che si verificano in questa zona, avvengono a profondità comprese tra 12 e 20 km. Solo recentemente, negli ultimi trent'anni, si ricordano:

Data	Ubicazione epicentro	Magnitudo (MI)
02-05-1987	Correggio	4.7
15-10-1996	Correggio-Novellara	5.2
18-16/2000	Bagnolo in Piano	4.2
20/29-05/2012	Bassa Modenese	5.8-5.9

La zona ZS913 è causa di una sensibile attività come documentato dagli eventi del bolognese, del reggiano e del parmense (anno 2000). 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. Se confermato, la fascia pedeappenninica sarebbe quella potenzialmente più pericolosa per il territorio di Sassuolo.

La fascia del fronte appenninico sepolto determina una sismicità rappresentata da terremoti, come detto, a intensità medio-bassa, ma con una discreta frequenza di accadimento.

Per quanto riguarda la sismicità storica si può osservare che meccanismi focali di terremoti a dinamica compressiva, con direzione di raccorciamento principale orientata all'incirca N-S o NNE-SSO e di magnitudo (secondo la scala di Richter) fino a 5-5,5, sono stati registrati con epicentro posto nella fascia pedeappenninica modenese.

I dati geologici e sismologici mettono quindi in evidenza come la zona pedecollinare sia forse da ritenere sismicamente attiva o comunque interessa da elementi geologico-strutturali neotettonici.

L'inclusione del Comune di Sassuolo, assieme ai vicini Comuni di Casalgrande, Castellarano, Sassuolo, Fiorano, Formigine e Castelvetro, nell'elenco dei comuni sismici in zona 2, da parte della citata Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274, ribadisce tale condizione di sismicità relativamente più accentuata rispetto alla maggioranza dei Comuni modenesi che sono inclusi tra i comuni classificati in zona 3 a minore sismicità rispetto la zona 2.

### 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 Sassuolo è dell'IX MCS (scala Mercalli-Cancani-Sieberg), corrispondente ad una magnitudo dell'ordine di 5.5 (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.

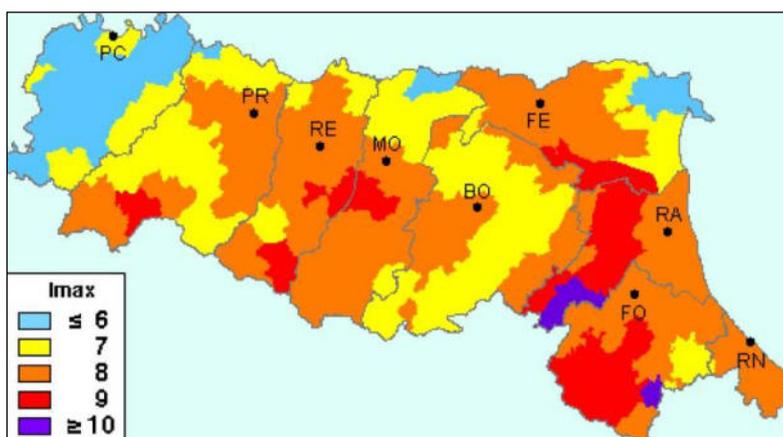


Fig. 7 – Intensità Macrosismiche osservate nei comuni italiani – GNDT ING/SGA

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:

periodo dal 1000 al 2014:

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

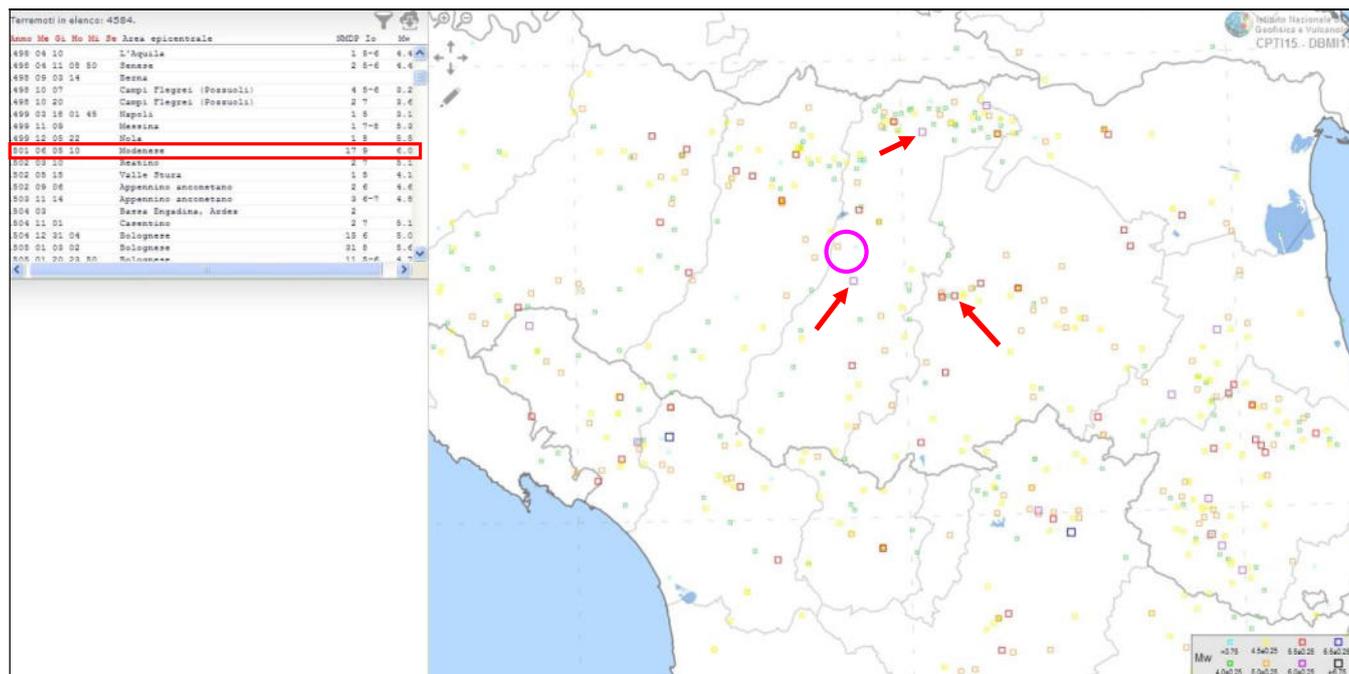


Figura 8 – Tratto da INGV CPT115 (Catalogo parametrico dei terremoti italiani – 2015) – Dal 1000 al 2014.

 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

Dalla consultazione del Database Macrosismico Italiano 2011 DBMI11 per la località Sassuolo si ottiene il seguente elenco di eventi sismici:

Storia sismica di Sassuolo [44.541, 10.781]					
Numero di eventi: 33					
Effetti	In occasione del terremoto del:				
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw	
9	1501 06 05 10:00	Appennino modenese	20	9 5.98 ±0.32	
6-7	1536 08 17 00:05	Appennino tosco-emiliano?	10	6-7 5.29 ±0.56	
NR	1547 02 10 13:20	Reggio Emilia	13	7 5.14 ±0.34	
6-7	1811 07 15 22:44	SASSUOLO	21	6-7 5.25 ±0.40	
5	1831 09 11 18:15	Reggiano	25	7-8 5.54 ±0.32	
5-6	1832 03 13 03:30	Reggiano	98	7-8 5.53 ±0.18	
3	1873 03 12 20:04	Marche meridionali	196	8 5.95 ±0.10	
6-7	1873 05 16 19:35	REGGIANO	15	6-7 5.09 ±0.59	
3	1887 02 23 05:21	Liguria occidentale	1516	6.97 ±0.15	
4-5	1909 01 13 00:45	BASSA PADANA	799	6-7 5.53 ±0.09	
NF	1909 08 25 00:22	MURLO	283	7-8 5.37 ±0.10	
NF	1911 02 19 07:18	Romagna meridionale	181	7 5.28 ±0.11	
6	1914 10 27 09:22	Garfagnana	618	7 5.76 ±0.09	
2	1919 06 29 15:06	Mugello	566	10 6.29 ±0.09	
6	1923 06 28 15:11	FORMIGINE	22	6 4.88 ±0.24	
4	1929 04 19 04:15	Bolognese	82		
3	1930 05 24 22:02	FIUMALBO	43	5 4.81 ±0.17	
3-4	1957 08 27 11:54	ZOCCA	58	5 4.65 ±0.21	
2	1965 11 09 15:35	ALTA V. SECCHIA	32	5 4.74 ±0.25	
4	1971 07 15 01:33	Parmense	229	8 5.64 ±0.09	
6	1983 11 09 16:29	Parmense	850	6-7 5.06 ±0.09	
NF	1986 12 06 17:07	BONDENO	604	6 4.61 ±0.10	
4-5	1987 05 02 20:43	Reggiano	802	6 4.74 ±0.09	
NF	1988 03 15 12:03	Reggiano	160	6 4.66 ±0.12	
3	1992 04 17 11:59	Monteveglia	56	4-5 4.32 ±0.18	
1-2	1995 10 10 06:54	LUNIGIANA	341	7 4.85 ±0.09	
5-6	1996 10 15 09:56	Correggio	135	7 5.41 ±0.09	
2-3	1997 05 12 22:13	Reggiano	56	4-5 4.22 ±0.27	
NF	1998 02 21 02:21	Reggiano	104	5 4.34 ±0.17	
3-4	1999 07 07 17:16	Frignana	32	5 4.70 ±0.09	
4-5	2000 06 18 07:42	Parmense	300	5-6 4.43 ±0.09	
NF	2000 10 03 01:12	Appennino tosco-emiliano	62	5 4.27 ±0.09	
3	2003 09 14 21:42	Appennino bolognese	133	6 5.29 ±0.09	

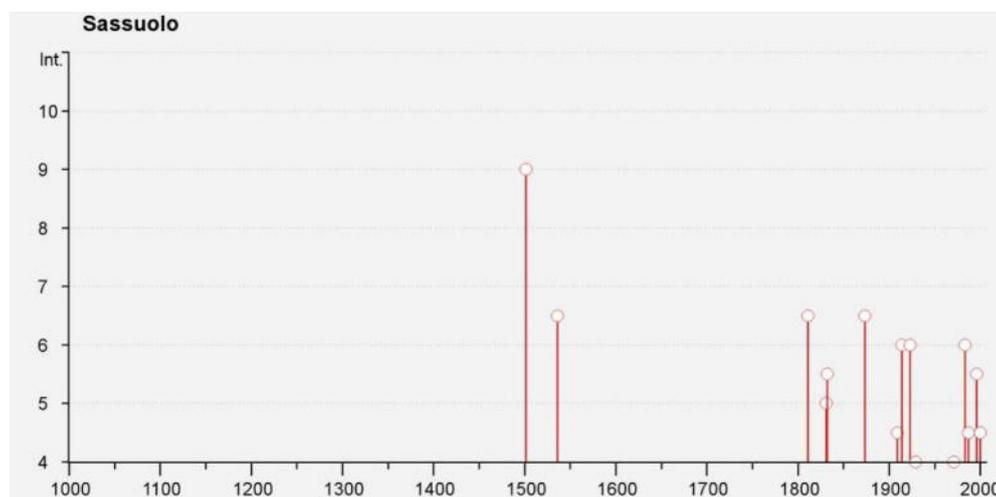


Diagramma della storia sismica di Sassuolo, Da INGV - Database Macrosismico Italiano 2011 - <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11>

### 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'accelerazione orizzontale massima ( $a_g/g$ ) su suolo di categoria A.

