



COMUNE DI
BIBBIANO

PROVINCIA DI REGGIO EMILIA

**POC STRALCIO PER L'ATTUAZIONE
DELL'AMBITO "AIR 5"**

art. 30 L.R. 20/2000 – art. 4 – comma 4 lettera a)

L.U.R. 24/2017

RELAZIONE GEOLOGICO - SISMICA

Responsabile del progetto :

Arch. Aldo Caiti

Dott.Geol. Antonio Infante

Gruppo di lavoro Centro Coop. di Progettazione :

Ing. Simone Caiti

Arch. Giorgio Paterlini

Rag. Davide Rombi

Dicembre 2021
Prat 4728

Regione: EMILIA ROMAGNA

Provincia: REGGIO EMILIA

Comune: BIBBIANO

Via: SAN GIOVANNI BOSCO N.2/F

**"PROCEDURA DI MANIFESTAZIONE DI INTERESSE
FUNZIONALE ALL'ACQUISIZIONE DI PROPOSTE CIRCA LE
PREVISIONI DEL VIGENTE P.S.C. DA ATTUARE
ATTRAVERSO ACCORDI OPERATIVI INERENTI IMMOBILI
NELL'AMBITO DEL SUBCOMPARTO A DI AIR 5"**

RELAZIONE GEOLOGICO-SISMICA

- 3.2 D.M. 17/01/2018 - Relazione sulla modellazione sismica concernente la "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione;
- 6.2.1 D.M. 17/01/2018 - Relazione geologica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione geologica del sito;
- D.G.R.E.R. n.476 del 20/04/2021 - Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22-49 - L.R. n.24/2017);
- D.G.R.E.R. n.564 del 12/05/2021 - Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22-49 - L.R. n.24/2017);

COMMITTENTE

**IMMOBILIARE
VENTURI s.r.l.**

DATA

NOVEMBRE 2021

TECNICO

**GEOLOGO
ANTONIO INFANTE**



PREMESSA

Il sottoscritto Dott. Antonio Infante, registrato all'Ordine dei Geologi dell'Emilia Romagna con il n.1160 sezione A, ha ricevuto incarico dalla società Immobiliare Venturi s.r.l. di redigere una relazione geologico-sismica, comprensiva di indagini geognostiche, finalizzata ad una "procedura di manifestazione di interesse funzionale all'acquisizione di proposte circa le previsioni del vigente P.S.C. da attuare attraverso accordi operativi inerenti immobili posti in via San Giovanni Bosco n.2/F in Bibbiano (RE) costituenti una porzione dell'area ricompresa all'interno dell'A.I.R. 5 (Subcomparto A)". Gli immobili ricompresi all'interno del Subcomparto A dell'AIR 5 sono costituiti da un capannone prefabbricato in c.a.v. destinato a magazzino comunale, in disuso da una decina di anni, costruito nella seconda metà degli anni Ottanta, con le relative aree esterne di pertinenza. La superficie territoriale complessiva dell'AIR 5 ammonta a circa 10.300 m² mentre quella relativa al solo Subcomparto A, oggetto di progettazione, ammonta a circa 7.047 m².

L'oggetto del suddetto incarico è consistito in:

- Rilevamento geologico e geomorfologico di superficie;
- Esecuzione di indagini penetrometriche dinamiche pesanti e di sismica passiva a stazione singola;
- Redazione della relazione sulla modellazione sismica concernente la "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione (3.2 - D.M. 17/01/2018);
- Redazione della relazione geologica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione geologica del sito (6.2.1 - D.M. 17/01/2018);

Il presente lavoro è redatto inoltre ai sensi del D.M. LL. PP. 11/03/1988 n.47 e del D.M. 17/01/2018 (aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni) e successive modifiche ed integrazioni. Per una migliore esposizione si è ritenuto opportuno suddividerlo nei seguenti paragrafi:

PREMESSA.....	pag.1
UBICAZIONE DELL'AREA.....	pag.5
MORFOLOGIA, PEDOLOGIA E CARATTERISTICHE CLIMATICHE.....	pag.5
INQUADRAMENTO GEOLOGICO, TETTONICO E IDROGEOLOGICO.....	pag.6
SISMICITA' E RISCHIO SISMICO DELL'AREA.....	pag.7
LE INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	pag.10
CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA: PARAMETRI NOMINALI E PARAMETRI CARATTERISTICI DEL SOTTOSUOLO.....	pag.15
PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE E DI SITO SECONDO NTC2018.....	pag.16
RISPOSTA SISMICA LOCALE AI SENSI DELLE D.G.R.E.R. N.476 DEL 20/04/2021 E N.564 DEL 12/05/2021.....	pag.21
RISCHIO E VERIFICA A LIQUEFAZIONE.....	pag.34
RISCHIO IDRAULICO.....	pag.36
SUBSIDENZA.....	pag.38
CHIMISMO ACQUE DI SATURAZIONE DEL SOTTOSUOLO.....	pag.39
RISCHIO EMISSIONE GAS RADON.....	pag.40
CONCLUSIONI.....	pag.41

Allegati:

- Stralcio della carta tecnica regionale in scala 1:5.000 (figura n.1);
- Estratto di mappa catastale comunale in scala 1:2.000 (figura n.2);
- Stralcio del R.U.E. comunale in scala 1:5.000 (figura n.3);
- Stralcio della carta dei suoli della Regione Emilia Romagna derivata in scala 1:100.000 (figura n.4);
- Stralcio della carta geologica regionale progetto C.A.R.G. in scala 1:5.000 (figura n.5);
- Stralcio della carta dell'idrologia e della piezometria in scala 1:10.000 (Quadro conoscitivo - Tavola A20 - PSC Bibbiano - 2013 - figura n.6);

- Stralcio della carta delle criticità in scala 1:10.000 (Quadro conoscitivo - Tavola A23 - PSC Bibbiano - 2013 - figura n.7);
- Stralcio della carta del tetto delle ghiaie in scala 1:10.000 (Studio di microzonazione sismica - Tavola 1.1 - PSC Bibbiano - 2013 - figura n.8);
- Stralcio della carta delle velocità delle onde di taglio in scala 1:10.000 (Studio di microzonazione sismica - Tavola 1.5 - PSC Bibbiano - 2013 - figura n.9);
- Stralcio della carta della microzonazione sismica in termini di FaPGA, FaS da 0,1 a 0,5 secondi, FaLS da 0,5 a 1,0 secondi in scala 1:10.000 (Studio di microzonazione sismica - Tavola 1.6 - PSC Bibbiano - 2013 - figura n.10);
- Classificazione sismica della Regione Emilia Romagna - O.P.C.M. n.3274/2003 (Allegato 1, punto 3 - "prima applicazione" - figura n.11);
- Schema tettonico dell'Appennino Emiliano-Romagnolo e della Pianura Padana centrale (Martelli, 2011) con zone sismogenetiche da ZS9 (Meletti e Valensise, 2004), aree con limiti rossi, e localizzazione dei principali terremoti che hanno interessato l'Emilia-Romagna (dati I.N.G.V.) [figura n.12];
- Nuova carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna e aree limitrofe in scala 1:250.000 (Servizio Geologico Sismico Regione Emilia Romagna - C.N.R. - Istituto di Geoscienze e di Georisorse sezione di Firenze - 2017) [figura n.13];
- Nuova mappa di zonazione sismogenetica riguardante l'Appennino Settentrionale, il margine Appenninico-Padano e la Pianura Padana (Servizio Geologico Sismico Regione Emilia Romagna - C.N.R. Firenze - Università di Firenze - 2017 - figura n.14);
- Tabella n.1 riportante il database dei terremoti, accaduti dal 1831 fino al 2008, per il territorio comunale di Bibbiano (CPT115 - DBMI15 - Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 - Database Macrosismico Italiano 2015 - I.N.G.V. 2017 - https://emidius.mi.ingv.it/CPT115-DBMI15/query_place/).
- Planimetria di progetto fuori scala del Subcomparto A dell'Ambito di Integrazione degli Insediamenti Residenziali 5 (Subcomparto A - AIR5) con ubicazione delle indagini geognostiche (figura n.15);
- Certificati delle indagini geognostiche (prove H.V.S.R. - Indagini di sismica passiva a stazione singola):
 - Tabella A - Stratigrafia sismica del sottosuolo ottenuta dall'analisi della curva H/V (HVSR1);
 - Figura I - Curva di registrazione del rapporto H/V delle onde superficiali (HVSR1);
 - Figura II - Profilo dell'andamento delle velocità delle onde di taglio nel sottosuolo (HVSR1);
 - Tabella B riassuntiva delle velocità delle onde di taglio, delle velocità delle onde di compressione, di alcuni parametri elastici e del V_{s30} del sottosuolo del sito di progetto (HVSR1);
 - Tabella C - Classificazione del tipo di terreno secondo le "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" D.M. 17/01/2018 (G.U. n.42 del 20/02/2018);
 - Figura III - Curva velocità/frequenza delle onde sismiche da microtremore secondo le 3 componenti spaziali (HVSR1);
 - Figura IV - Stratigrafia sismica del sottosuolo ottenuta dall'analisi della curva H/V (HVSR1);
 - Tabella D riportante i parametri d'impostazione dell'indagine di sismica passiva a stazione singola HVSR1;
 - Tabella E - Stratigrafia sismica del sottosuolo ottenuta dall'analisi della curva H/V (HVSR2);
 - Figura V - Curva di registrazione del rapporto H/V delle onde superficiali (HVSR2);
 - Figura VI - Profilo dell'andamento delle velocità delle onde di taglio nel sottosuolo (HVSR2);
 - Tabella F riassuntiva delle velocità delle onde di taglio, delle velocità delle onde di compressione, di alcuni parametri elastici e del V_{s30} del sottosuolo del sito di progetto (HVSR2);
 - Tabella G - Classificazione del tipo di terreno secondo le "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" D.M. 17/01/2018 (G.U. n.42 del 20/02/2018);
 - Figura VII - Curva velocità/frequenza delle onde sismiche da microtremore secondo le 3 componenti spaziali (HVSR2);