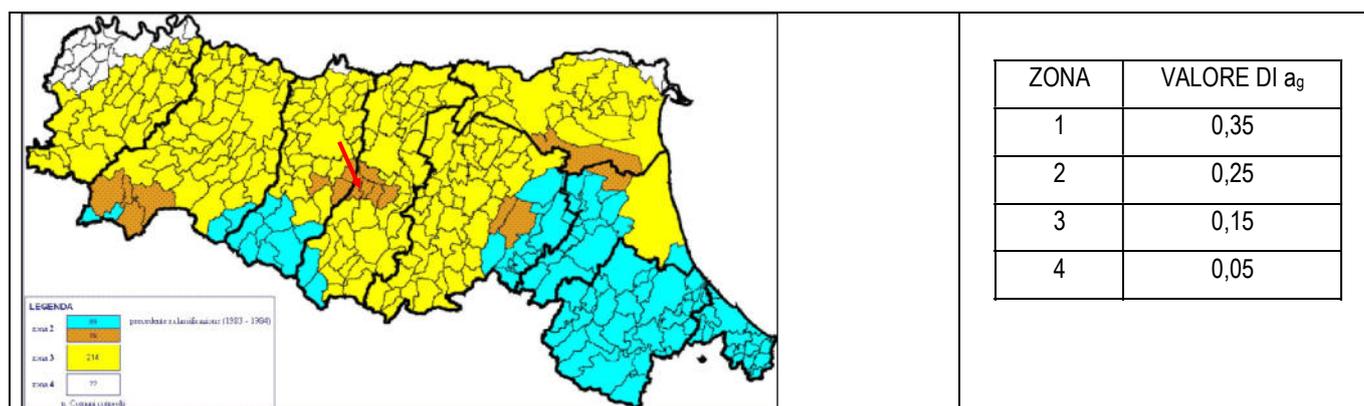
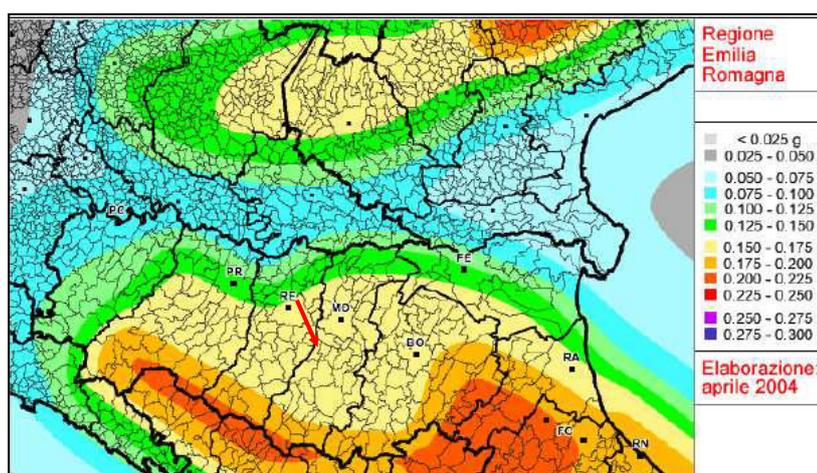


Fig. 9 - Classificazione sismica attuale di riferimento - Ordinanza PCM del 20 marzo 2003 n. 2374 All. 1.

Il Comune di Sassuolo ricade in "zona sismica 2" a cui corrisponde un'acc. 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 Sassuolo è compreso nell'area caratterizzata da **valori dell'accelerazione massima al suolo ( $a_{max}$ )**, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita ai suoli molto rigidi ( $V_{s30} > 800$  m/s; cat. A, All. 2, 3.1), **compresi tra 0,150 e 0,175** l'accelerazione di gravità  $g$ .

Fig. 10 - Mappa di pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione massima al suolo ( $a_{max}$ ) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita ai suoli molto rigidi ( $V_{s30} > 800$  m/s; cat. A) allegata all'Ordinanza PCM n. 3519 del 28 aprile 2006. (Fonte: Sito web della RER).

**Del. Rer. 112/2007**

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	San Possidonio	0.140	Per il Comune di Sassuolo risulta $a_{refg}=0,162$
MO	San Prospero	0.154	
<b>MO</b>	<b>Sassuolo</b>	<b>0.162</b>	
MO	Savignano sul Panaro	0.163	
MO	Serramazzoni	0.159	
MO	Sestola	0.177	

**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,  $V_s$ . I valori di  $V_s$  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).

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	Depositati 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	Depositati 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:

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

$h_i$  = spessore dello strato i-esimo  
 $V_{S,i}$  = 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

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 INDAGINI GEOFISICHE

Per la caratterizzazione sismica del suolo di fondazione sono state consultate diverse indagini, tipo Remi e Masw eseguite per lo Studio di Microzonazione Sismica del Comune di Sassuolo.

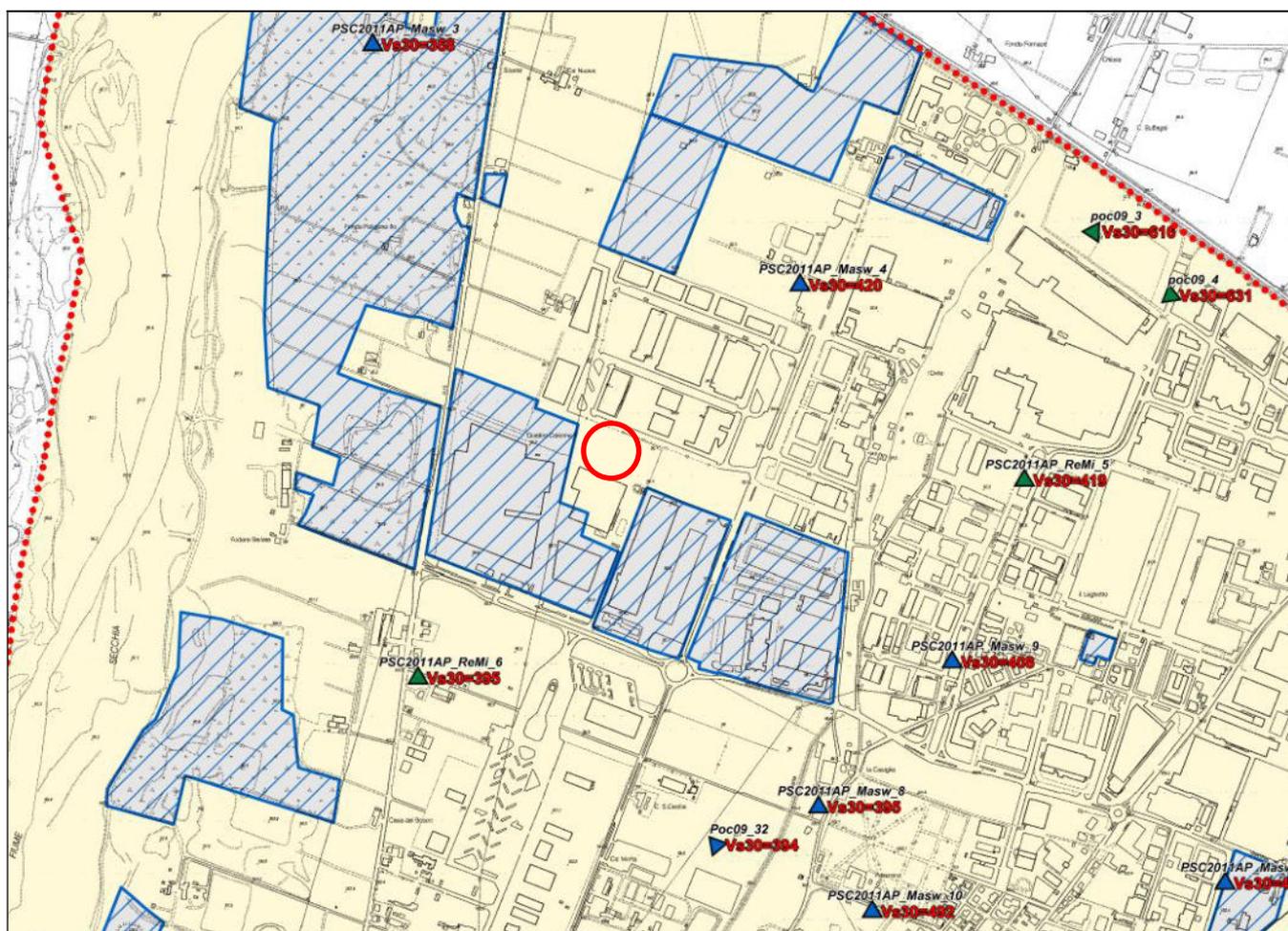


Figura 10 - Carta delle Vs - Tratta da "Studio di Microzonazione Sismica del Comune di Sassuolo"



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  $V_s E_q$ , e calcolare l'accelerazione spettrale elastica e dei coefficienti di amplificazione sismica (NTC 2018), sono state eseguite le seguenti indagini sismiche sito-specifiche:

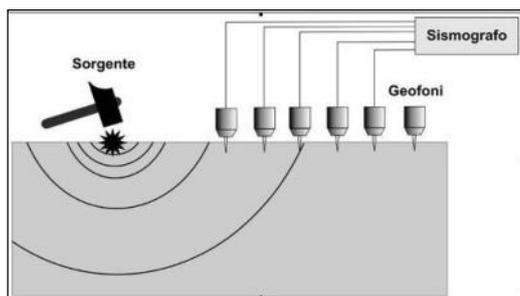
- n° 1 indagine di sismica a rifrazione con metodologia MASW (All. 2);
- n° 1 prospezione sismica passiva di microtrempi HVSR (All. 3);

### 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 effettuata una serie di acquisizioni MASW (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*, analisi della dispersione delle onde 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 con le NTC 2018.

#### 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).

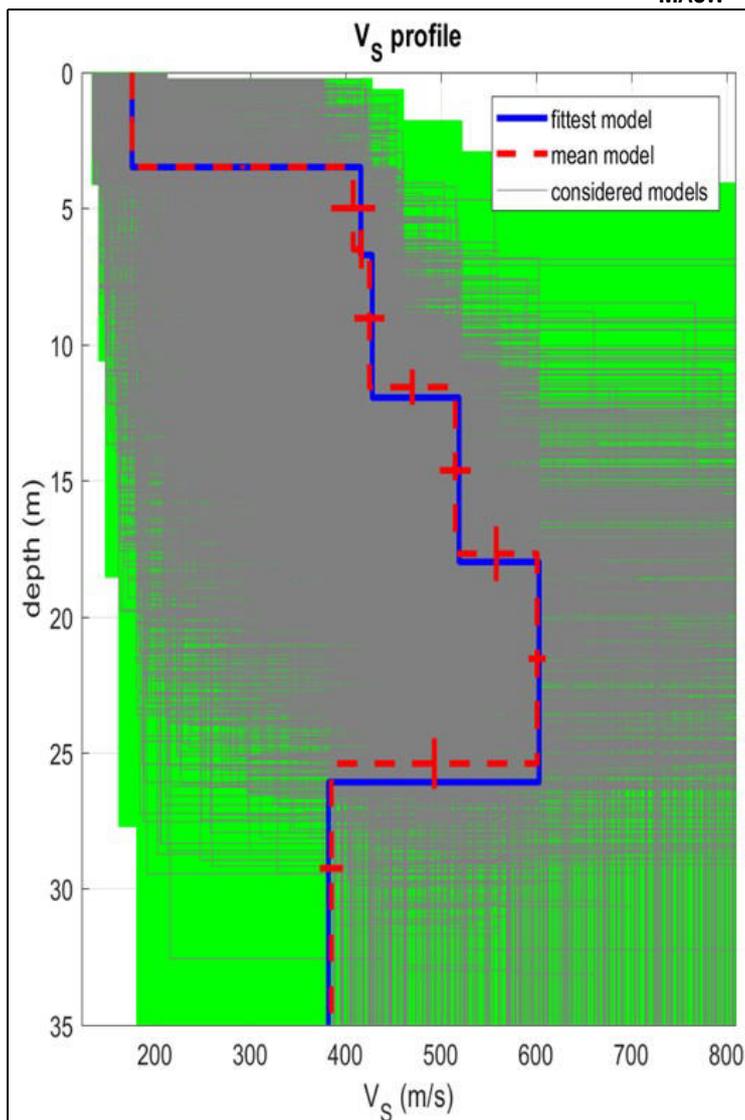
L'indagine eseguita è composta da n° 1 stendimento lungo 46 m.

**Elaborazione dati**

Per le analisi dei dati acquisiti si è adottato il software *winMASW 7.3 Pro* ([www.eliosoft.it](http://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**



MASW			
Profondità (m)		Spessore (m)	Vs
da	a	(m)	(m/s)
0.0	3.5	3.5	176
3.5	6.7	3.2	416
6.7	11.9	5.2	428
11.9	17.9	6.0	519
17.9	26.0	8.1	603
26.0			382

**V<sub>seq</sub> = V<sub>s30</sub> = 400 m/s**

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

Rocce tenere e depositi 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 equivalentemente compresi tra 360 m/s e 800 m/s



### Interpretazione dei dati

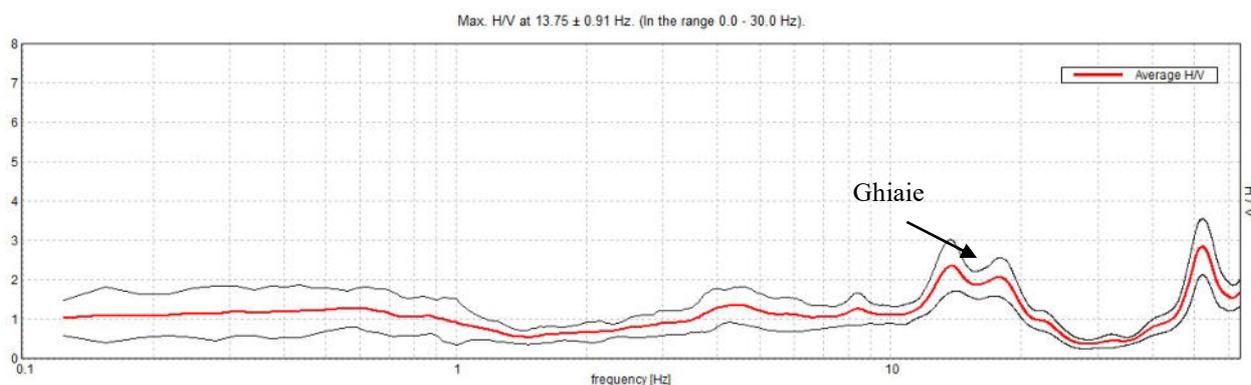
L'elaborazione dei dati ha permesso di ottenere i diagrammi specifici ovvero gli spettri delle singole componenti (N-S, E-W e UP-DOWN) e lo spettro del moto del suolo (H/V) (vedi elaborato specifico).

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 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 l'assenza di significative inversioni di velocità; la linea rossa (average H/V) si mantiene con valori superiori a 1.

### 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 da terreni di riporto superficiali.

Il picco delle ghiaie si evidenzia tra 13-18 Hz.

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 del fabbricato 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  $V_sEq$  di 400 m/s a 0 m di prof.

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

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

a cui corrisponde un coefficiente di amplificazione stratigrafica  **$S_s=1.20$**

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		Tabella 3.2.VI – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica $S_T$		
Categoria	Caratteristiche della superficie topografica	Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$	T1	-	1,0
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	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 dell'edificio II - Cu = 1
- 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:

$$p = \frac{\sum_i^4 \frac{P_i}{d_i}}{\sum_i^4 \frac{1}{d_i}}$$

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: 44,570029	Sito 1 ID: 16500	Lat: 44,5534	Lon: 10,7550	Distanza: 3421,238
longitudine: 10,791324	Sito 2 ID: 16501	Lat: 44,5550	Lon: 10,8250	Distanza: 3148,735
Classe: 2	Sito 3 ID: 16279	Lat: 44,6050	Lon: 10,8228	Distanza: 4616,445
Vita nominale: 50	Sito 4 ID: 16278	Lat: 44,6034	Lon: 10,7527	Distanza: 4806,258

#### Parametri sismici

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T1
Periodo di riferimento:	50 anni
Coefficiente cu:	1

Parametri sismici	Operatività SLO	
Probabilità di superamento:	81 %	Ss: 1,200
Tr:	30[anni]	Cc: 1,450
ag:	0,051 g	St: 1,000
Fo:	2,480	Kh: 0,012
Tc*:	0,252[s]	Kv: 0,006
		Amax: 0,606
		Beta: 0,200

Parametri sismici	Danno SLD	
Probabilità di superamento:	63 %	Ss: 1,200
Tr:	50[anni]	Cc: 1,430
ag:	0,064 g	St: 1,000
Fo:	2,492	Kh: 0,015
Tc*:	0,265[s]	Kv: 0,008
		Amax: 0,753
		Beta: 0,200

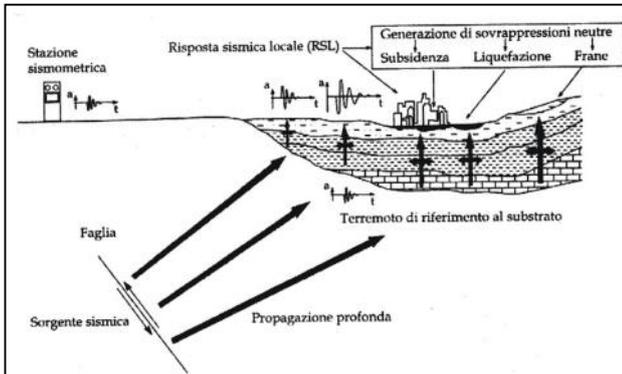
Parametri sismici	Salvaguardia della vita SLV	
Probabilità di superamento:	10 %	Ss: 1,200
Tr:	475[anni]	Cc: 1,410
ag:	0,163 g	St: 1,000
Fo:	2,375	Kh: 0,047
Tc*:	0,290[s]	Kv: 0,023
		Amax: 1,918
		Beta: 0,240

Parametri sismici	Prevenzione del collasso SLC	
Probabilità di superamento:	5 %	Ss: 1,200
Tr:	975[anni]	Cc: 1,390
ag:	0,205 g	St: 1,000
Fo:	2,385	Kh: 0,069
Tc*:	0,307[s]	Kv: 0,035
		Amax: 2,417
		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 è 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.

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

### 3.7 EFFETTI DI SITO – MICROZONAZIONE SISMICA

Dalla consultazione dello Studio di Microzonazione Sismica del Comune di Sassuolo, 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”.

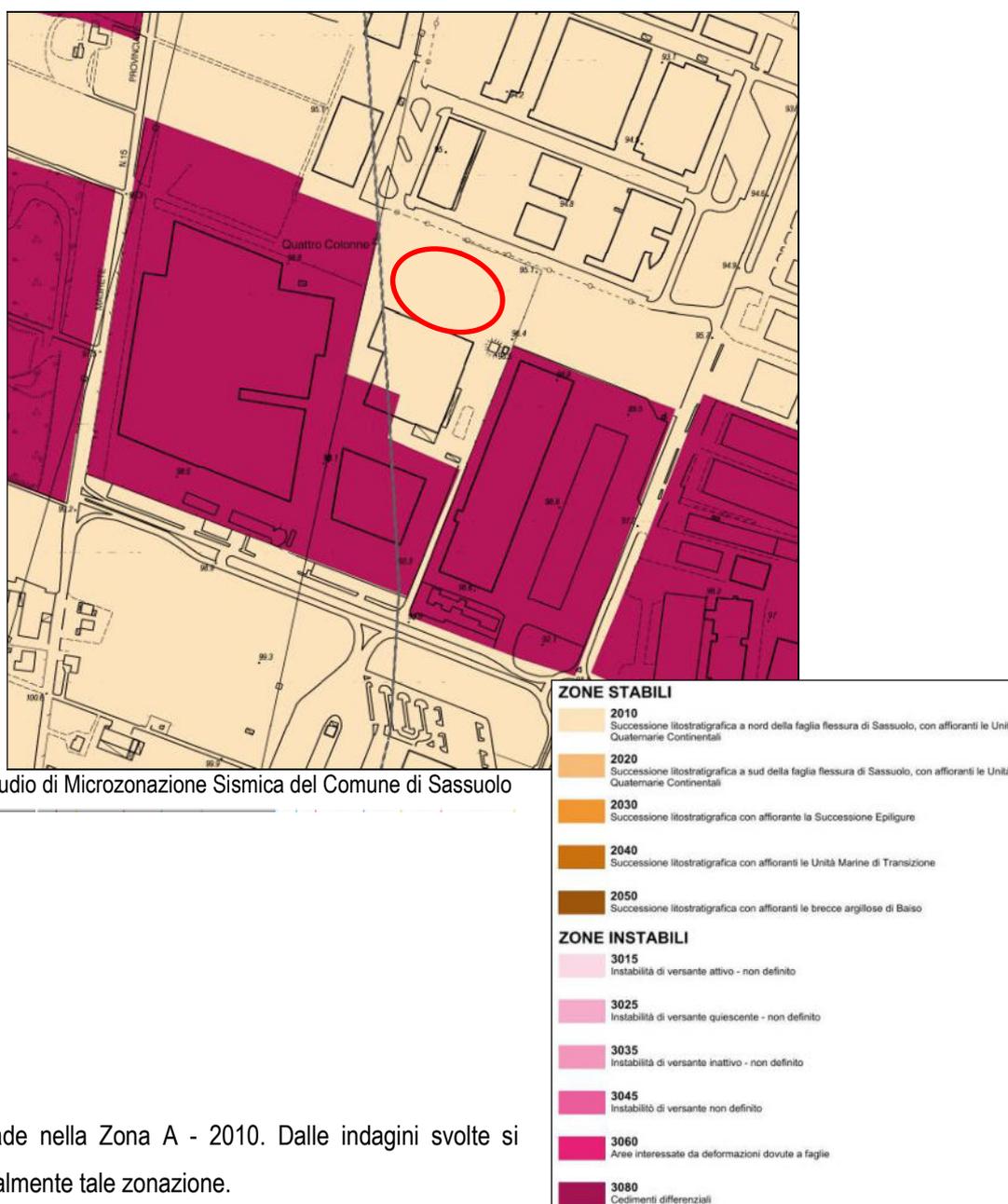


Figura 11 - Tratta da “Studio di Microzonazione Sismica del Comune di Sassuolo

L'area in oggetto ricade nella Zona A - 2010. 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      - - - Masw      ★ Hvsr



Prova penetrometrica n° 1.



Prova penetrometrica n° 2.



Prova penetrometrica n° 3.

#### 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 cm <sup>2</sup>
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

Per le prove dinamiche, 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/cm<sup>2</sup>). 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 la prova (All 2):

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		PROVA 3	
0.0÷1.0 m	Terreno eterogeneo superficiale.	0.0÷1.0 m	Terreno eterogeneo superficiale.	0.0÷1.2 m	Terreno agrario e primo suolo superficiale.
1.0÷2.8 m	Limi argillosi mediamente addensati. Rpd=16.7÷45 kg/cm <sup>2</sup>	1.0÷2.8 m	Limi argillosi mediamente addensati. Rpd=25÷42 kg/cm <sup>2</sup>	1.2÷2.8 m	Limi argillosi mediamente addensati. Rpd=8÷55 kg/cm <sup>2</sup>
2.8÷3.4 m	GHIAIE in matrice limo sabbiosa. Rpd=94÷407 kg/cm <sup>2</sup>	2.8÷3.4 m	GHIAIE in matrice limo sabbiosa. Rpd=195÷430 kg/cm <sup>2</sup>	2.8÷3.4 m	GHIAIE in matrice limo sabbiosa. Rpd=350-398 kg/cm <sup>2</sup>

Rpd: resistenza dinamica alla punta con valori riferiti alla superficie della punta di perforazione (20 cm<sup>2</sup>).

Il banco di ghiaia ha determinato il rifiuto strumentale del penetrometro.

#### 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 (26/01/2021).

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.

Da fonti bibliografiche è noto che i primi livelli ghiaiosi intercettati con le prove difficilmente possano essere sede di una falda acquifera.

**4.2 STRATIGRAFIA POZZO DELLA STABILIMENTO SPRAY DRY**

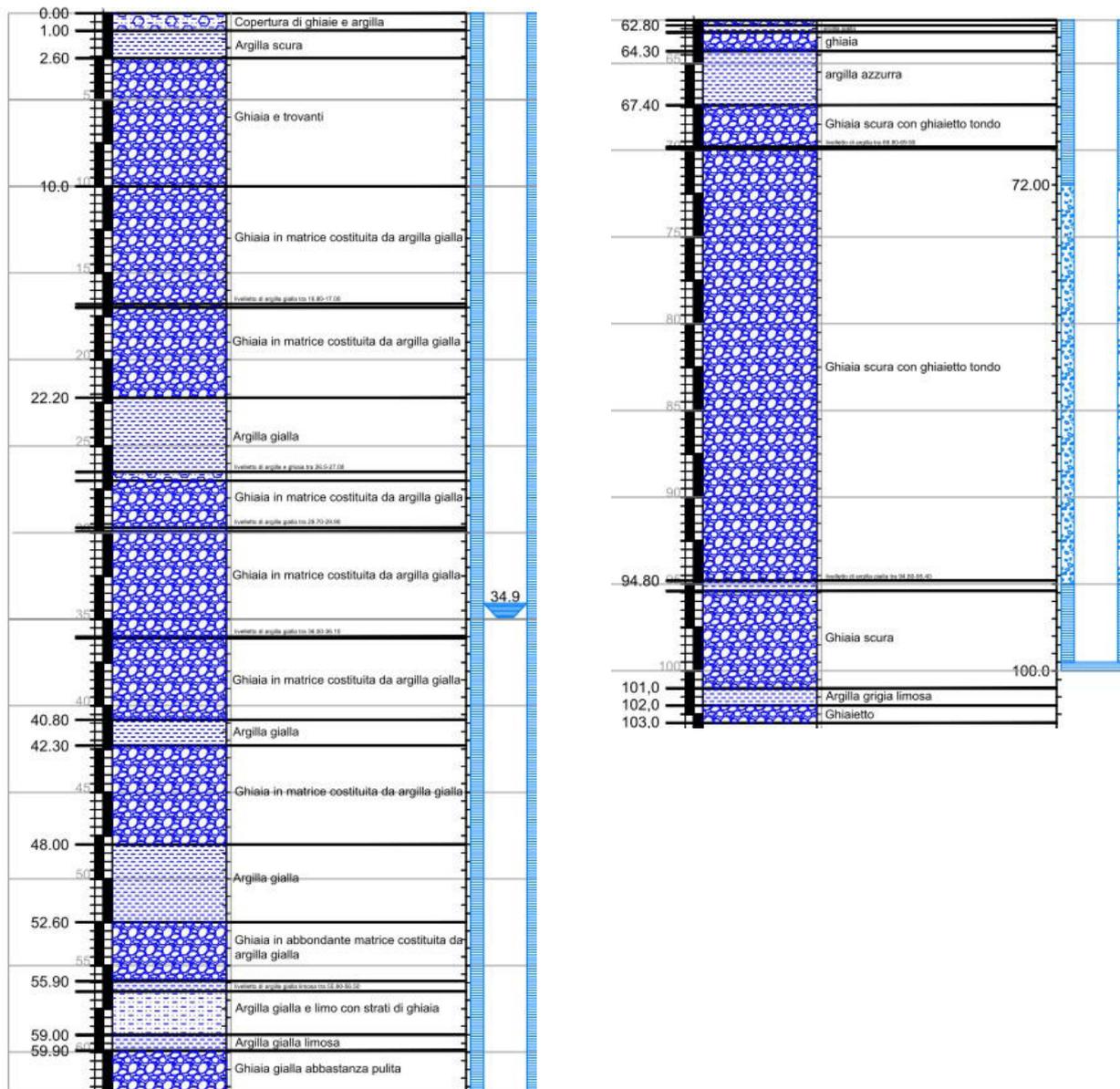
Per valutare la continuità in profondità dello strato di ghiaia è stata consultata la stratigrafia di un nuovo pozzo recentemente perforato e sito all'interno del sito in studio.