- Figura VIII - Stratigrafia sismica del sottosuolo ottenuta dall'analisi della curva H/V (HVSR2);
- Tabella H riportante i parametri d'impostazione dell'indagine di sismica passiva a stazione singola HVSR2;
- Certificati delle prove penetrometriche dinamiche pesanti:
 - Diagrammi di resistenza;
 - Tabelle dei valori di resistenza;
 - Tabelle dei parametri geotecnici;
- *APPENDICE N.1:*
- Tabella I riportane la relazione tra numero dei colpi N e lo stato di consistenza del terreno;
- Tabella II riportante la relazione tra numero dei colpi N e lo stato di addensamento del terreno;
- Tabella III riportante le caratteristiche del penetrometro Pagani TG63-200kN;

Normativa di riferimento:

- Decreto del Presidente della Repubblica n.328/2001;
- Decreto Ministeriale 14/01/2008 - Testo unitario. Norme Tecniche per le Costruzioni;
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008. Circolare 2 febbraio 2009;
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale,
- D.M. LL.PP. n.47 del 11/03/1988;
- D.A.R.E.R. n.112 del 02/05/2007;
- D.G.R.E.R. n.2193 del 21/12/2015;
- D.G.R.E.R. n.630 del 29/04/2019;
- D.G.R.E.R. n.476 del 20/04/2021;
- D.G.R.E.R. n.564 del 12/05/2021;
- Legge Regionale dell'Emilia Romagna n.24 del 21/12/2017:
- Decreto del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 17/01/2018 – Testo unitario. Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni;
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Istruzioni per l'applicazione delle "Aggiornamento Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 17 gennaio 2018. Circolare 21 gennaio 2019 n.7;
- Eurocodice 8 (1998) – Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici;
- Eurocodice 7.1 (1997) – Progettazione geotecnica – Parte I: regole Generali – UNI;
- Eurocodice 7.2 (2002) – Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio – UNI;
- Eurocodice 7.3 (2002) – Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita con prove in sito – UNI;

Bibliografia:

- AA.VV. Atti del XX Convegno Nazionale di Geotecnica. Patron ed. Bologna, 1999.
- AA.VV. Atti del XXI Convegno Nazionale di Geotecnica. Patron ed. Bologna, 2002.
- AA.VV. Atti del XXII Convegno Nazionale di Geotecnica. Patron ed. Bologna, 2004.
- AA.VV. Atti del XXIII Convegno Nazionale di Geotecnica. Patron ed. Bologna, 2007.
- AA.VV. Atti del V Convegno dei Ricercatori di Ingegneria Geotecnica. Helvelius ed. Bari, 2006.
- AA.VV. Manuale di Ingegneria Civile - Sezione Terza. E.S.A.C. - Cremonese – Roma 1983.
- AA.VV. Note illustrative della Carta Geomorfologica della Pianura Padana, S.E.L.C.A., Firenze, 2001.
- ALBARELLO D., BALIVA F.: La caratterizzazione sismica del sottosuolo con tecniche passive. Corso di aggiornamento professionale sulla microzonazione sismica. Pavia 2006.
- BARANI D., A.C. BONVICINI, T. TAMAGNINI: Relazione geologica e relativi elaborati cartografici a corredo del P.R.G. di Bibbiano. Reggio Emilia 2002.

- BARANI D., BARANI S.: Studio geologico-sismico, idrogeologico e geotecnico inerente il Piano Particolareggiato P.P.10 in via Canusina a Bibbiano.
- BARANI D., BARANI S.: Studio geologico-sismico, idrogeologico e geotecnico inerente il Piano Strutturale Comunale di Bibbiano - 2010.
- BARANI D., BARANI S.: Studio di microzonazione sismica inerente il Piano Strutturale Comunale di Bibbiano - 2013.
- BIANCHI F., MARCHI G., MERLI M.: Problematiche connesse al progetto delle fondazioni in zona sismica - Ordine degli Ingegneri della Provincia di Bologna. Bologna 2004.
- BORETTI G. et alii: Caratteri geomorfologici della Pianura Padana. Reggio Emilia 1998.
- BOWLES J.E.: Foundation analysis and design. MacGraw Hill Libri Italia Ed. Milano, 1991.
- CARLONI G.C., FRANCAVILLA F. & ZECCHI R.: Neotettonica del margine padano dell'Appennino Emiliano, in relazione agli indizi geomorfologici ed alle strutture sismogenetiche. Mem. Soc. Geol. It., 19, 627- 634, 1978.
- CASTELLARIN A., EVA C. CIGLIA G., VAI G.B., RABBI E. & PINI G.A.: Analisi strutturale del Fronte Appenninico Padano. Giorn. Geol. , 47, 47-75, 1985.
- CESTARI F.: Prove geotecniche in sito; Geo-Graph Ed. Segrate, 1990.
- CREMASCHI M., BERNABÒ BREA M., TIRABASSI J., D'AGOSTINI A., DALL'AGLIO P.L., MAGRI S., BARICCHI, W., MARCHESINI A. & NEPOTI S.: L'evoluzione della pianura emiliana durante l'età del bronzo, l'età romana e l'alto medioevo; geomorfologia ed insediamenti. Padusa, Rovigo 1980.
- DIPARTIMENTO DIFESA DEL SUOLO - SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA: Carta geologica d'Italia in scala 1:50.000: foglio n.200 "Reggio nell'Emilia".
- DIPARTIMENTO DIFESA DEL SUOLO - SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA: Carta geologica d'Italia in scala 1:100.000: foglio n.74 "Reggio nell'Emilia".
- DONDI L., MOSTARDINI & RIZZINI A: Evoluzione sedimentaria e paleogeografica nella Pianura Padana. In: G. Cremonini, F. Ricci Lucchi ed. Guida alla Geologia del margine appenninico - padano, S.G.I. Guide geologiche regionali, pp. 47-58, 1982.
- ELMI C. & ZECCHI R.: Caratteri sismotettonici dell'Emilia-Romagna. Quaderni della Mercanzia, 21, 44 pp., Bologna, 1974.
- GRUPPO NAZIONALE DIFESA TERREMOTI (GNDT): Catalogo parametrico dei terremoti di area italiana (versione NT4.1) – 1998.
- GULLI R., LACAGNINA G.: Guida alla relazione geologica. Dario Flaccovio Editore, Palermo, pp.236, 2000.
- LAMBE W.T., WHITMAN R.V.: Soil engineering – SI version. John Wiley & Sons Inc., 1979.
- LANCELLOTTA R.: Geotecnica. Zanichelli s.p.a., Bologna, 1993.
- MARSAN P., ROMEO R.: La relazione geologica e geotecnica. La nuova Italia scientifica (NIS), Roma, quarta ristampa, 1997.
- PELI G.: Geotecnica pratica delle fondazioni dirette. Pitagora editrice, Bologna, seconda edizione, pp.430, 2007.
- ROBERTSON P.K., WRIDE C.E.: Evaluating cyclic liquefaction potential using the cone penetration test. Canadian Geotechnical Journal, vol.35, n.3, pp.442-459, 1998.
- SERVIZIO CARTOGRAFICO (PEDOLOGICO) REGIONE EMILIA R.: I suoli dell'Emilia Romagna e relative note illustrative. Bologna 1994.
- TAGLIAVINI et alii: Carta della vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi della conoide del fiume Enza e relative note illustrative. Bologna 1990.
- TANZINI M.: L'indagine geotecnica. Collana di geotecnica e ingegneria geotecnica. Dario Flaccovio Editore, Palermo, pp.364, 2002.
- TANZINI M.: Fondazioni. Collana di geotecnica e ingegneria geotecnica. Dario Flaccovio Editore, Palermo, pp.534, 2006.
- TERZAGHI K.: Geotecnica. UTET, Torino, 1974.

UBICAZIONE DELL'AREA

L'area è situata a sud del centro di Bibbiano, nella zona dove attualmente sorge l'ex magazzino comunale e confina a Nord con Via S. Giovanni Bosco, ad est con terreni ricompresi in "AC5 SUB AMBITI RESIDENZIALI RADII E AREE VERDI DA TUTELARE" pertinenziali di un ex fabbricato rurale, recentemente demolito, a Sud con terreni ricompresi in "AC5 SUB AMBITI RESIDENZIALI RADII E AREE VERDI DA TUTELARE" e ad Ovest con un gruppo di edifici di recente costruzione ricompresi all'interno del C.D.13, nonché con la Caserma dei Carabinieri (figura n.3).

Gli immobili oggetto di progettazione, situati in via San Giovanni Bosco n. 2/F in Comune di Bibbiano (RE) e risultano così censiti (figura n.2):

Nuovo Catasto Fabbricati:

Foglio	Mappale	Sub.	Cat.	Ubicaz.	Piani	R.C.
29	335	1	D/7	Via San G. Bosco, 2/F	T - 1	5.869,86 €

Nuovo Catasto Terreni:

Foglio	Mappale	Qualità	Classe	Superficie	Red. Dom.	Red. Agr.
29	216	Semin Arbor	1 [^]	1.409 mq.	10,19 €	13,46 €
29	335	Ente Urbano		5.638 mq.		
TOTALE				7.047 mq.		

L'area ricade nell'elemento n.200102 "Bibbiano" della carta tecnica regionale in scala 1:5.000 (figura n.1). Le coordinate geografiche del sito sono le seguenti:

Latitudine: 44°39'30" Nord (WGS84: 44,6583481 [°] Nord; ED50: 44,6592903 [°] Nord);

Longitudine: 10°28'07" Est (WGS84: 10,4689770 [°] Est; ED50: 10,4699926 [°] Est);

Quota altimetrica: 128 m s.l.m.;

Inoltre l'area in studio ricade nel foglio n.200 "Reggio nell'Emilia" della carta geologica d'Italia in scala 1:50.000 e nel foglio n.74 "Reggio nell'Emilia" della carta geologica d'Italia in scala 1:100.000.

MORFOLOGIA, PEDOLOGIA E CARATTERISTICHE CLIMATICHE

La zona in esame è posizionata nell'alta pianura reggiana; la morfologia d'insieme si presenta leggermente inclinata verso Nord-Nord Est; questa zona è caratterizzata dalla presenza di terrazzi fluviali di vario ordine, posti a differenti altezze sulle aree circostanti, alle quali si raccordano con ripide scarpate (figura n.3). Più specificamente ci troviamo nell'ambito del terrazzo fluviale di Bibbiano-Barco che si raccorda, ad Est mediante una scarpata, con il terrazzo del Ghiardo ed è delimitato, ad Ovest, da una lineazione tettonica che segue pressappoco la linea ferroviaria Ciano d'Enza - Reggio Emilia (figura n.3).