In generale questa zona della conoide del Fiume Secchia può essere assimilata ad un unico contesto geologico con buone e apprezzabili caratteristiche di uniformità e costanza in termini di sequenza lito-stratigrafica.

La consultazione della stratigrafia del pozzo per acqua ha permesso una buona validazione del modello geologico in studio.

L'approfondimento del piano d'indagini a disposizione è ritenuto quindi idoneo in quanto rileva il passaggio copertura/ghiaie, che rappresenta l'unica discordanza ed eteropia verticale significativa all'interno del volume significativo di terreno coinvolto nell'intervento edilizio in progetto.

A seguire si riportano la stratigrafia che mostra come il livello di ghiaia intercettato con le prove penetrometriche si presenta continuo fino a profondità oltre i 20 m.



### 5. TIPOLOGIA DELL' INTERVENTO

Il progetto prevede la realizzazione di un ampliamento dell'attività produttiva del fabbricato industriale esistente.  
Per i dati dimensionali di dettaglio dell'intervento si rimanda agli elaborati progettuali.

FIGURA 13 – PLANIMETRIA GENERALE DI PROGETTO (scala grafica)



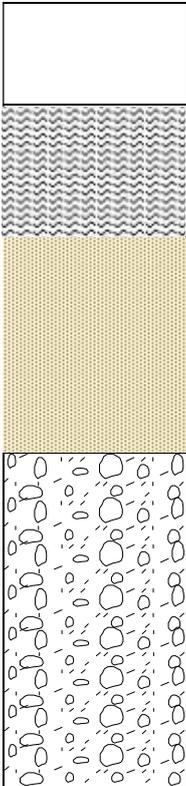
## 6. MODELLAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Le indagini svolte hanno intercettato a partire da circa -3 m di profondità uno strato di ghiaie naturali in matrice limo-sabbiosa addensate dotate di buone caratteristiche geotecniche. Al di sopra il terreno presenta una certa disomogeneità sia in senso laterale che verticale: sono presenti terreni eterogenei di riporto per uno spessore di circa 1 m passanti a limi argillosi mediamente addensati.

I parametri geotecnici di seguito riportati, rappresentativi delle litologie individuate, sono ottenuti dall'elaborazione ponderata delle prove penetrometriche dinamiche.

Di seguito viene schematizzato il modello geologico-geotecnico del terreno di fondazione, con indicati i parametri geotecnici medi.

MODELLO GEOLOGICO – GEOTECNICO

	<b>Stratigrafia</b>	<b>Parametri nominali</b>	<b>Parametri Caratteristici (plinti)</b>
0.0 m -	 Terreni eterogenei superficiali di riporto		
1.0/1.2 m -		Limi argillosi mediamente addensati $\gamma$ 1.8 t/m <sup>3</sup> Cu 70 kPa $\phi$ 23° C' 10 kPa Ed 3000 kPa	$\gamma_k$ 1.8 t/m <sup>3</sup> Cu <sub>k</sub> 49.3 kPa $\phi_k$ 19.2° C' <sub>k</sub> 6.1 kPa Ed <sub>k</sub> 2506 kPa
> 2.8/3 m -	<b>Falda assente</b> GHIAIA in matrice limo sabbiosa addensata	$\gamma$ 2.0 t/m <sup>3</sup> $\phi$ 38° Mo 50.000 kPa	$\gamma$ 2.0 t/m <sup>3</sup> $\phi$ 31.7° Mo 42000 kPa

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

È opportuno tener presente che la profondità delle ghiaie naturali potrebbe variare a seconda della presenza di scavi passati non individuati dall'indagine condotta.

## 7. PROPOSTA DI TIPOLOGIA DI FONDAZIONE E PROFONDITA' DEL PIANO DI POSA

Quanto riportato in questo capitolo è una proposta che fa seguito alla modellazione geologica del sito; rimane in capo allo strutturista l'individuazione della scelta progettuale definitiva.

Dalle verifiche eseguite, per l'intervento in progetto è possibile indicare come idoneo **l'utilizzo di fondazioni superficiali tipo plinto o trave rovescia**, con incastro ideale a quote intorno ai -3 m sul banco di ghiaia naturale presente e dotato di ottime caratteristiche geotecniche.

In alternativa è possibile anche una quota di appoggio superiore intorno ai -2 m sui limi argillosi mediamente addensati, tenendo in considerazione le minori caratteristiche resistive e le eterogeneità laterali riscontrate con le indagini.

## 8. VERIFICHE GEOTECNICHE - VERIFICHE DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI

### 8.1 PARAMETRI GEOTECNICI NOMINALI E CARATTERISTICI

Si ipotizzano quindi due profondità di posa:

Profondità Piano di posa fondazioni	Terreno	Parametri caratteristici
-2 m	Limi argillosi	$\gamma_k$ 1.8 t/m <sup>3</sup> C <sub>u</sub> k 49.3 kPa $\phi_k$ 19.2° C' <sub>k</sub> 6.1 kPa E <sub>d</sub> k 2506 kPa K <sub>s</sub> = 1.5 kg/cm <sup>3</sup>
-3 m (ideale)	Ghiaie	$\gamma$ 2.0 t/m <sup>3</sup> $\phi$ 31.7° M <sub>o</sub> 42000 kPa K <sub>s</sub> = 6 kg/cm <sup>3</sup>

Legenda:  $\gamma$  peso di volume;  $\phi$  angolo d'attrito; C' coesione efficace; C<sub>u</sub> coesione non drenata; E<sub>d</sub> modulo edometrico; M<sub>o</sub> modulo confinato  
K<sub>s</sub> coeff. di Winkler

## 8.2 VERIFICHE CAPACITÀ PORTANTE DEL TERRENO AGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU) E SLV - GEO

In questo capitolo viene svolta una verifica della capacità portante limite del terreno di fondazione con sisma e in condizioni statiche per fondazione superficiale.

Si prevede una tipologia di fondazione tipo plinto con quota di posa media a circa -2 m dal piano di calpestio attuale.

Le verifiche vengono condotte con la seguente metodologia e con i seguenti parametri:

### FONDAZIONE A PLINTO

- metodo	Hansen (1970), come illustrato da Bowles (1991)
- meccanismi di stato	cond. a breve e a lungo termine.
- coefficienti parziali	(NTC 2018 – Tab 6.2.II)
- approccio	approccio 2
- tipo fondazione	plinto
- profondità d'imposta	-2/3 m
- ag	0.163 (Cu=1)
- Ss	1.20 (suolo B)
- St	1.0

L'elaborazione fornisce i seguenti risultati della capacità portante.

### PIANO DI POSA -3 m sulle ghiaie

#### CAPACITÀ PORTANTE – SLV (SISMA) - Ver. lungo termine ( $\phi, c$ )

Piano di posa	Approccio	Combinazione	Coeff. rid. cap. port.	Resistenza Limite Rd (Kpa)	Resistenza di progetto Rd (Kpa)
-3 m ghiaie	2	(A1+M1+R3)	2.3	469	204

#### CAPACITÀ PORTANTE – SLU (COND. STATICHE) - Ver. lungo termine ( $\phi, c$ )

Piano di posa	Approccio	Combinazione	Coeff. rid. cap. port.	Resistenza Limite Rd (Kpa)	Resistenza di progetto Rd (Kpa)
-3 m ghiaie	2	(A1+M1+R3)	2.3	1194	464

**PIANO DI POSA -2 m sui limi argillosi****CAPACITÀ PORTANTE – SLV (SISMA) - Ver. breve termine (Cu)**

Piano di posa	Approccio	Combinazione	Coeff. rid. cap. port.	Resistenza Limite Rd (Kpa)	Resistenza di progetto Rd (Kpa)
<b>-2 m Limi argillosi</b>	2	(A1+M1+R3)	2.3	278	121

**CAPACITÀ PORTANTE – SLU (COND. STATICHE) - Ver. breve termine (Cu)**

Piano di posa	Approccio	Combinazione	Coeff. rid. cap. port.	Resistenza Limite Rd (Kpa)	Resistenza di progetto Rd (Kpa)
<b>-3 m Limi argillosi</b>	2	(A1+M1+R3)	2.3	311	135

**CAPACITÀ PORTANTE – SLV (SISMA) - Ver. lungo termine ( $\phi, c$ )**

Piano di posa	Approccio	Combinazione	Coeff. rid. cap. port.	Resistenza Limite Rd (Kpa)	Resistenza di progetto Rd (Kpa)
<b>-2 m Limi argillosi</b>	2	(A1+M1+R3)	2.3	252	109

**CAPACITÀ PORTANTE – SLU (COND. STATICHE) - Ver. lungo termine ( $\phi, c$ )**

Piano di posa	Approccio	Combinazione	Coeff. rid. cap. port.	Resistenza Limite Rd (Kpa)	Resistenza di progetto Rd (Kpa)
<b>-3 m Limi argillosi</b>	2	(A1+M1+R3)	2.3	621	270

In sintesi, dalle verifiche geotecniche risultano quindi valori minimi di capacità portante di progetto pari a:

APPOGGIO SULLE GHIAIE – 3 m

Rd=204 Kpa (2.04 kg/cm<sup>2</sup>) - SLV (sisma)

Rd=464 Kpa (4.64 kg/cm<sup>2</sup>) - SLU (cond. statiche).

APPOGGIO SUI LIMI ARGILLOSI – 2 m

Rd=109 Kpa (1.1 kg/cm<sup>2</sup>) - SLV (sisma)

Rd=135 Kpa (1.35 kg/cm<sup>2</sup>) - SLU (cond. statiche).

## 9. CONSIDERAZIONI FINALI

Nell'area in studio (Fig. 1-2), è stato eseguito uno studio volto alla ricostruzione degli aspetti geologici dell'area connessi con la realizzazione di un ampliamento dell'attività produttiva del fabbricato industriale esistente presso lo stabilimento Spray Dry in Via Emilia Romagna a Sassuolo (Mo).

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

- le indagini svolte hanno intercettato a partire da circa -3 m di profondità uno strato di ghiaie naturali in matrice limo-sabbiosa addensate dotate di buone caratteristiche geotecniche. Al di sopra il terreno presenta una certa disomogeneità sia in senso laterale che verticale: sono presenti terreni eterogenei di riporto per uno spessore di circa 1 m passanti a limi argillosi mediamente addensati.
- L'approfondimento del piano d'indagini è ritenuto idoneo in quanto rileva il passaggio copertura/ghiaie, che rappresenta l'unica discordanza ed eteropia verticale significativa all'interno del volume significativo di terreno coinvolto nell'intervento edilizio in progetto. La stratigrafia del nuovo pozzo recentemente perforato mostra come il livello di ghiaia intercettato con le prove penetrometriche si presenti continuo fino a profondità oltre i 20 m.
- 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.
- La caratterizzazione sismica dell'area ha permesso di classificare il suolo di fondazione come categoria B.
- 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  $a_g = 0.163$  ( $C_u=1.0$ ).
- Allo stato limite ultimo (SLV) l'ampl. stratigrafica  $S_s=1.20$ , l'ampl. topografica  $S_t=1$ .

Dalle verifiche eseguite, per l'intervento in progetto è possibile indicare come idoneo l'utilizzo di fondazioni superficiali tipo plinto o trave rovescia, con incastro ideale a quote intorno ai -3 m sul banco di ghiaia naturale presente e dotato di ottime caratteristiche geotecniche.

In alternativa è possibile anche una quota di appoggio superiore intorno ai -2 m sui limi argillosi mediamente addensati, tenendo in considerazione le minori caratteristiche resistive e le eterogeneità laterali riscontrate con le indagini.

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

Dott. Geol. Marco Santi Bortolotti



ALLEGATO - 1 -

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

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

Località: Via Emilia Romagna - Sassuolo (Mo)

Comm.za Spray Dry Spa

Quota: -

1

Data: 26/01/2021

TABELLA DATI

Prof. (m)	N° Colpi (n°)	Nspt (n°)	Terreno coesivo		Terreno granulare		Olandesi	Parametri Geotecnici - Valori medi					N° asta	falda	descrizione litologica interpretativa	STRATIGRAFIA	
			Cu (t/mq)	Ed (t/mq)	φ° (°)	Mo (t/mq)	Rpd (kg/cmq)	Nspt n°	γ (t/mc)	Cum (t/mq)	φ°m (°)	C' (t/mq)					Ed (t/mq)
		n° colpi SPT	coesione non drenata	modulo edometrico	angolo d'attrito	modulo confinato	Res. Din. alla punta							100cm			
0.0	0						0.0							1	-		
0.2	1	1.5	2.9	90.2	19.7	106.8	9.7							1	-	Terreni eterogenei superficiali	
0.4	4	6.0	11.6	361.0	24.5	427.1	38.9	9.9	1.9	18.3	27	3.1	596	1	-		
0.6	8	12.0	23.3	721.9	28.4	854.3	77.7							1	-		
0.8	12	18.0	32.3	1082.9	31.5	1281.4	107.9							2	-		
1.0	8	12.0	21.5	721.9	28.4	854.3	71.9							2	-		
1.2	5	7.5	13.4	451.2	25.6	533.9	44.9							2	-	Limi argillosi mediamente addensati	
1.4	4	6.0	10.7	361.0	24.5	427.1	36.0							2	-		
1.6	3	4.5	7.9	270.7	23.2	320.4	27.0							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	5.2	1.8	8.6	24	1.4	311	3	-		
2.2	3	4.5	7.3	270.7	23.2	320.4	25.1							3	-		
2.4	4	6.0	9.8	361.0	24.5	427.1	33.5							3	-		
2.6	4	6.0	9.8	361.0	24.5	427.1	33.5							3	-		
2.8	3	4.5	6.8	270.7	23.2	320.4	23.5							4	-		
3.0	12	18.0	27.9	1082.9	31.5	1281.4	93.8							4	-	GHIAIE in matrice limo sabbiosa	
3.2	52	78.2	121.7	4692.5	44.4	5552.8	406.6	48.1	2.0	-	38	-	2888	4	-		
3.4	RIF													4	-		
3.6		0.0	-0.3	0.0	15.0	0.0	0.0							4	-		
3.8		0.0	-0.4	0.0	15.0	0.0	0.0							5	-		
4.0		0.0	-0.4	0.0	15.0	0.0	0.0							5	-		
4.2		0.0	-0.4	0.0	15.0	0.0	0.0							5	-		
4.4		0.0	-0.4	0.0	15.0	0.0	0.0							5	-		
4.6		0.0	-0.4	0.0	15.0	0.0	0.0							5	-		
4.8		0.0	-0.5	0.0	15.0	0.0	0.0							6	-		
5.0		0.0	-0.5	0.0	15.0	0.0	0.0							6	-		
5.2		0.0	-0.5	0.0	15.0	0.0	0.0							6	-		
5.4		0.0	-0.5	0.0	15.0	0.0	0.0							6	-		
5.6		0.0	-0.5	0.0	15.0	0.0	0.0							6	-		
5.8		0.0	-0.6	0.0	15.0	0.0	0.0							7	-		
6.0		0.0	-0.6	0.0	15.0	0.0	0.0							7	-		
6.2		0.0	-0.6	0.0	15.0	0.0	0.0							7	-		
6.4		0.0	-0.6	0.0	15.0	0.0	0.0							7	-		
6.6		0.0	-0.6	0.0	15.0	0.0	0.0							7	-		
6.8		0.0	-0.6	0.0	15.0	0.0	0.0							8	-		
7.0		0.0	-0.7	0.0	15.0	0.0	0.0							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	-		

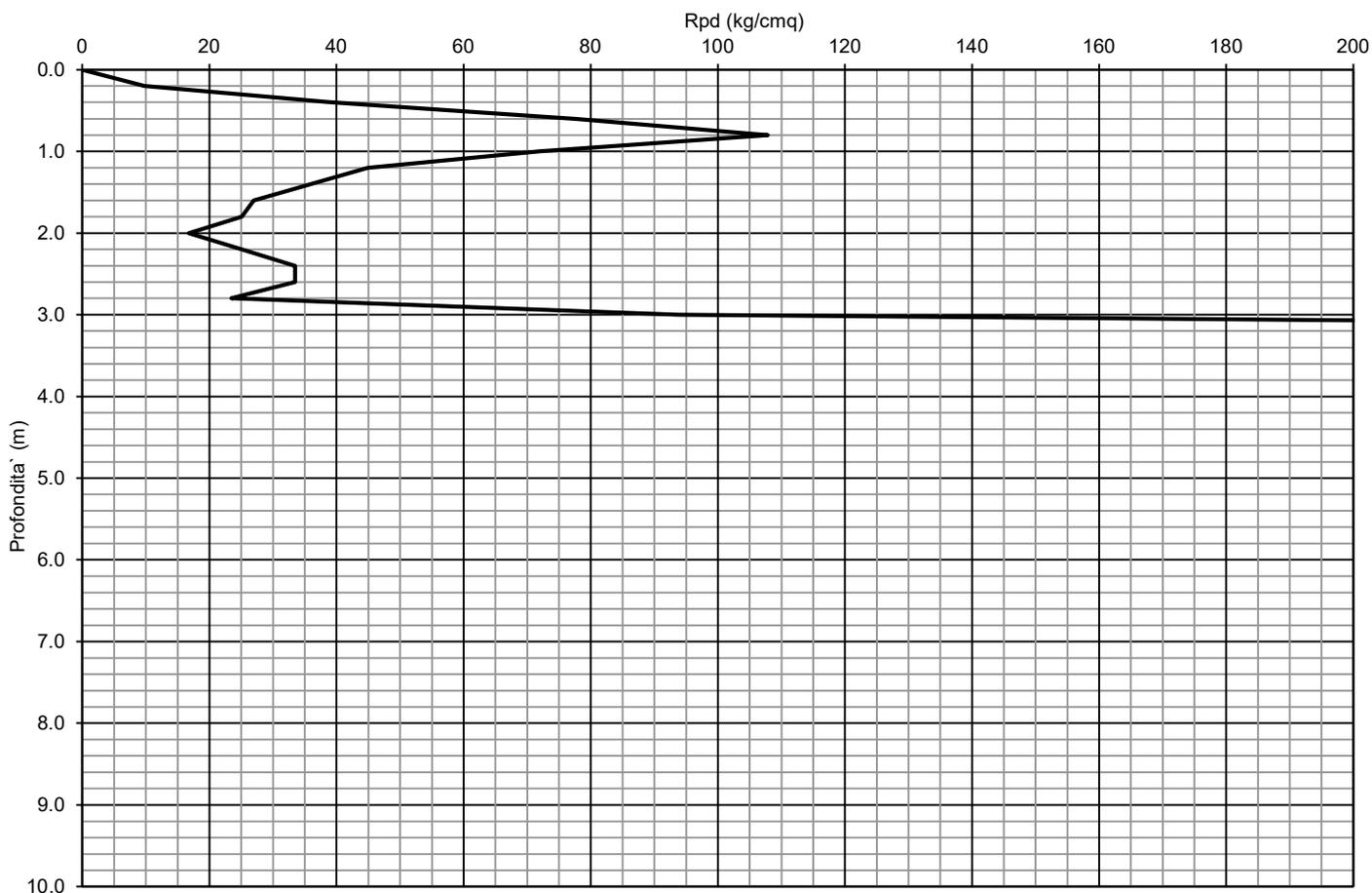
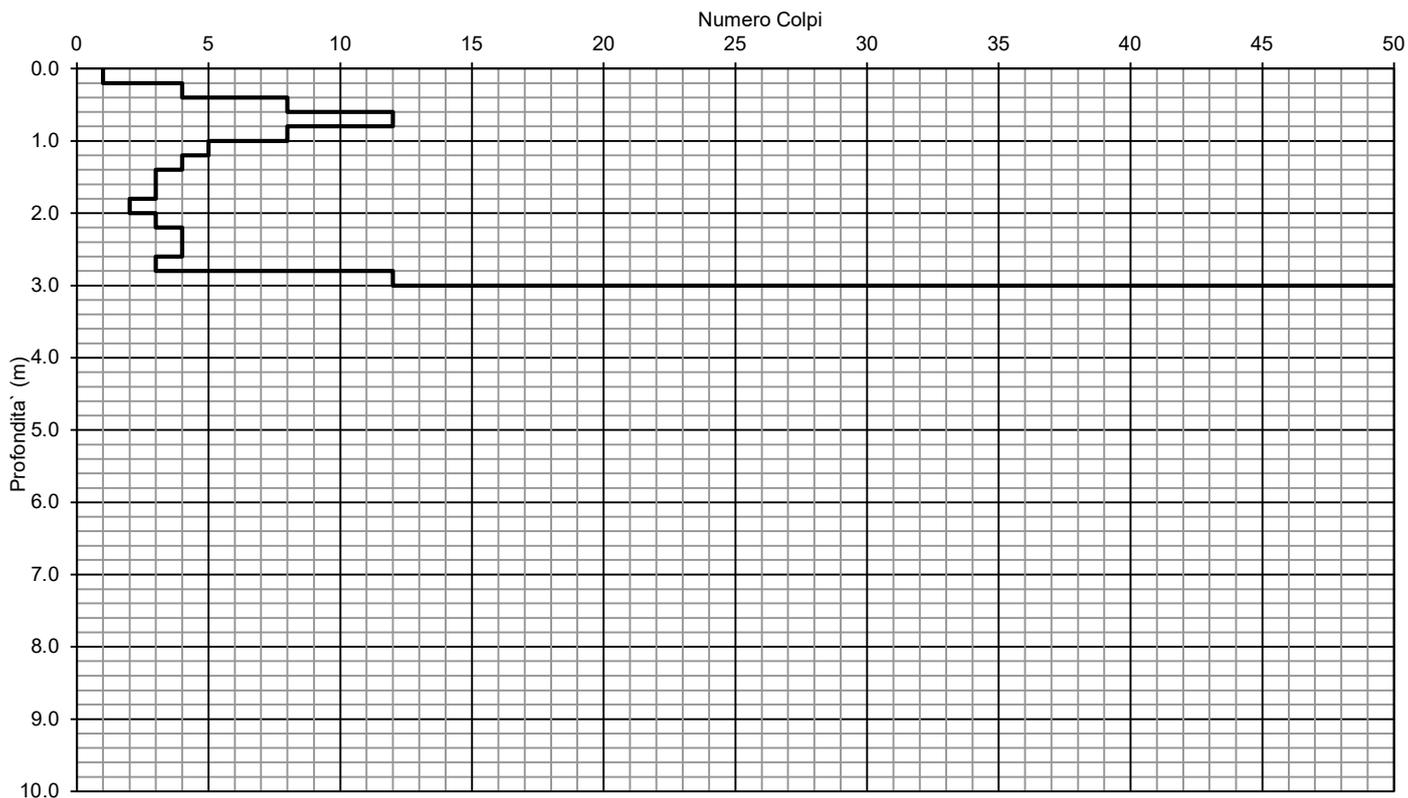
**Legenda**

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°**

Località: Via Emilia Romagna - Sassuolo (Mo)  
Comm.za Spray Dry Spa

Data: **1**  
**26/01/2021**



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

Località: Via Emilia Romagna - Sassuolo (Mo)