Il suolo originario è pianeggiante, con pendenze che variano tipicamente da 1,0% a 3,0%; molto profondo; a tessitura sabbiosa o ghiaiosa in profondità; a moderata disponibilità di ossigeno; non calcareo; neutro o debolmente alcalino. Si è formato in sedimenti fluviali a tessitura sabbiosa e/o ghiaiosa in profondità. Rientra negli *Haplic Luvisols* secondo la legenda FAO ed è contraddistinto con la sigla 4Aa nella carta dei suoli dell'Emilia Romagna derivata in scala 1:100.000 (figura n.4). Più specificatamente l'area progettuale è ricoperta da uno strato di terreno di riporto, d'origine antropica, alquanto addensato e compattato che è stato posizionato durante una precedente edificazione (risalente agli anni '80). Il terreno di riporto, ha uno spessore di circa 0,80 m (ottanta centimetri) ed è costituito prevalentemente da un misto di sabbia e ghiaia ma si rinvengono anche rottami da demolizione e asfalto.

Il regime pluviometrico della zona è di tipo continentale. Il valore medio annuo delle precipitazioni è di 787 mm con punte massime di piovosità in Primavera (213 mm) ed in Autunno (230 mm). La temperatura media mensile annua è di 12,7

°C, con valori medi massimi di 29,8 °C per il mese di luglio e minimi di - 2,3 °C per il mese di gennaio. L'escursione annua è quindi di 32,1 °C. La minima assoluta è di -17 °C, la massima di 37,9 °C. I venti predominanti provengono da Nord Ovest, in Inverno da dicembre a febbraio, da Est nelle altre stagioni.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO, TETTONICO E IDROGEOLOGICO

Questa parte del territorio comunale di Bibbiano appartiene all'alta pianura reggiana e risulta compresa nel bacino subsidente pliocenico-quadernario della più estesa Pianura Padana, costituita da un'ampia depressione a stile compressivo colmata da sedimenti mesozoici, terziari e quadernari.

Il territorio si trova inoltre a valle di una faglia trascorrente, su scala regionale, che segue l'andamento del margine appenninico-padano (Nord Ovest-Sud Est) denominata *Emilian Fault* (Bosellini, 1981). La presenza di detta faglia risulterebbe confermata dai dati sismici e gravimetrici e dalla presenza di una fascia di epicentri sismici, larga circa 70 km, denominata *linea Piacenza - Forlì* (Peronacci 1974, Sacchi 1979), con profondità di 30 km - 40 km (Caloi et Alii, 1956).

Nell'ambito dell'area in esame si ritrova il terrazzo fluvio-glaciale rissiano che si raccorda, tramite una scarpata alta 5,00 m ÷ 6,00 m, ai terreni riferibili al wurmiano. Il terrazzo di Bibbiano, insieme a quelli del Ghiardo e di Barco, formano un sistema di alture tabulari con evidenti scarpate occidentali, disposte in direzione Sud Ovest-Nord Est.

La litologia di superficie è rappresentata da un paleosuolo, a matrice limoso-argillosa, con spessore generalmente minore di 5,00 m, con completa decarbonatazione degli orizzonti e sviluppo in profondità di un livello argilloso illuviale. Il terreno presenta un arricchimento in sesquiossidi di Ferro [Fe] e Manganese [Mn] che danno il caratteristico colore bruno rossastro; i carbonati sono organizzati in profondità sotto forma di livelli centimetrici, concrezionali, duri, negli orizzonti inferiori del suolo stesso mentre le patine di ossidazione ricoprono i ciottoli dello strato basale sabbioso-ghiaioso.

Carta geologica regionale progetto C.A.R.G. in scala 1:10.000 classifica il sito progettuale come ricadente in zona ove affiora **AES7a (Unità di Niviano riferibile al Pleistocene superiore)**, l'unità si presenta in facies di limi argillosi e/o di sabbie argillose e costituisce uno strato superficiale, potente alcuni metri; quest'ultimo ricopre uno strato basale formato da ghiaie sabbiose e/o da sabbie ghiaiose in matrice limo-argillosa, si tratta di un deposito continentale, di terrazzo fluviale del torrente Enza (terrazzo alto di Bibbiano-Barco) passante lateralmente a depositi di interconoide e distalmente a depositi di piana inondabile, lo spessore massimo dell'Unità è di circa 20,00 m, il profilo di alterazione del suolo, decarbonatato, è molto evoluto con presenza di ossidi di Fe e Mn che danno caratteristica colorazione bruno-rossastra. Il grado di consistenza e/o di addensamento del terreno aumenta generalmente con la profondità in funzione anche dell'aumento della pressione geostatica efficace. Si tratta di un terreno leggermente sovraconsolidato. AES7a è contigua, in zone limitrofe, con **AES8 (Subsistema di Ravenna)** riferibile al Pleistocene, in facies di limi argillosi e/o di sabbie argillose, con subordinate sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose.

Le indagini geognostiche eseguite hanno avallato tali classificazioni infatti hanno evidenziato un deposito superficiale di limi argillosi e/o di sabbie argillose mediamente consistente, dello spessore di circa 6,0 m; al di sotto di questo strato è stato rinvenuto un deposito di sabbie ghiaiose e/o di ghiaie sabbiose, addensate, in matrice limo-argillosa che passa in profondità a ghiaie sabbiose e/o a sabbie ghiaiose, molto addensate. La profondità del tetto delle ghiaie è prevista ad una profondità compresa tra i -5,00 m ed i -10,00 m dalla quota del p.c. (stralcio della carta del tetto delle ghiaie in scala 1:10.000 - studio di microzonazione sismica - Tavola 1.1 - PSC Bibbiano - 2013 - figura n.8);

Più specificatamente la stratigrafia del primo sottosuolo, ricostruita dalle indagini geognostiche, dal rilevamento geologico di dettaglio dell'area, dai dati stratimetrici della Banca Dati Geognostici del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna (2021) e dalla cartografia specialistica del P.S.C. (figura n.8) è risultata essere la seguente:

- -0,00 m ÷ -6,50 m dalla quota del p.a.c. = limi argillosi e/o sabbie argillose, di colore bruno-rossastro per ossidazione, mediamente consistenti, spesso fortemente alterati e rubefatti. Presenti livelli decimetrici di sabbie ghiaiose e/o di ghiaie sabbiose alquanto addensati [UNITA' 1];

- -6,50 m ÷ -15,00 m dalla quota del p.c.= sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose, molto addensate, in matrice sabbioso-argillosa [UNITA' 2];

Dal punto di vista idrogeologico l'area ricade nell'*Unità idrogeologica del fiume Enza*, la zona risulta drenata dal Rio Enzola ad Est e dal Canale di Bibbiano ad Ovest (figura n.6). Essi insistono nell'ambito del più ampio bacino idrografico del fiume Enza; quindi l'idrografia superficiale è costituita da un reticolo di canali, rii e fossi alquanto gerarchizzato (*drenaggio di antica e recente sistemazione agraria*) avente sia funzione scolante (semestre autunno-inverno) che irrigua (semestre primavera-estate). Il Rio Enzola, con il Rio Ghiardo a Sud Est, il Canale di Varana ad Est, il Canale di Bibbiano ad Ovest ed il Rio Monte ad Ovest, costituiscono il reticolo idrografico di rango inferiore rispetto al bacino idrografico principale del fiume Enza. Tutti questi corsi d'acqua minori scorrono in corrispondenza di un antico paleoalveo del Torrente Enza. Attualmente questi torrenti hanno bacini idrografici poco estesi e modeste portate liquide. Il conferimento idrico alle falde acquifere sotterranee di questi corsi d'acqua minori è accertato ma non quantificato per mancanza di dati. Infatti questa unità idrogeologica, tra quelle di alta pianura, è la meno ricca di risorse idriche.

L'interscambio tra le acque dei cavi e dei canali e la falda freatica superficiale sono attivi. Infatti per quanto riguarda il confronto tra i bacini idrografici superficiali e quelli idrogeologici della falda freatica si osserva che frequentemente non si ha corrispondenza tra le zone di spartiacque e gli assi idrici sotterranei principali.

Per quanto riguarda l'idrologia sotterranea, l'area si trova compresa tra le isofreatiche 110,00 m e 115,00 m s.l.m. (con soggiacenza del primo livello della falda acquifera superficiale compresa tra i -13,00 m ed i -18,00 m dalla quota del piano di campagna). Il flusso idrico sotterraneo è diretto verso Nord Est con una pendenza di circa il 6%. La misurazione dei livelli statici del primo livello della falda acquifera, effettuata in occasione dello studio inerente al P.R.G. (2001) aveva evidenziato una soggiacenza idrica di circa -30,00 m dalla quota del piano di campagna. Durante l'esecuzione delle indagini geognostiche è stata rilevata alcuna presenza idrica ad una profondità di -8,00 m dalla quota del p.a.c. La falda idrica principale, più profonda, risulta essere in pressione per la presenza, nel sottosuolo, di livelli limoso-argillosi impermeabili che tuttavia in alcune aree consentono contatti idraulici tra differenti livelli dell'acquifero.

Il grado di vulnerabilità delle falde idriche sotterranee della zona è in generale "basso" tuttavia l'area è nell'ambito dell'abitato di Bibbiano al quale è attribuito un grado di vulnerabilità "non definibile comunque a rischio elevato".

SISMICITA' E RISCHIO SISMICO DELL'AREA

Ai fini della valutazione del rischio sismico il territorio comunale di Bibbiano (codice ISTAT 2010 n.08035004) con i Decreti emanati in materia fino all'anno 1984, era dichiarato *non classificato* (N.C.); l'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri del 12/06/1998 n.2788 classificava invece il Comune di Bibbiano come zona sismica di *terza categoria* (III) infine l'O.P.C.M. del 20/03/2003 n.3274 la fa ricadere in *zona sismica 3* (tabella n.3 - figura n.11). Questa nuova classificazione sismica è stata recepita dalla Regione Emilia Romagna con D.G.R. n.1677/2005.