Comm.za Spray Dry Spa

Quota: -

2

Data: 26/01/2021

TABELLA DATI

Prof. (m)	N° Colpi (n°)	Nspt (n°)	Terreno coesivo		Terreno granulare		Olandesi	Parametri Geotecnici - Valori medi					N° asta	falda	descrizione litologica interpretativa	STRATIGRAFIA	
			Cu (t/mq)	Ed (t/mq)	φ° (°)	Mo (t/mq)	Rpd (kg/cmq)	Nspt n°	γ (t/mc)	Cum (t/mq)	φ°m (°)	C' (t/mq)					Ed (t/mq)
0.0	0						0.0						1	-	Terreni eterogenei superficiali		
0.2	5	7.5	14.6	451.2	25.6	533.9	48.6	4.8	1.9	9.1	23	1.5	289	1			-
0.4	6	9.0	17.5	541.4	26.6	640.7	58.3							1			-
0.6	2	3.0	5.8	180.5	21.7	213.6	19.4							1			-
0.8	1	1.5	2.6	90.2	19.7	106.8	9.0							2			-
1.0	2	3.0	5.3	180.5	21.7	213.6	18.0							2	-		
1.2	3	4.5	8.0	270.7	23.2	320.4	27.0	5.0	1.8	8.3	24	1.4	301	2	-	Limi argillosi mediamente addensati	
1.4	3	4.5	8.0	270.7	23.2	320.4	27.0							2	-		
1.6	4	6.0	10.6	361.0	24.5	427.1	36.0							2	-		
1.8	3	4.5	7.4	270.7	23.2	320.4	25.1							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	-		
2.6	5	7.5	12.3	451.2	25.6	533.9	41.8							3	-		
2.8	3	4.5	6.8	270.7	23.2	320.4	23.5	4	-								
3.0	25	37.6	58.4	2256.0	37.2	2669.6	195.5	60.2	2.0	-	41	-	3610	4	-	GHIAIE in matrice limo sabbiosa	
3.2	55	82.7	128.7	4963.2	44.9	5873.1	430.0							4	-		
3.4	RIF													4	-		
3.6		0.0	-0.3	0.0	15.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4	-		
3.8		0.0	-0.4	0.0	15.0	0.0	0.0							5	-		
4.0		0.0	-0.4	0.0	15.0	0.0	0.0							5	-		
4.2		0.0	-0.4	0.0	15.0	0.0	0.0							5	-		
4.4		0.0	-0.4	0.0	15.0	0.0	0.0							5	-		
4.6		0.0	-0.4	0.0	15.0	0.0	0.0							5	-		
4.8		0.0	-0.5	0.0	15.0	0.0	0.0							6	-		
5.0		0.0	-0.5	0.0	15.0	0.0	0.0							6	-		
5.2		0.0	-0.5	0.0	15.0	0.0	0.0							6	-		
5.4		0.0	-0.5	0.0	15.0	0.0	0.0							6	-		
5.6		0.0	-0.5	0.0	15.0	0.0	0.0							6	-		
5.8		0.0	-0.6	0.0	15.0	0.0	0.0							7	-		
6.0		0.0	-0.6	0.0	15.0	0.0	0.0							7	-		
6.2		0.0	-0.6	0.0	15.0	0.0	0.0							7	-		
6.4		0.0	-0.6	0.0	15.0	0.0	0.0							7	-		
6.6		0.0	-0.6	0.0	15.0	0.0	0.0							7	-		
6.8		0.0	-0.6	0.0	15.0	0.0	0.0							8	-		
7.0		0.0	-0.7	0.0	15.0	0.0	0.0							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	-								

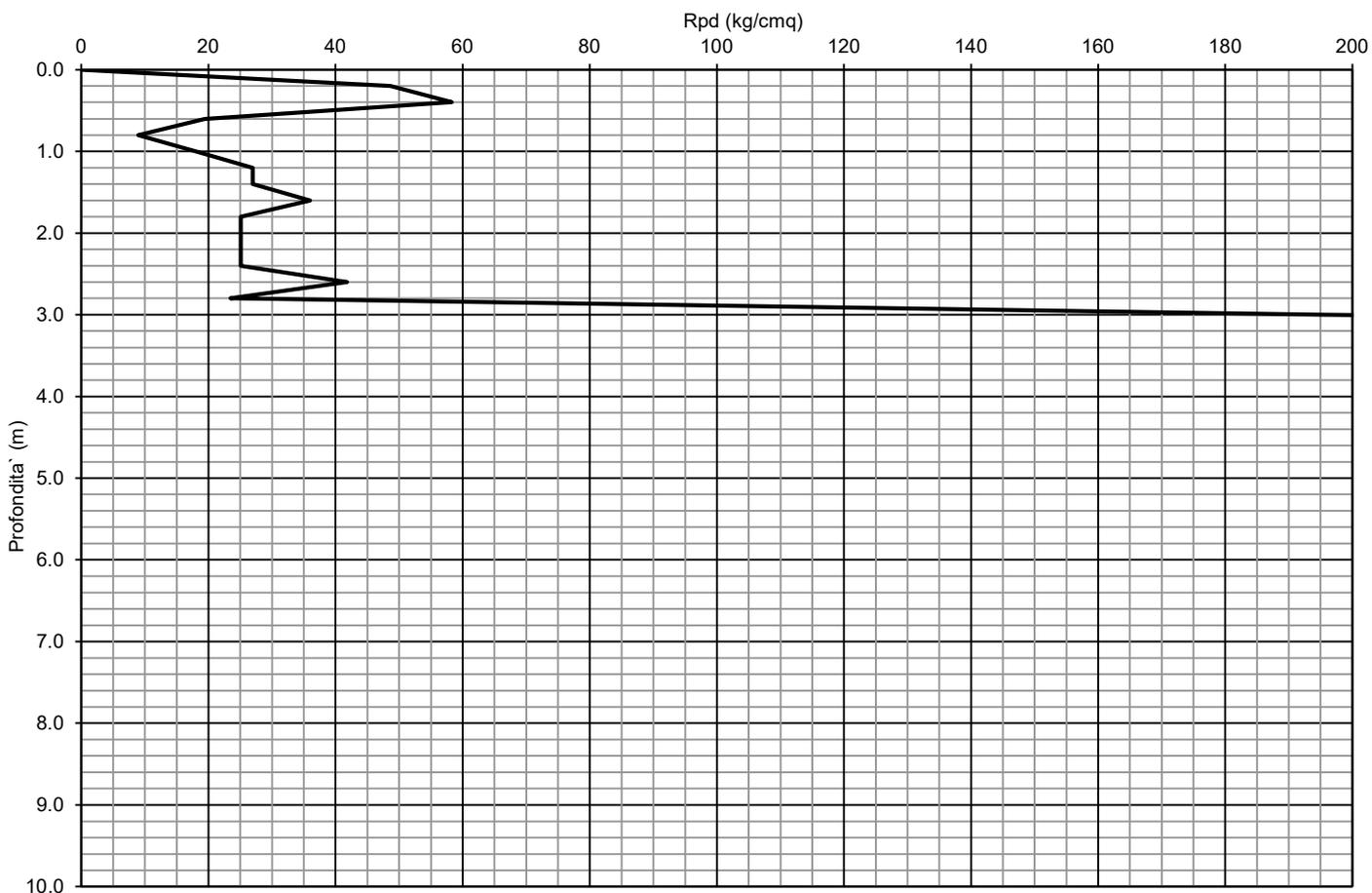
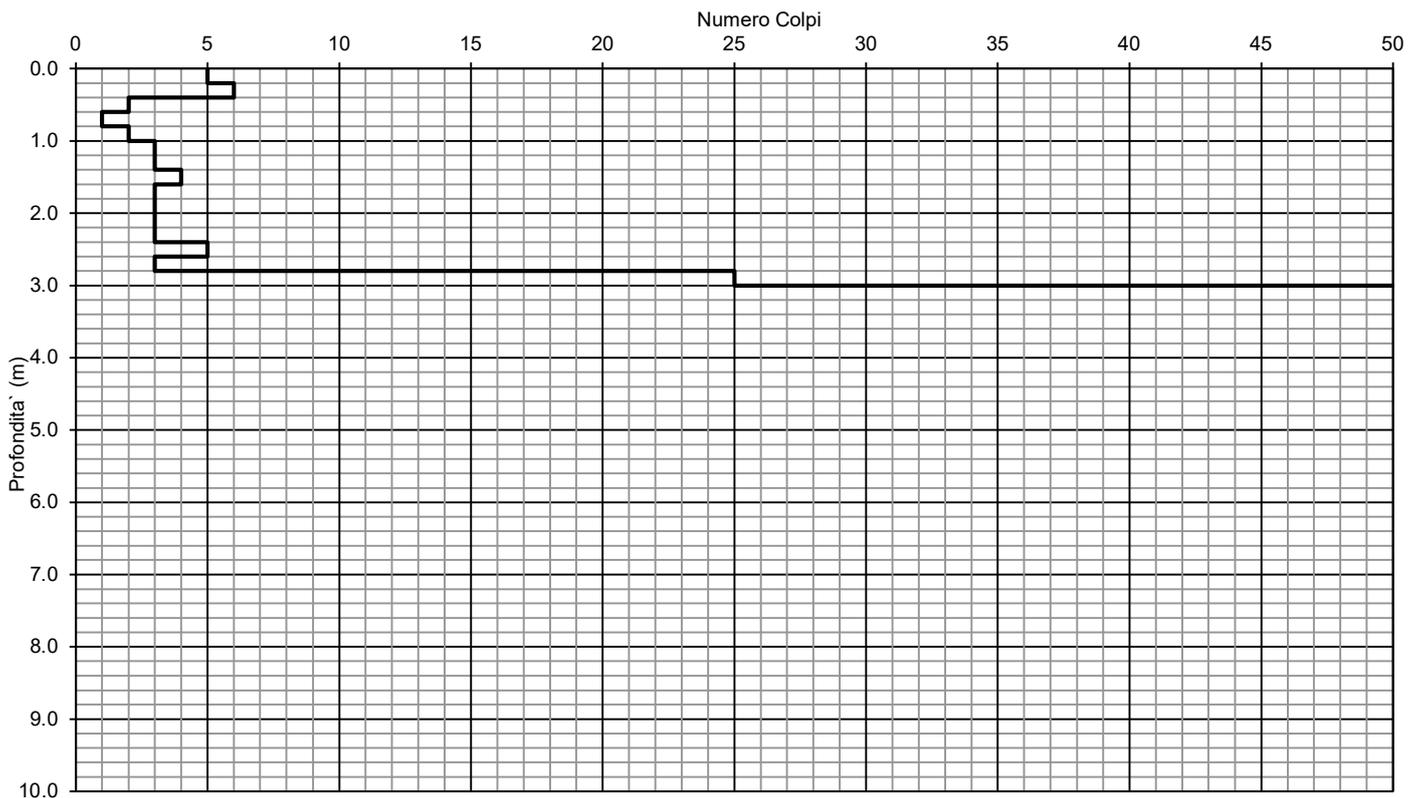
**Legenda**

- 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°**

Localita': Via Emilia Romagna - Sassuolo (Mo)  
Comm.za Spray Dry Spa

Data: **2**  
**26/01/2021**



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

Località: Via Emilia Romagna - Sassuolo (Mo)