Zona	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g) – OPCM 3519	Accelerazione orizzontale massima convenzionale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (a_g) – OPCM 3472
1	$0.25 < a_g \leq 0.35 g$	$0.35 g$
2	$0.15 < a_g \leq 0.25 g$	$0.25 g$
3	$0.05 < a_g \leq 0.15 g$	$0.15 g$
4	$\leq 0.05 g$	$0.05 g$

Tabella n.2 - Classificazioni sismiche del territorio nazionali secondo l'O.P.C.M. n.3519 e l'O.P.C.M. n.3274/2003.

Comune	Classificazione sismica (Decreti fino al 1984)	Classificazione sismica O.P.C.M. n.3274/2003	a_g
Bibbiano	N.C.	3	0,150g

Tabella n.3 - Classificazioni sismica del territorio comunale di Bibbiano (RE) secondo e l'O.P.C.M. n.3274/2003.

In linea generale la sismicità della Pianura Padana è di una certa entità e non trascurabile. Il territorio reggiano, pur se direttamente moderatamente sismico, risente però indirettamente della moderata sismicità diffusa dell'Appennino Nord Occidentale (settore reggiano-parmense) che si manifesta principalmente lungo le zone di accavallamento frontale del Margine Appenninico prospiciente la Pianura Padana (figura n.13). Strutture sismogenetiche che influenzano direttamente il territorio provinciale sono: 1) la Dorsale Ferrarese sepolta nel sottosuolo della bassa pianura; 2) il Margine Appenninico- Padano; 3) l'Appennino; 4) la vicina Garfagnana.

La sismicità del territorio, correlata alle strutture tettoniche superficiali (primi 15 km) e di media profondità (15 km - 35 km) è principalmente collegata a meccanismi focali compressivi e trascorrenti mentre risultano nettamente secondari e subordinati i meccanismi focali distensivi. Bibbiano è principalmente interessata da meccanismi focali che si originano nel Margine Appenninico-Padano ma risente anche, in una certa misura, dell'attività sismica delle altre suddette strutture sismogenetiche. L'attività tellurica storica dell'area è nota a partire dall'anno 1000 infatti la città di Bibbiano, nel corso dei secoli, ha subito gli effetti di diversi terremoti alcuni dei quali addirittura di magnitudo compresa tra i 3,6 ed i 6,5 gradi della scala Richter infatti nella tabella n.1 è riportato il database dei terremoti, accaduti dal 1831 fino al 2008, per il territorio comunale di Bibbiano (CPTI15 - DBMI15 - Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 - Database Macrosismico Italiano 2015 - I.N.G.V. 2017 - https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/).

La zonazione sismica attuale del territorio nazionale, che identifica le zone sorgente a caratteristiche sismiche omogenee, elaborata dall' I.N.G.V. (2003) attribuisce l'area in studio alla *zona sismogenetica 913* (figura n.12) mentre la nuova proposta di zonazione sismica del territorio nazionale (figura n.14 - Servizio Geologico Sismico Regione Emilia Romagna - C.N.R. Firenze - Università di Firenze - 2017) fa rientrare il territorio comunale di Bibbiano nella nuova zona sismogenetica 6 (n.517 Basso Appennino Emiliano-Margine) che è caratterizzata da una tettonica principalmente a thrust (sovrascorrimenti) con direzioni ed immersione delle faglie inverse principali Sud/45°- 60°, profondità ipocentrale prevalentemente compresa 10 km - 30 km e **magnitudo massima attesa pari a $M_w = 6,0$** .

Alla *zona sismica 3*, come nel caso in esame, compete un valore legislativo dell'accelerazione orizzontale dello spettro di risposta elastico corrispondente ad: $a_g = 0,150$ g (tabella n.2) mentre la legislazione regionale adotta un'ulteriore classificazione comunale definita ai sensi dell'Allegato 2 della Deliberazione dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia Romagna n.112 del 02/05/2007, in cui sono riportati i valori di a_g (con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) per ogni comune dell'Emilia Romagna; per il comune di Bibbiano il valore di accelerazione di picco al suolo ($T = 0$) tempo di ritorno $T_r = 475$ anni, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g è pari a **0,156g**.

Nella figura n.16 sono riportate le principali sorgenti sismogenetiche attive, vicine al territorio comunale; dai dati riportati rispettivamente nella tabella n.4 (**Z.S. ITCS009 Busseto - Cavriago - Magnitudo massima $M_w = 5,6$**) e nella tabella n.5 (**Z.S. ITCS046 - Langhirano/Sassuolo - Magnitudo massima $M_w = 5,9$**) si evince che il rischio sismico associato alle sorgenti sismogenetiche in esame deve essere classificato come medio-alto.

DISS 3.1.1: Seismogenic Source ITCS009 - Busseto-Cavriago

General information			
Code	ITCS009		
Name	Busseto-Cavriago		
Compiled By	Burrato, P., and S. Mariano		
Latest Update	07/09/2007		
Parametric information			
	Parameter	Qual.	Evidence
Min Depth (km)	2	OD	Based on geological data from various authors.
Max Depth (km)	8	OD	Based on geological data from various authors.
Strike (deg)	120 - 140	OD	Based on geological data from various authors.
Dip (deg)	20 - 40	OD	Based on geological data from various authors.
Rake (deg)	90 - 120	EJ	Inferred from geological data.
Slip Rate (mm/y)	0.1 - 0.5	EJ	Derived from geological data concerning adjacent structures.
Max Magnitude (Mw)	5.6	LD	Derived from the strongest earthquake occurred in the region.

Q- LD = Literature Data; OD = Original Data; ER = Empirical Relationship; AR = Analytical Relationship; EJ = Expert keys: Judgement

Tabella n.4 - Area di faglia sismogenetica ITCS009 - Busseto/Cavriago.

Code	ITCS046		
Name	Langhirano-Sassuolo		
Compiled By	Burrato, P., and S. Mariano		
Latest Update	12/09/2007		
Parametric information			
	Parameter	Qual.	Evidence
Min Depth (km)	2	OD	Based on geological data from various authors.
Max Depth (km)	8	OD	Based on geological data from various authors.
Strike (deg)	95 - 120	OD	Based on geological data from various authors.
Dip (deg)	20 - 40	OD	Based on geological data from various authors.
Rake (deg)	80 - 100	EJ	Inferred from regional geological data.
Slip Rate (mm/y)	0.1 - 0.5	EJ	Derived from geological data concerning adjacent structures.
Max Magnitude (Mw)	5.9	OD	Based on the strongest earthquake occurred in the region.

Q- LD = Literature Data; OD = Original Data; ER = Empirical Relationship; AR = Analytical Relationship; EJ = Expert keys: Judgement

Tabella n.5 - Area di faglia sismogenetica ITCS046 - Langhirano/Sassuolo.

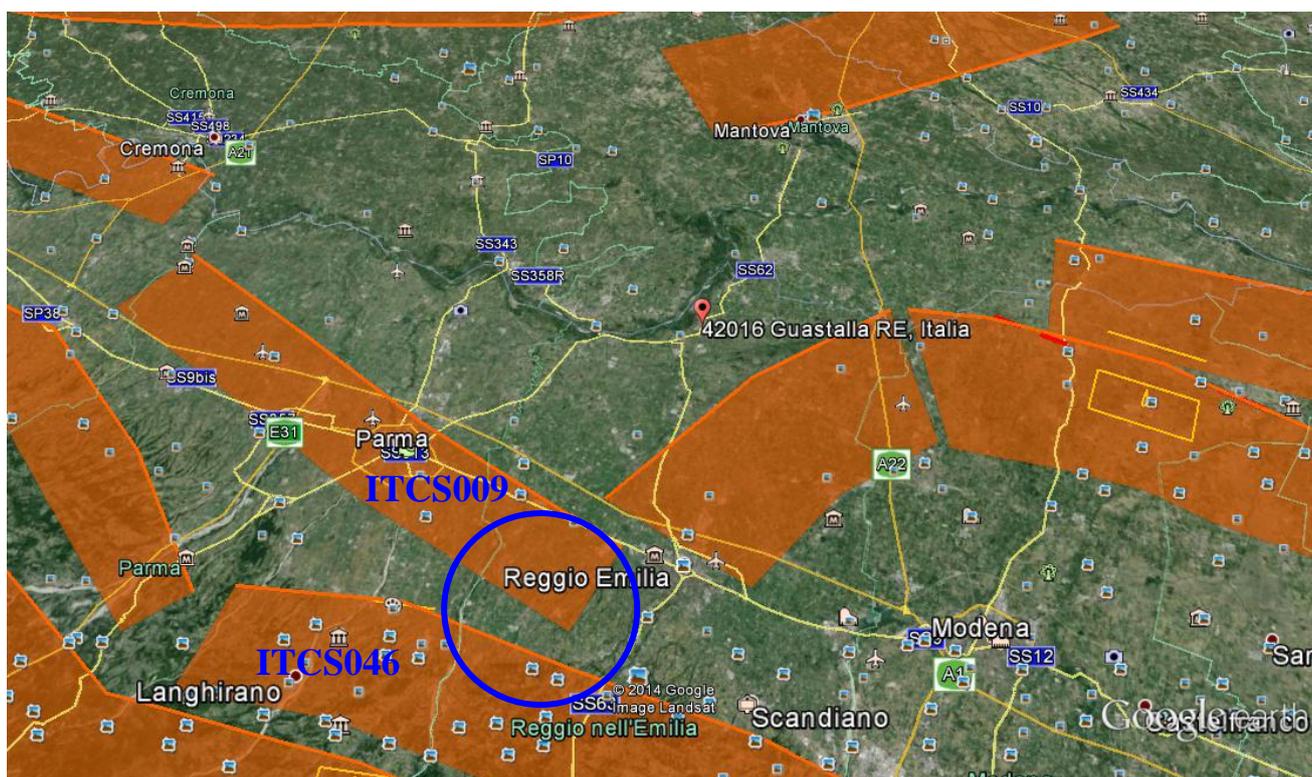


Figura n.16 - Aree di faglia attive nell'area della Pianura Emiliano-Romagnola e del Margine Appenninico (D.I.S.S. - Database of Individual Seismogenetic Sources - Istituto Nazionale di Geofisica). Il territorio comunale di Bibbiano (RE) si trova compreso tra la zona sorgente sismogenetica ITCS046 - Langhirano/Sassuolo e la zona sorgente sismogenetica ITCS009 - Busseto/Cavriago.