Comm.za Spray Dry Spa

Quota: -

3

Data: 26/01/2021

TABELLA DATI

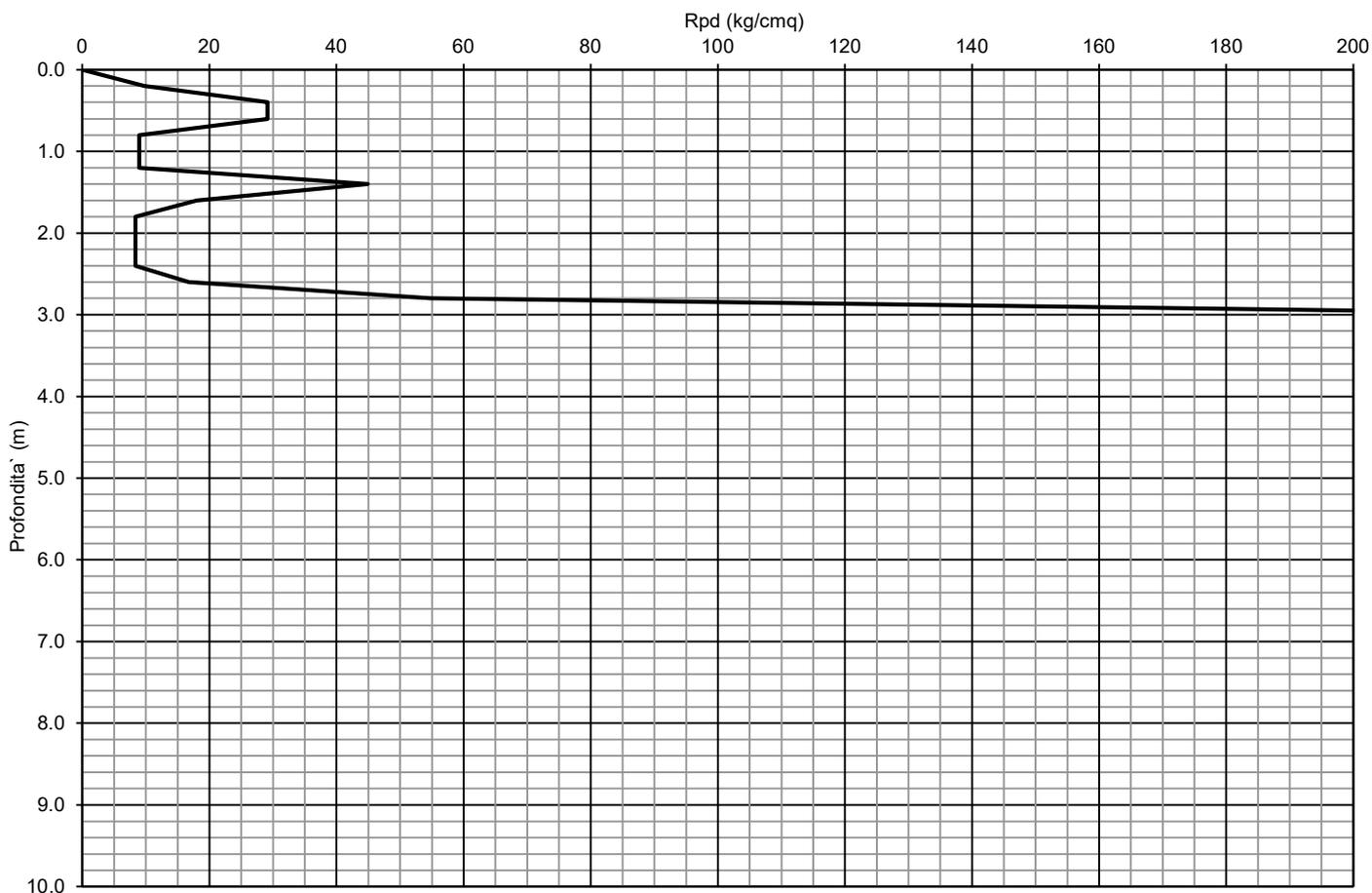
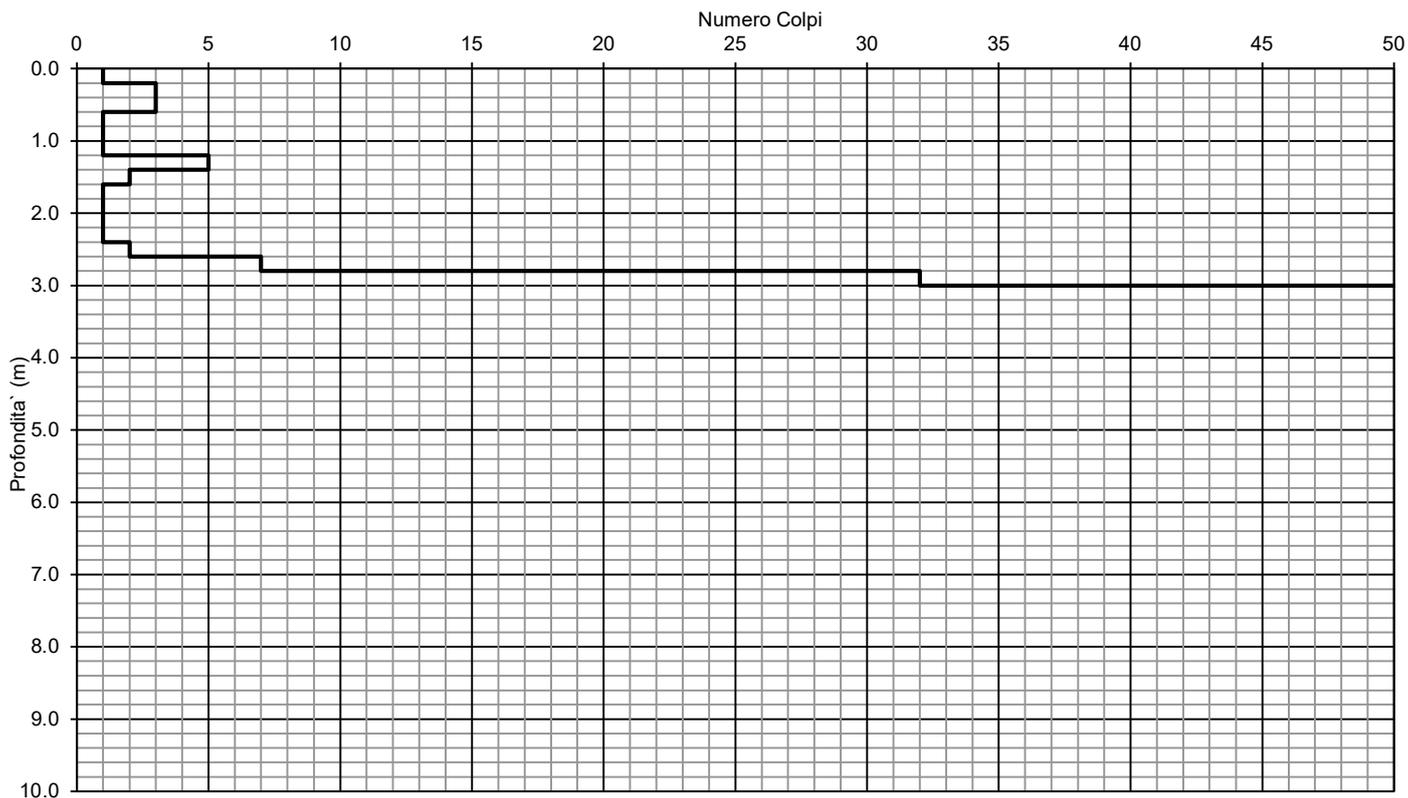
Prof. (m)	N° Colpi (n°)	Nspt (n° colpi SPT)	Terreno coesivo		Terreno granulare		Olandesi	Parametri Geotecnici - Valori medi					N° asta	falda	descrizione litologica interpretativa	STRATIGRAFIA	
			Cu (t/mq)	Ed (t/mq)	φ° (°)	Mo (t/mq)	Rpd (kg/cmq)	Nspt n°	γ (t/mc)	Cum (t/mq)	φ°m (°)	C' (t/mq)	Ed (t/mq)	100cm			≈≈≈
0.0	0						0.0							1	-		
0.2	1	1.5	2.9	90.2	19.7	106.8	9.7							1	-	Terreno agrario e primo suolo superficiale	
0.4	3	4.5	8.7	270.7	23.2	320.4	29.2	2.5	1.8	4.7	21	0.8	150	1	-		
0.6	3	4.5	8.7	270.7	23.2	320.4	29.2							1	-		
0.8	1	1.5	2.6	90.2	19.7	106.8	9.0							2	-		
1.0	1	1.5	2.6	90.2	19.7	106.8	9.0							2	-		
1.2	1	1.5	2.6	90.2	19.7	106.8	9.0							2	-		
1.4	5	7.5	13.4	451.2	25.6	533.9	44.9							2	-	Limi argillosi mediamente addensati	
1.6	2	3.0	5.2	180.5	21.7	213.6	18.0							2	-		
1.8	1	1.5	2.3	90.2	19.7	106.8	8.4	3.8	1.8	6.1	22	1.0	226	3	-		
2.0	1	1.5	2.3	90.2	19.7	106.8	8.4							3	-		
2.2	1	1.5	2.3	90.2	19.7	106.8	8.4							3	-		
2.4	1	1.5	2.3	90.2	19.7	106.8	8.4							3	-		
2.6	2	3.0	4.8	180.5	21.7	213.6	16.7							3	-		
2.8	7	10.5	16.2	631.7	27.6	747.5	54.7							4	-		
3.0	32	48.1	74.8	2887.7	39.5	3417.1	250.2							4	-	GHIAIE in matrice limo sabbiosa	
3.2	51	76.7	119.3	4602.2	44.3	5446.0	398.7	62.4	2.0	-	42	-	3745	4	-		
3.4	RIF													4	-		
3.6		0.0	-0.3	0.0	15.0	0.0	0.0							4	-		
3.8		0.0	-0.4	0.0	15.0	0.0	0.0							5	-		
4.0		0.0	-0.4	0.0	15.0	0.0	0.0							5	-		
4.2		0.0	-0.4	0.0	15.0	0.0	0.0							5	-		
4.4		0.0	-0.4	0.0	15.0	0.0	0.0							5	-		
4.6		0.0	-0.4	0.0	15.0	0.0	0.0							5	-		
4.8		0.0	-0.5	0.0	15.0	0.0	0.0							6	-		
5.0		0.0	-0.5	0.0	15.0	0.0	0.0							6	-		
5.2		0.0	-0.5	0.0	15.0	0.0	0.0							6	-		
5.4		0.0	-0.5	0.0	15.0	0.0	0.0							6	-		
5.6		0.0	-0.5	0.0	15.0	0.0	0.0							6	-		
5.8		0.0	-0.6	0.0	15.0	0.0	0.0							7	-		
6.0		0.0	-0.6	0.0	15.0	0.0	0.0							7	-		
6.2		0.0	-0.6	0.0	15.0	0.0	0.0							7	-		
6.4		0.0	-0.6	0.0	15.0	0.0	0.0							7	-		
6.6		0.0	-0.6	0.0	15.0	0.0	0.0							7	-		
6.8		0.0	-0.6	0.0	15.0	0.0	0.0							8	-		
7.0		0.0	-0.7	0.0	15.0	0.0	0.0							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°**

Localita': Via Emilia Romagna - Sassuolo (Mo)  
Comm.za Spray Dry Spa

Data: **3**  
**26/01/2021**



ALLEGATO - 2 -

INDAGINE GEOFISICA - MASW

## PROSPEZIONE SISMICA DI SUPERFICIE MASW

Committente: Spray Dry Spa  
Località: Via Emilia Romagna n. 15 - Sassuolo (Mo)  
Data prova: 26/01/2021

### **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
- Software 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:

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

$h_i$  = spessore dello strato i-esimo

$V_{S,i}$  = velocità delle onde di taglio nello strato i-esimo

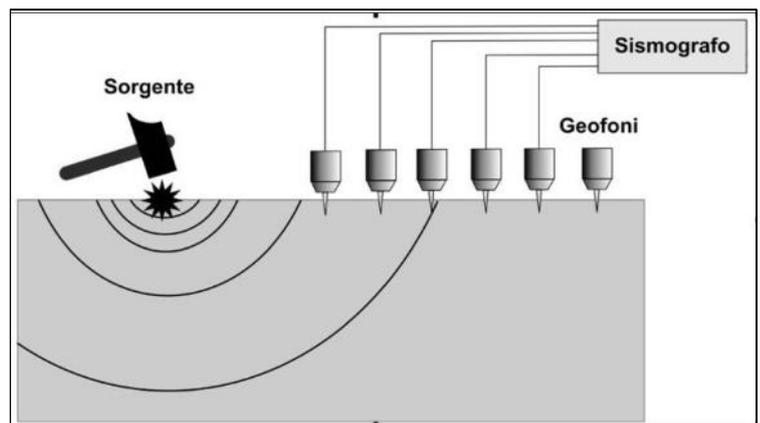
N = numero strati considerati

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

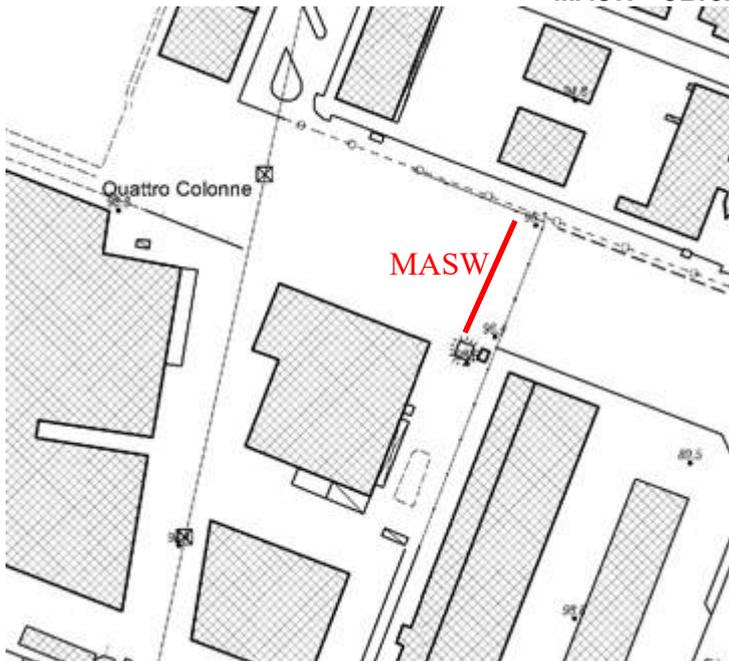
### **Metodologia ed elaborazione d'indagine**

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.

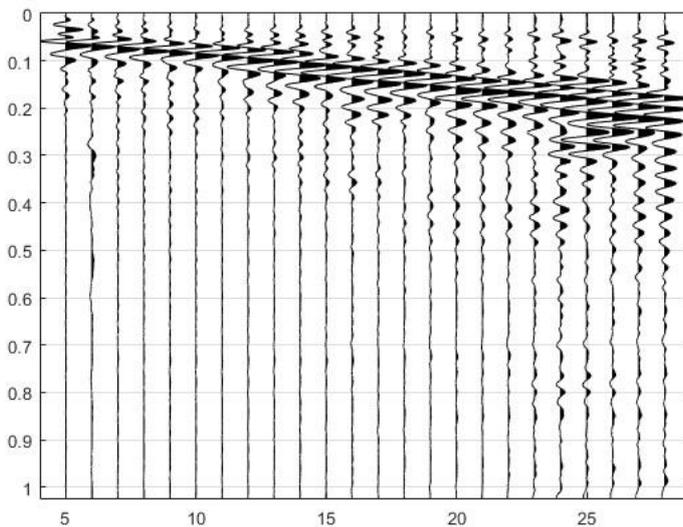


## MASW - UBICAZIONE

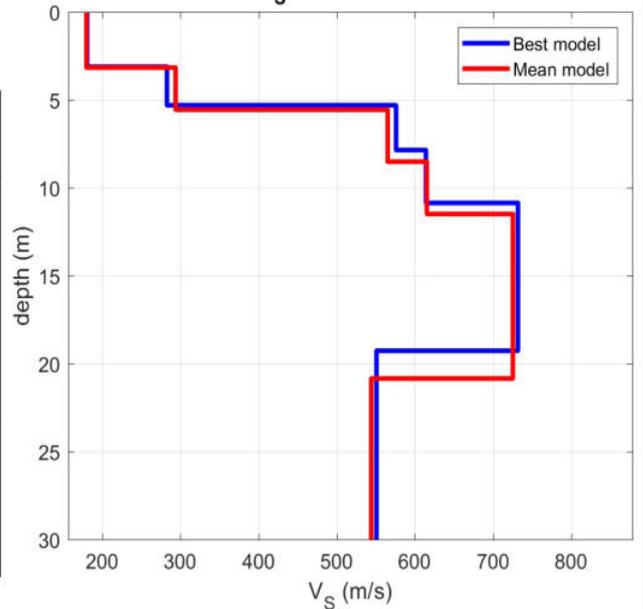


## Sismogramma e modelli del profilo di velocità

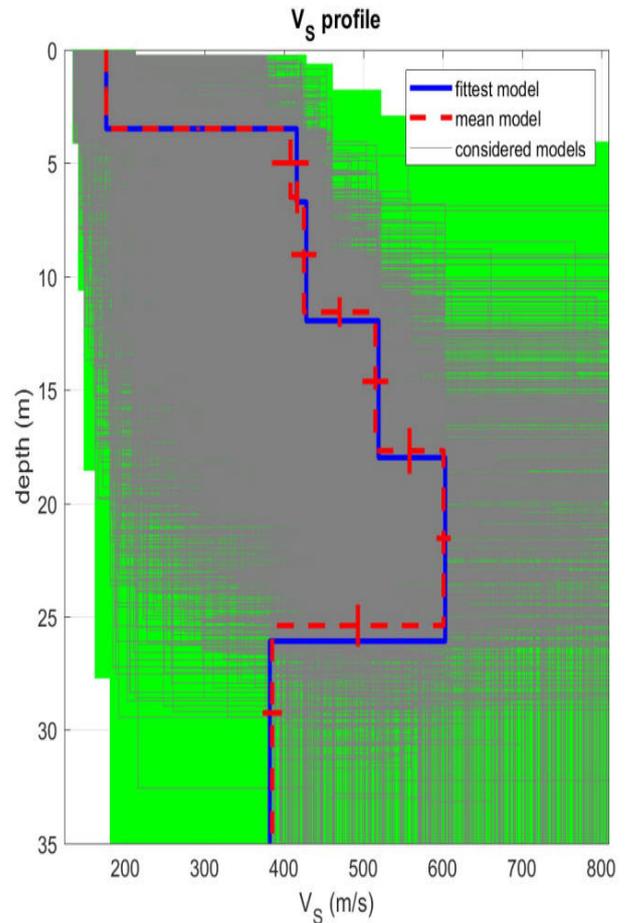
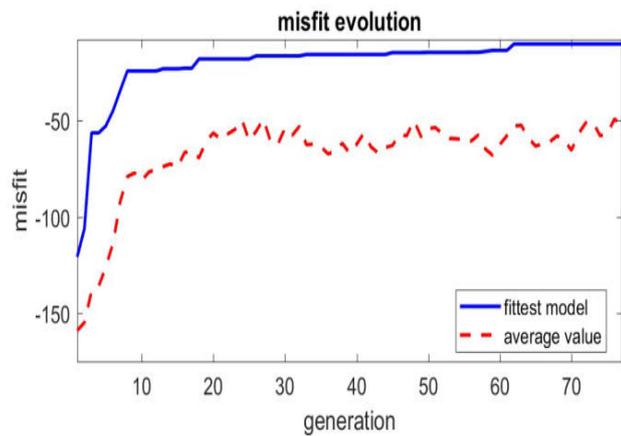
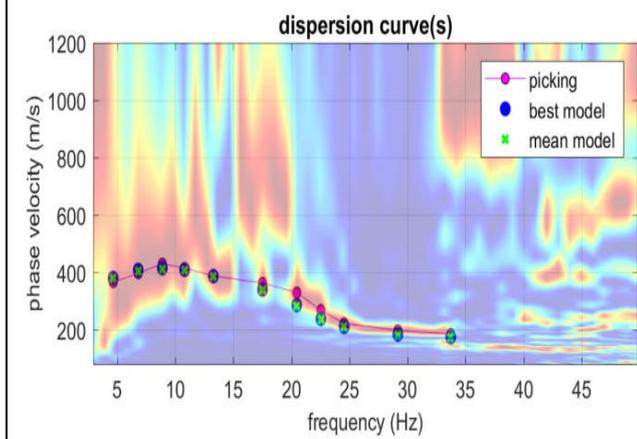
dataset: vpia-1m-5m-20#1.DAT  
sampling: 0.125 ms  
minimum offset: 5 m  
geophone spacing: 1 m



### $V_s$ vertical profile



## MASW



### MASW

Profondità (m)		Spessore (m)	Vs
da	a	(m)	(m/s)
0.0	3.5	3.5	176
3.5	6.7	3.2	416
6.7	11.9	5.2	428
11.9	17.9	6.0	519
17.9	26.0	8.1	603
26.0			382

$$V_{seq} = V_{s30} = 400 \text{ m/s}$$

### CATEGORIA DI SUOLO: B (NTC18)

Rocce tenere e depositi 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 equivalentemente compresi tra 360 m/s e 800 m/s

ALLEGATO - 3 -

INDAGINE GEOFISICA - HVSR

## INDAGINE SISMICA - HVSR

Instrument: TRZ-0162/01-11

Start recording: 26/01/2021 9:23:18 End recording: 26/01/2021 9:43:18

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 65% trace (manual window selection)

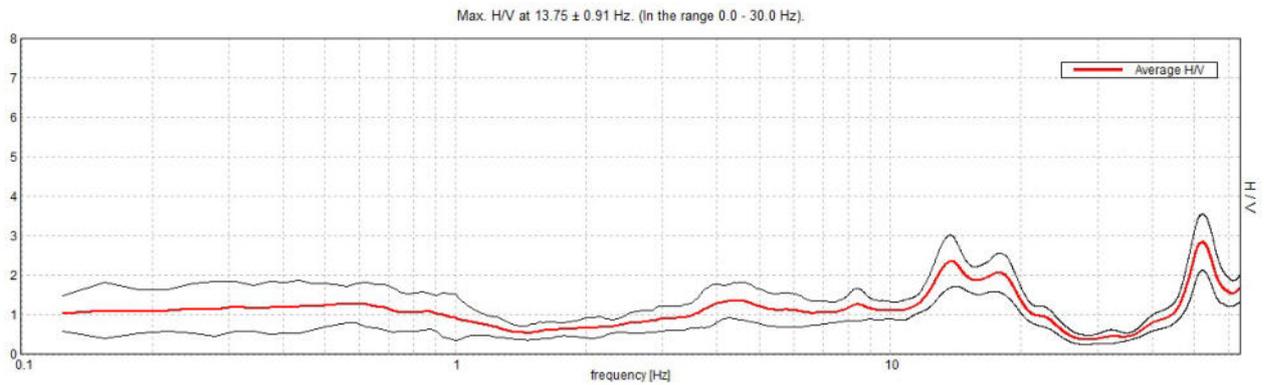
Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

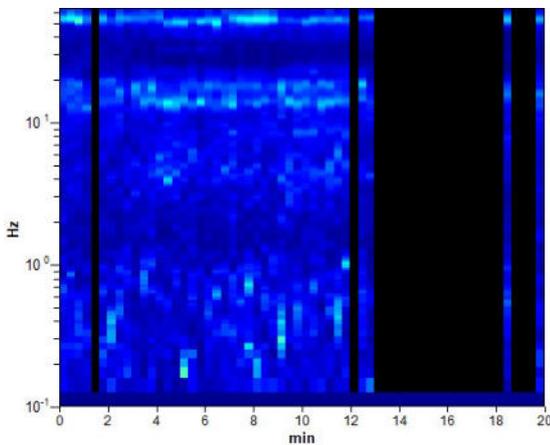
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

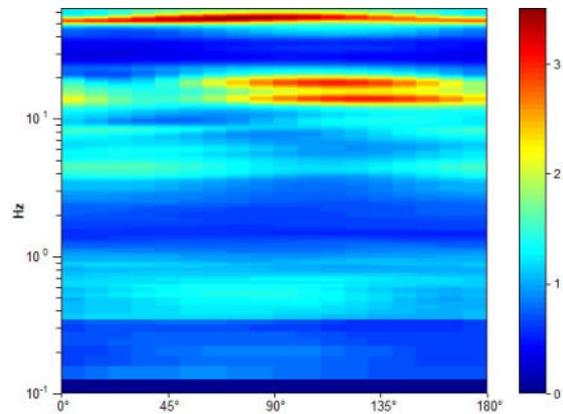
### HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



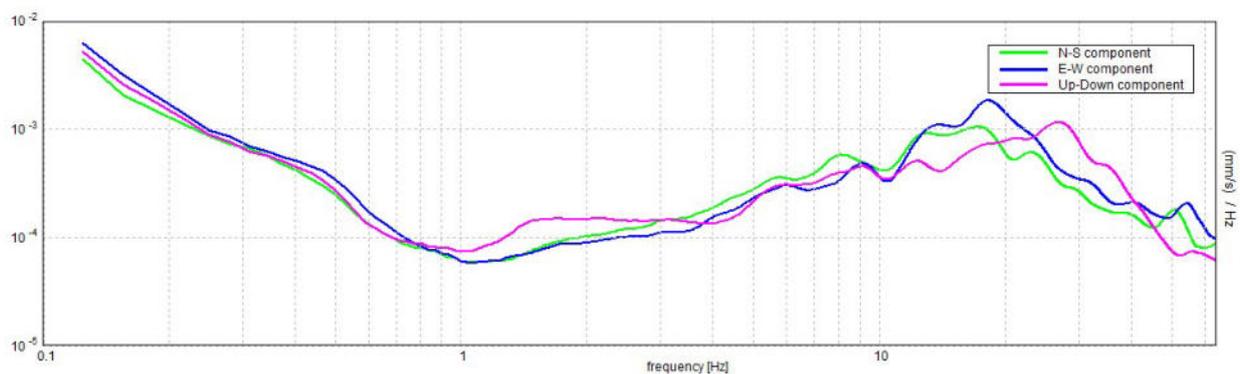
### H/V TIME HISTORY



### 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 13.75 ± 0.91 Hz (in the range 0.0 - 30.0 Hz).**

**Criteria for a reliable H/V curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	13.75 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	10725.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 661 times	OK	

**Criteria for a clear H/V peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	11.125 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	20.563 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.36 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.03239  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.44541 < 0.6875	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.3251 < 1.58	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
$\sigma_{\log H/V}(f)$	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 $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20