LE INDAGINI GEOGNOSTICHE

Al fine di definire lo schema litostratigrafico, geomeccanico e fisico del primo sottosuolo e in ottemperanza al D.M. 17/01/2018, è stata eseguita una campagna di indagini geognostiche che è stata così articolata (figura n.15):

- N.2 (due) indagini di sismica passiva a stazione singola tipo H.V.S.R. (Nakamura);
- N.2 (due) prove penetrometriche dinamiche pesanti DPSH con massa battente da 63,5 kg;

Indagini di sismica passiva a stazione singola tipo H.V.S.R.

La tecnica di indagine di sismica passiva a stazione singola tipo H.V.S.R. si rivela molto utile nel:

- 1) Rilevare le frequenze di risonanza degli strati sedimentari superficiali del sottosuolo soprattutto quando c'è un forte contrasto di impedenza sismica tra quest'ultimi ed uno strato basale, roccioso, più rigido (cosiddetto "bed rock sismico locale");
- 2) Stimare in maniera relativamente rapida, attraverso un'opportuna inversione del segnale sismico, la stratigrafia superficiale del terreno e l'andamento delle velocità delle onde di taglio per i primi 30 m di profondità dalla quota del piano di campagna (V_{s30});

INDAGINE: HVSR1 - VIA: SAN GIOVANNI BOSCO N.2/F - COMUNE: BIBBIANO

Il risultato dell'elaborazione è la curva dei rapporti spettrali della componente orizzontale su quella verticale delle onde di superficie (figura I), il profilo dell'andamento delle velocità delle onde di taglio con la profondità (figura II), la stratigrafia sismica del primo sottosuolo (tabella A - figura IV - tabella n.7) e la tabella riassuntiva dei parametri ricavati dall'indagine sismica eseguita (tabella B) inoltre nella figura III sono riportate le curve velocità/frequenze delle onde sismiche da microtremore, secondo le tre componenti tra loro ortogonali. Nel caso in esame si tratta di una registrazione che rispetta i criteri di validazione SESAME (Tabella D). La registrazione (figura I) mostra un chiaro picco di frequenza (f) a circa $f_2 \approx 9,1$ Hertz (2° sismostrato) che corrisponde ad un periodo di oscillazione caratteristico del sito desumibile dallo spettro HVSR pari a $T \approx 0,11$ secondi. Questo picco può essere messo in relazione ad una differenza d'impedenza sismica, tra strati contigui del terreno, che si individua ad una profondità di circa -10,0 m dalla quota del p.c. Esso è riferibile ad uno

strato basale, molto addensato, di ghiaie-sabbiose e/o di sabbie-ghiaiose evidenziato anche dalle indagini penetrometriche. L'ampiezza del picco di frequenza fondamentale del sottosuolo, che è risultata essere pari ad **A = 3,0**, è una stima della differenza d'impedenza sismica del terreno (si tratta di un contrasto di moderata intensità).

1° SISMOSTRATO	2° SISMOSTRATO	3° SISMOSTRATO	4° SISMOSTRATO	5° SISMOSTRATO	6° SISMOSTRATO	7° SISMOSTRATO
$V_s = 135 \text{ m/s}$	$V_s = 180 \text{ m/s}$	$V_s = 270 \text{ m/s}$	$V_s = 440 \text{ m/s}$	$V_s = 500 \text{ m/s}$	$V_s = 450 \text{ m/s}$	$V_s = 550 \text{ m/s}$
d = 2,00 m	d = 2,00 m	d = 3,00 m	d = 10,00 m	d = 10,00 m	d = 25,00 m	<i>bedrock sismico locale di base</i>

Tabella n.6 - Stratigrafia sismica del sottosuolo del sito di progetto di via San Giovanni Bosco n.2/F a Bibbiano (RE) in corrispondenza dell'indagine sismica a stazione singola HVSR1.

La valutazione del valore V_{s30} è stata ottenuta mediante l'utilizzo della seguente relazione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,n} \frac{h_i}{v_i}}$$

Dove:

h_i = spessore dello strato iesimo espresso in metri;

v_i = velocità onde di taglio strato iesimo espressa in m/s;

Ottenendo:

$V_{s30} \approx 347 \text{ m/s}$

Il valore equivalente della velocità delle onde di taglio (V_{s30}) riscontrato, rientra nell'intervallo di valori che permette al suolo di fondazione di essere ascritto alla categoria **C** (Tabella C in allegato).

- C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiore 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.**

INDAGINE: HVSR2 - VIA: SAN GIOVANNI BOSCO N.2/F - COMUNE: BIBBIANO

Il risultato dell'elaborazione è la curva dei rapporti spettrali della componente orizzontale su quella verticale delle onde di superficie (figura V), il profilo dell'andamento delle velocità delle onde di taglio con la profondità (figura VI), la stratigrafia sismica del primo sottosuolo (tabella E - figura VIII - tabella n.8) e la tabella riassuntiva dei parametri ricavati dall'indagine sismica eseguita (tabella F) inoltre nella figura VII sono riportate le curve velocità/frequenze delle onde sismiche da microtremore, secondo le tre componenti tra loro ortogonali. Nel caso in esame si tratta di una registrazione che rispetta i criteri di validazione SESAME (Tabella H). La registrazione (figura V) mostra un chiaro picco di frequenza (f) a circa **$f_2 \approx 9,2$ Hertz** (2° sismostrato) che corrisponde ad un periodo di oscillazione caratteristico del sito desumibile dallo spettro H.V.S.R. pari a **$T \approx 0,11$ secondi**. Questo picco può essere messo in relazione ad una differenza d'impedenza sismica, tra strati contigui del sottosuolo, che si individua ad una profondità di circa -9,00 m dalla quota del p.c. Esso è riferibile allo strato basale di ghiaie sabbiose e/o di sabbie ghiaiose, individuato anche dalle prove penetrometriche. L'ampiezza del picco di frequenza fondamentale del sottosuolo, che è risultata essere pari ad **A = 3,0**, è una stima della differenza d'impedenza sismica del terreno (si tratta di un contrasto di moderata intensità).

1° SISMOSTRATO	2° SISMOSTRATO	3° SISMOSTRATO	4° SISMOSTRATO	5° SISMOSTRATO	6° SISMOSTRATO	7° SISMOSTRATO
$V_s = 150 \text{ m/s}$	$V_s = 250 \text{ m/s}$	$V_s = 370 \text{ m/s}$	$V_s = 400 \text{ m/s}$	$V_s = 280 \text{ m/s}$	$V_s = 380 \text{ m/s}$	$V_s = 500 \text{ m/s}$
$d = 2,00 \text{ m}$	$d = 6,00 \text{ m}$	$d = 12,00 \text{ m}$	$d = 10,00 \text{ m}$	$d = 15,00 \text{ m}$	$d = 60,00 \text{ m}$	<i>bedrock sismico locale di base</i>

Tabella n.7 - Stratigrafia sismica del sottosuolo del sito di progetto di via San Giovanni Bosco n.2/F a Bibbiano (RE) in corrispondenza dell'indagine sismica a stazione singola HVSR2.

La valutazione del valore V_{s30} è stata ottenuta mediante l'utilizzo della seguente relazione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,n} \frac{h_i}{v_i}}$$

Dove:

h_i = spessore dello strato iesimo espresso in metri;

v_i = velocità onde di taglio strato iesimo espressa in m/s;

Ottenendo:

$$V_{s30} \approx 317 \text{ m/s}$$

Il valore equivalente della velocità delle onde di taglio (V_{s30}) riscontrato, rientra nell'intervallo di valori che permette al suolo di fondazione di essere ascritto alla categoria **C** (Tabella G in allegato).

- C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiore 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.**

I picchi principali di frequenza ($f \approx 9,1 \text{ Hertz} \div 9,2 \text{ Hertz}$), riscontrati nell'analisi sismica, possono essere messi in relazione ad una differenza d'impedenza sismica nel sottosuolo, alquanto superficiale (profondità di circa -9,00 m dalla quota del p.c.) dovuto ad una differente rigidità tra la copertura alluvionale sabbioso-argillosa e lo strato basale locale più rigido formato dalle sabbie ghiaiose e/o dalle ghiaie sabbiose (terrazzo fluviale di alta pianura). Tale differenziazione litologica del sottosuolo è stata individuata anche dalle prove penetrometriche dinamiche pesanti eseguite.

È fondamentale che la frequenza stimata della struttura di progetto non sia coincidente con quella fondamentale, propria del sottosuolo ($f \approx 9,1 \text{ Hertz} \div 9,2 \text{ Hertz}$) in modo da evitare il cosiddetto fenomeno della "doppia risonanza". La doppia risonanza è la causa delle più importanti distruzioni che avvengono durante un terremoto (si ricorda che le frequenze importanti in campo ingegneristico sono quelle comprese tra a 1,00 Hertz e 20,00 Hertz).

Le prove penetrometriche dinamiche pesanti

Per determinare in modo più specifico la caratterizzazione litostratigrafica diretta e la determinazione indiretta dei principali caratteri geomeccanici e fisici del terreno (peso di volume, densità relativa, angolo di attrito, coesione, modulo di deformazione, eventuale profondità della falda acquifera superficiale) sono state eseguite n.3 (tre) prove penetrometriche dinamiche pesanti DPSH mediante penetrometro dinamico pesante cingolato TG63-200 PAGANI con

massa battente del peso di 63,5 chilogrammi. Esse sono state denominate DPSH1, DPSH2 e DPSH3 e sono state eseguite nell'ambito del Subcomparto A (figura n.15).

La penetrazione di punte coniche battenti nel terreno consente il riconoscimento delle caratteristiche di resistenza dei terreni attraversati tramite alcuni parametri. Questi parametri caratteristici (addensamento e/o consistenza) sono rappresentati da R_{pd} (resistenza alla rottura alla punta). Essa è direttamente ricavabile dalla nota formula degli Olandesi:

Valutazione resistenza dinamica alla punta R_{pd}

Formula Olandesi

$$R_{pd} = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

R_{pd} = resistenza dinamica punta (area A);
e = infissione media per colpo (δ/N);
M = peso massa battente (altezza caduta H);
P = peso totale aste e sistema battuta.

Nel penetrometro dinamico pesante o superpesante DPSH (tipo EMILIA) si ha [riferimento norme DIN 4094]:

- M = peso del maglio = 63,5 Kg;
- h = altezza di caduta costante di M = 75 cm;
- δ = avanzamento = 20 cm;
- A = area di base della punta conica = $20 \text{ cm}^2 \div 20,43 \text{ cm}^2$;
- e = con N corrispondente al numero di colpi per ogni approfondimento di 20 cm = $20/N$;
- L = lunghezza delle aste = 1,00 m;
- P = peso delle aste = 6,00 Kg;
- P1 = profondità giunzione prima asta = 40 cm;
- α = angolo di apertura punta conica = 90° ;
- D = diametro punta conica = $50,5 \text{ mm} \div 51,00 \text{ mm}$;
- rivesto/fango bentonico: non previsto;
- Q = energia specifica per colpo = $(MH)/(A\delta) = 11,65565 \text{ kg/cm}^2$ [prova SPT: $Q_{SPT} = 7,83 \text{ kg/cm}^2$];
- βt = coefficiente teorico di energia = $Q/Q_{SPT} = 1,489$ (teoricamente $N_{SPT} = \beta tN$);

[Normativa di riferimento per DPSH]

- A.G.I. Associazione Geotecnica Italiana (1977) *Raccomandazioni sulla Programmazione ed Esecuzione delle Indagini Geotecniche*.
- ISSMFE Technical Committee on Penetration Testing (1988) *Dynamic Probing (DP) International Reference Test Procedure*.

Il carico ammissibile con coefficiente di sicurezza uguale a 2,3 è nella maggior parte dei casi ottenibile mediante il rapporto:

$$q_{ad} = R_{pd}/20$$

Nell'ambito dell'elaborazione dei dati della prova penetrometrica è stata poi effettuata una verifica geotecnica che è consistita in:

- ✓ N.140 analisi di resistenza dinamica alla punta (R_{pd});
- ✓ N.140 analisi di carico ammissibile (q_{ad});

Le prove sono state spinte fino alla profondità di rifiuto da parte del terreno all'infissione dinamica della punta ($N > 40$ colpi per 20 cm di avanzamento) dovuta alla forte resistenza del terreno stesso; inoltre a profondità maggiori di 10 m dalla quota del p.c. divengono preponderanti le forze di attrito laterali sulle aste che portano a sovrastimare le resistenze del primo sottosuolo. Nella tabella n.8 sono riportate le condizioni di prova relative alle prove dinamiche pesanti eseguite.

Prova penetrometrica dinamica pesante DPSH con massa battente da 63,5 kg.	DPSH1	DPSH2	DPSH3
Profondità di prova dalla quota del piano dell'area cortiliva	-10,00 m dalla quota del piano dell'area cortiliva	-9,00 m dalla quota del piano dell'area cortiliva	-9,00 m dalla quota del piano dell'area cortiliva
Profondità della falda acquifera superficiale	-8,00 m dalla quota del piano dell'area cortiliva	-8,00 m dalla quota del piano dell'area cortiliva	-8,00 m dalla quota del piano dell'area cortiliva
Strato di terreno di riporto superficiale rilevato	0,80 m (ottanta centimetri)	0,80 m (ottanta centimetri)	0,80 m (ottanta centimetri)

Tabella n.8

Le penetrometrie dinamiche hanno evidenziato la seguente stratigrafia di del primo sottosuolo:

Stratigrafia prova DPSH1 (presenza idrica -8,00 m dalla quota del p.a.c.):

- -0,00 m ÷ -0,80 m dalla quota del p.a.c. = terreno di riporto, di origine antropica, alquanto addensato e compattato, costituito da sabbia, ghiaia con ciottoli anche decimetrici, pezzi di laterizio ed asfalto;
- -0,80 m ÷ -5,00 m dalla quota del p.a.c. = limi argillosi e/o sabbie argillose, di colore bruno-rossastro per ossidazione, mediamente consistenti: $N_{spt} = 5$, $\gamma_n = 19,00 \text{ kN/m}^3$, $E_u = 5.150 \text{ kPa}$, $C_u = 90 \text{ kPa}$, $G = 13.500 \text{ kPa}$, $\phi = 20^\circ$, $E' = 6.900 \text{ kPa}$;
- -5,00 m ÷ -10,00 m dalla quota del p.a.c. = sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose, molto addensate, in matrice sabbioso-argillosa: $N_{spt} = 13$, $\gamma_{sat} = 20,00 \text{ kN/m}^3$, $E_u = 8.125 \text{ kPa}$, $C_u = 80 \text{ kPa}$, $G = 15.825 \text{ kPa}$, $\phi = 34^\circ$, $E' = 9.925 \text{ kPa}$;

Stratigrafia prova DPSH2 (presenza idrica -8,00 m dalla quota del p.a.c.):

- -0,00 m ÷ -0,80 m dalla quota del p.a.c. = terreno di riporto, di origine antropica, alquanto addensato e compattato, costituito da sabbia, ghiaia con ciottoli anche decimetrici, pezzi di laterizio ed asfalto;
- -0,80 m ÷ -7,20 m dalla quota del p.a.c. = limi argillosi e/o sabbie argillose, di colore bruno-rossastro per ossidazione, mediamente consistenti: $N_{spt} = 5$, $\gamma_n = 19,00 \text{ kN/m}^3$, $E_u = 5.150 \text{ kPa}$, $C_u = 90 \text{ kPa}$, $G = 13.500 \text{ kPa}$, $\phi = 20^\circ$, $E' = 6.900 \text{ kPa}$;
- -7,20 m ÷ -9,00 m dalla quota del p.a.c. = sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose, molto addensate, in matrice sabbioso-argillosa: $N_{spt} = 20$, $\gamma_{sat} = 20,00 \text{ kN/m}^3$, $E_u = 8.125 \text{ kPa}$, $C_u = 80 \text{ kPa}$, $G = 15.825 \text{ kPa}$, $\phi = 34^\circ$, $E' = 9.925 \text{ kPa}$;

Stratigrafia prova DPSH3 (presenza idrica -8,00 m dalla quota del p.a.c.):

- -0,00 m ÷ -0,80 m dalla quota del p.a.c. = terreno di riporto, di origine antropica, alquanto addensato e compattato, costituito da sabbia, ghiaia con ciottoli anche decimetrici, pezzi di laterizio ed asfalto;
- -0,80 m ÷ -7,40 m dalla quota del p.a.c. = limi argillosi e/o sabbie argillose, di colore bruno-rossastro per ossidazione, mediamente consistenti: $N_{spt} = 6$, $\gamma_n = 19,00 \text{ kN/m}^3$, $E_u = 5.150 \text{ kPa}$, $C_u = 90 \text{ kPa}$, $G = 13.500 \text{ kPa}$, $\phi = 20^\circ$, $E' = 6.900 \text{ kPa}$;
- -7,40 m ÷ -9,00 m dalla quota del p.a.c. = sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose, molto addensate, in matrice sabbioso-argillosa: $N_{spt} = 19$, $\gamma_{sat} = 20,00 \text{ kN/m}^3$, $E_u = 8.125 \text{ kPa}$, $C_u = 80 \text{ kPa}$, $G = 15.825 \text{ kPa}$, $\phi = 34^\circ$, $E' = 9.925 \text{ kPa}$;

Nella sottostante tabella n.9 sono riportati i valori di q_{ad} (carico ammissibile del terreno) per le prove penetrometriche dinamiche eseguite, tenendo conto che il carico ammissibile, con coefficiente di sicurezza uguale a 2,3, è nella maggior parte dei casi ottenibile mediante il rapporto: $q_{ad} = R_{pd}/20$ (resistenza alla rottura alla punta diviso un coefficiente adimensionale pari a 20).

Stima del modulo di reazione di sottofondo del terreno (secondo Winkler) sulla base dell'elaborazione dei dati ottenuti dalle prove penetrometriche statiche:

Per terreni sabbiosi, in matrice argillosa, in genere il valore del modulo di Winkler risulta $K_b \approx 28,0 \text{ MN/m}^3 \approx 2,8 \text{ kg/cm}^3$ (valore consigliato dal Terzaghi, 1956 - pp.369 - *Geotecnica* - Colombo - III edizione). K_b è fortemente influenzato dalla geometria e dalla larghezza B della fondazione.

	DPSH1	DPSH2	DPSH3
-0,80 m ÷ -6,50 m dalla quota del p.a.c. (unità n.2)	$q_{ad} = R_{pdk}/20 = 22/20 \approx 1,100 \text{ kg/cm}^2$	$q_{ad} = R_{pdk}/20 = 22/20 \approx 1,100 \text{ kg/cm}^2$	$q_{ad} = R_{pdk}/20 = 22/20 \approx 1,100 \text{ kg/cm}^2$
-6,50 m ÷ -15,00 m dalla quota del p.a.c. (unità n.3)	$q_{ad} = R_{pdk}/20 = 36/20 \approx 1,800 \text{ kg/cm}^2$	$q_{ad} = R_{pdk}/20 = 36/20 \approx 1,800 \text{ kg/cm}^2$	$q_{ad} = R_{pdk}/20 = 36/20 \approx 1,800 \text{ kg/cm}^2$

Tabella n.9 - Valori caratteristici delle resistenze del primo sottosuolo in corrispondenza delle tre verticali penetrometriche investigate in funzione della resistenza dinamica alla punta.

CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA: PARAMETRI NOMINALI E PARAMETRI CARATTERISTICI DEL SOTTOSUOLO

La stratigrafia di dettaglio ricavata dalla penetrometrie è stata la seguente:

Caratterizzazione geotecnica del primo sottosuolo (parametri nominali):

- 0,00 m ÷ -0,80 m dalla quota del p.a.c. = terreno di riporto, di origine antropica, alquanto addensato e compattato, costituito da sabbia, ghiaia con ciottoli anche decimetrici, pezzi di laterizio ed asfalto [UNITA' 1];
- 0,80 m ÷ -6,50 m dalla quota del p.c. = limi argillosi e/o sabbie argillose, di colore bruno-rossastro per ossidazione, mediamente consistenti, peso di volume naturale $\gamma_n = 19,00 \text{ kN/m}^3$, modulo di deformazione non drenato $E_u = 5.150 \text{ kPa}$, coesione non drenata $C_u = 90 \text{ kPa}$, coesione drenata $C' = 15 \text{ kPa}$, modulo di taglio $G = 13.500 \text{ kPa}$, angolo di resistenza al taglio drenato $\phi' = 20^\circ$, modulo di deformazione drenato $E' = 6.900 \text{ kPa}$, coefficiente di poisson $\nu = 0,21$ [UNITA' 2];
- 6,50 m ÷ -15,00 m dalla quota p.a.c. = sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose, molto addensate, in matrice sabbioso-argillosa, peso di volume saturo $\gamma_{sat} = 20,00 \text{ kN/m}^3$, modulo di deformazione non drenato $E_u = 8.125 \text{ kPa}$, coesione non drenata $C_u = 80 \text{ kPa}$, coesione drenata $C' = 20 \text{ kPa}$, modulo di taglio $G = 15.825 \text{ kPa}$, angolo di resistenza al taglio drenato $\phi' = 34^\circ$, modulo di deformazione drenato $E' = 9.925 \text{ kPa}$, coefficiente di poisson $\nu = 0,23$ [UNITA' 3];

Parametri di resistenza non drenati caratteristici del sottosuolo (condizioni a breve termine $\Phi = 0$):

- 0,00 m ÷ -0,80 m dalla quota del p.a.c. = terreno di riporto, di origine antropica, alquanto addensato e compattato, costituito da sabbia, ghiaia con ciottoli anche decimetrici, pezzi di laterizio ed asfalto [UNITA' 1];
- 0,80 m ÷ -6,50 m dalla quota del p.c. = limi argillosi e/o sabbie argillose, di colore bruno-rossastro per ossidazione, mediamente consistenti, peso di volume naturale $\gamma_{nk} = 19,00 \text{ kN/m}^3$, modulo di deformazione non drenato $E_{uk} = 4.025 \text{ kPa}$, coesione non drenata $C_{uk} = 70 \text{ kPa}$, modulo di taglio $G_k = 10.700 \text{ kPa}$, coefficiente di poisson $\nu_k = 0,21$ [UNITA' 2];
- 6,50 m ÷ -15,00 m dalla quota p.a.c. = sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose, molto addensate, in matrice sabbioso-argillosa, peso di volume saturo $\gamma_{satk} = 20,00 \text{ kN/m}^3$, modulo di deformazione non drenato $E_{uk} = 6.250 \text{ kPa}$, coesione non drenata $C_{uk} = 55 \text{ kPa}$, modulo di taglio $G_k = 13.550 \text{ kPa}$, coefficiente di poisson $\nu_k = 0,23$ [UNITA' 3];

Parametri di resistenza drenati caratteristici del sottosuolo (condizioni a lungo termine):

- 0,00 m ÷ -0,80 m dalla quota del p.a.c. = terreno di riporto, di origine antropica, alquanto addensato e compattato, costituito da sabbia, ghiaia con ciottoli anche decimetrici, pezzi di laterizio ed asfalto [UNITA' 1];
- 0,80 m ÷ -6,50 m dalla quota del p.c. = limi argillosi e/o sabbie argillose, di colore bruno-rossastro per ossidazione, mediamente consistenti, peso di volume naturale $\gamma_{nk} = 19,00 \text{ kN/m}^3$, coesione drenata $C'_k = 12 \text{ kPa}$, angolo di resistenza al taglio drenato $\phi'_k = 18^\circ$, modulo di deformazione drenato $E' = 5.650 \text{ kPa}$, [UNITA' 2];

- 6,50 m ÷ -15,00 m dalla quota p.a.c. = sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose, molto addensate, in matrice sabbioso-argillosa, peso di volume saturo $\gamma_{\text{sat}k} = 20,00 \text{ kN/m}^3$, coesione drenata $C'_k = 16 \text{ kPa}$, angolo di resistenza al taglio drenato $\phi'_k = 32^\circ$, modulo di deformazione drenato $E' = 8.125 \text{ kPa}$, [UNITA' 3];

I dati dei parametri di resistenza caratteristici sono rappresentativi del quinto percentile dell'insieme dei valori della distribuzione statistica dei parametri stessi. Resistenze non compensate da misure estrapolate. Il valore di coesione dello strato granulare (UNITA' 3) si riferisce alla matrice sabbioso-argillosa nella quale risultano frammisto.

I certificati di prova allegati riportano in dettaglio, per ogni verticale investigata, i principali parametri geotecnici del terreno ricavati per via indiretta con il programma di elaborazione per prove penetrometriche statiche e dinamiche denominato *FONDAZIO 7.X (OCX – SOFTWARES – Castelmassa – Rovigo 2021)*.

PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE E DI SITO SECONDO NTC2018

PERICOLOSITÀ SISMICA

Vita nominale (Vn): 50 [anni]
 Classe d'uso: II
 Coefficiente d'uso (Cu): 1
 Periodo di riferimento (Vr): 50 [anni]
 Periodo di ritorno (Tr) SLO: 30 [anni]
 Periodo di ritorno (Tr) SLD: 50 [anni]
 Periodo di ritorno (Tr) SLV: 475 [anni]
 Periodo di ritorno (Tr) SLC: 975 [anni]
 Tipo di interpolazione: Media ponderata
 Coordinate geografiche del punto
 Latitudine (WGS84): 44,6583481 [°]
 Longitudine (WGS84): 10,4689770 [°]
 Latitudine (ED50): 44,6592903 [°]
 Longitudine (ED50): 10,4699926 [°]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame:

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	16052	44,646550	10,469720	1416,74
2	16053	44,648310	10,539860	5659,81
3	15831	44,698290	10,537390	6870,48
4	15830	44,696530	10,467170	4146,95

Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento:

Punto 1

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,051	2,473	0,246
SLD	50	0,064	2,489	0,260
	72	0,074	2,475	0,267
	101	0,086	2,465	0,272
	140	0,098	2,462	0,275
	201	0,114	2,454	0,277
SLV	475	0,158	2,444	0,283
SLC	975	0,199	2,447	0,292
	2475	0,259	2,494	0,307

Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,050	2,472	0,247
SLD	50	0,063	2,491	0,261
	72	0,074	2,471	0,268
	101	0,085	2,462	0,273
	140	0,097	2,462	0,275
	201	0,114	2,437	0,277
SLV	475	0,159	2,411	0,284
SLC	975	0,201	2,411	0,293
	2475	0,263	2,457	0,309

Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,048	2,471	0,247
SLD	50	0,060	2,505	0,262
	72	0,070	2,476	0,269
	101	0,081	2,477	0,274
	140	0,093	2,456	0,278
	201	0,109	2,443	0,279
SLV	475	0,154	2,391	0,286
SLC	975	0,197	2,378	0,295
	2475	0,261	2,425	0,312

Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,049	2,470	0,244
SLD	50	0,061	2,500	0,261
	72	0,072	2,474	0,267
	101	0,083	2,471	0,273
	140	0,095	2,454	0,277
	201	0,111	2,450	0,277
SLV	475	0,154	2,424	0,283
SLC	975	0,196	2,422	0,291
	2475	0,257	2,463	0,307

Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,050	2,472	0,246
SLD	50	0,063	2,493	0,261
SLV	475	0,157	2,429	0,283
SLC	975	0,198	2,430	0,292

PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITOCoefficiente di smorzamento viscoso ξ : 5 %Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$: 1,000

Categoria sottosuolo: C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiore 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.

Categoria topografica: T1 - Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°.

Muri di sostegno NTC2008

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,014	0,017	0,055	0,067
kv	0,007	0,008	0,028	0,034
amax [m/s ²]	0,740	0,920	2,260	2,744
Beta	0,180	0,180	0,240	0,240

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,075	0,094	0,230	0,280
kv	0,038	0,047	0,115	0,140
amax [m/s ²]	0,740	0,920	2,260	2,744
Beta	1,000	1,000	1,000	1,000

Paratie NTC2008

Altezza paratia (H): 3,0 [m]

Spostamento ammissibile us: 0,015 [m]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,049	0,061	0,150	0,182
kv	--	--	--	--
amax [m/s ²]	0,740	0,920	2,260	2,744
Beta	0,650	0,650	0,650	0,650

Stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,015	0,019	0,055	0,067
kv	0,008	0,009	0,028	0,034
amax [m/s ²]	0,740	0,920	2,260	2,744
Beta	0,200	0,200	0,240	0,240

Muri di sostegno NTC2018

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0,044	0,088	--
kv	--	0,022	0,044	--
amax [m/s ²]	0,740	0,920	2,260	2,744
Beta	--	0,470	0,380	--

Fronti di scavo e rilevati

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0,044	0,088	--
kv	--	0,022	0,044	--
amax [m/s ²]	0,740	0,920	2,260	2,744
Beta	--	0,470	0,380	--

Paratie NTC2018

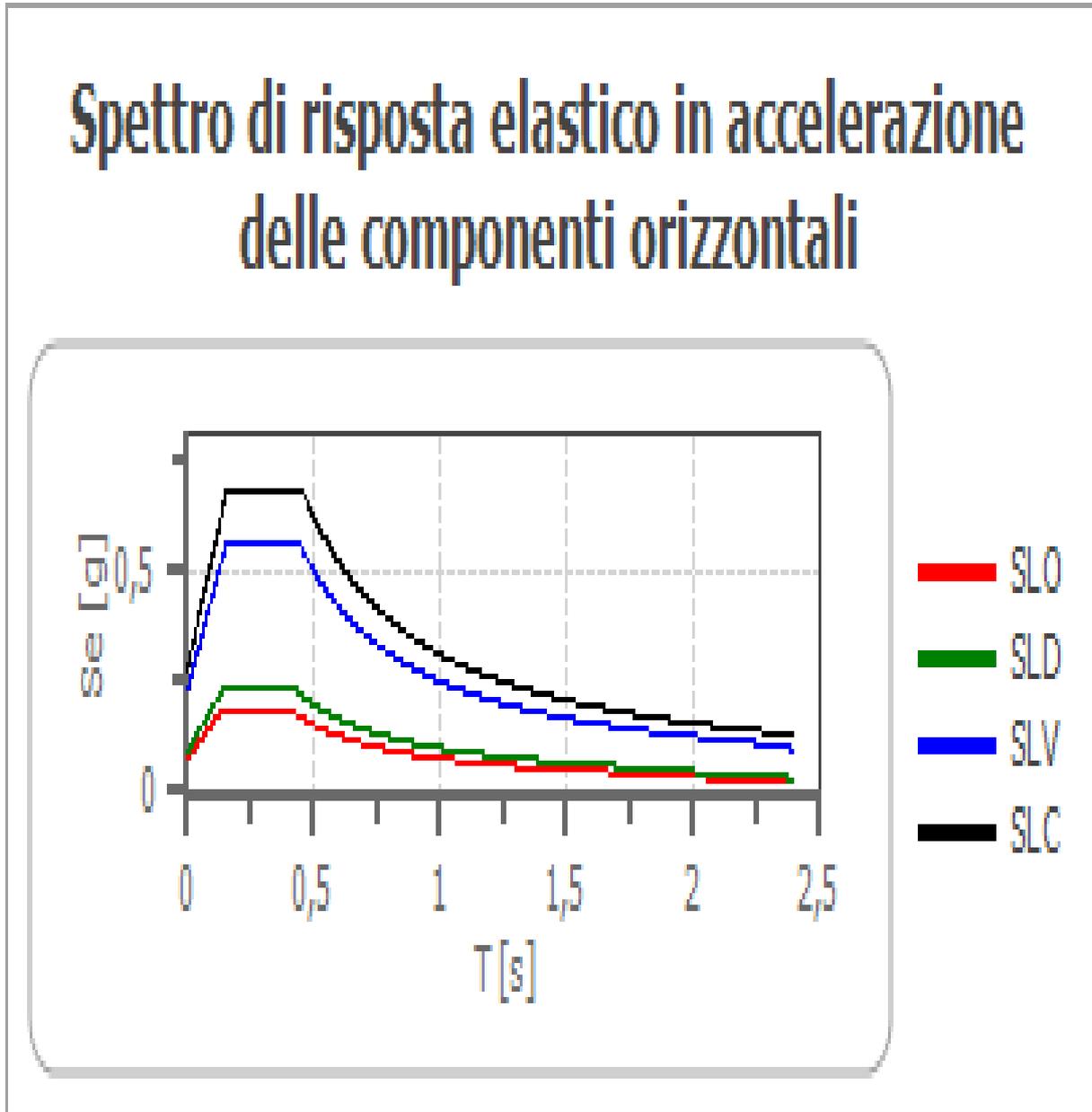
Altezza paratia (H): 3,0 [m]

Spostamento ammissibile us: 0,015 [m]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,059	0,073	0,179	0,217
kv	--	--	--	--
amax [m/s ²]	0,740	0,920	2,260	2,744
Beta	0,776	0,776	0,776	0,776

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

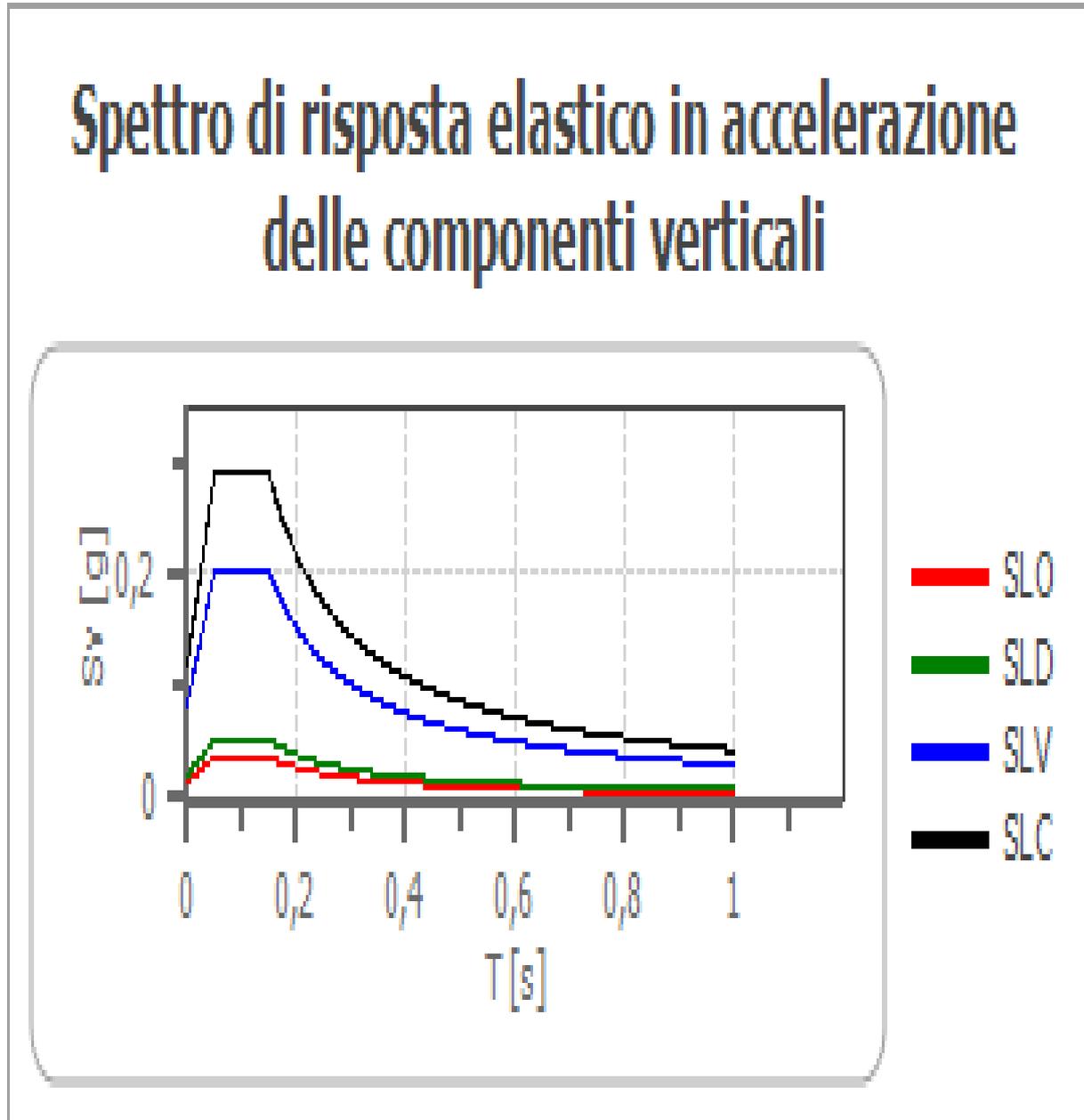
Coefficiente di smorzamento viscoso ξ : 5%
 Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}:1,000$



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,050	2,472	0,246	1,500	1,670	1,000	1,500	1,000	0,137	0,411	1,801	0,075	0,186
SLD	1,0	0,063	2,493	0,261	1,500	1,640	1,000	1,500	1,000	0,142	0,427	1,850	0,094	0,234
SLV	1,0	0,157	2,429	0,283	1,470	1,590	1,000	1,470	1,000	0,150	0,450	2,227	0,230	0,560
SLC	1,0	0,198	2,430	0,292	1,410	1,580	1,000	1,410	1,000	0,154	0,462	2,394	0,280	0,680

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ :5%
 Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$: 1,000



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,050	2,472	0,246	1	1,670	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,015	0,038
SLD	1,0	0,063	2,493	0,261	1	1,640	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,021	0,053
SLV	1,0	0,157	2,429	0,283	1	1,590	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,084	0,204
SLC	1,0	0,198	2,430	0,292	1	1,580	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,119	0,290

RISPOSTA SISMICA LOCALE AI SENSI DELLE D.G.R.E.R. N.476 DEL 20/04/2021 E N.564 DEL 12/05/2021

In base a quanto prescritto dal D.M. 17/01/2018 (tabella 3.2.II - categorie del sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato) si procede alla caratterizzazione del sottosuolo al fine di definire l'azione sismica di progetto. Il primo sottosuolo, in base alle risultanze avutesi con le indagini di sismica passiva a stazione singola, ha una velocità equivalente delle onde di taglio pari a $V_{s30} \approx 317 \text{ m/s} \div 347 \text{ m/s}$ (per i primi 30 m di profondità dalla quota del piano di fondazione dell'opera progettuale) pertanto il sottosuolo del sito di progetto ricade nella categoria:

C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiore 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.

Il fattore di amplificazione stratigrafica corrispondente alla categoria di suolo C rientra nel seguente range di valori $1,00 < S_s < 1,50$. Le caratteristiche della superficie topografica del sito di progetto rientrano nella categoria: "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $I \leq 15^\circ$ " pertanto il fattore di amplificazione topografica sarà $S_t = 1,0$.

È possibile valutare l'accelerazione massima attesa al sito mediante la relazione: $a_{max} = S_s \times S_t \times a_g$; dove: S_s = coefficiente che tiene conto dell'effetto dell'amplificazione stratigrafica; S_t = coefficiente che tiene conto dell'effetto dell'amplificazione topografica e a_g = accelerazione orizzontale massima sul suolo di categoria A.

Nel caso in esame si assume per la struttura progettuale vita nominale = 50 anni, classe d'uso = II, Stato Limite S.L.V. e Tempo di Ritorno $TR = 475$ anni (paragrafo 7.1 D.M. 17/01/2018). Si ha quindi per un suolo ricadente in categoria sismica C la seguente espressione per il coefficiente di amplificazione stratigrafica: $S_s = 1,70 - 0,60 \times F_o \times a_g/g = 1,70 - 0,60 \times 2,429 \times 0,160 \approx 1,47$; risulta pertanto che: $a_{max} = S_s \times S_t \times a_g = 1,47 \times 1,0 \times 0,160 \approx 0,235g$.

Riassumendo si ha:

$a_{max} = S_s \times S_t \times a_g = 1,47 \times 1,0 \times 0,160 \approx 0,235g$ (analisi semplificata secondo il D.M. 17/01/2018).

Risposta sismica locale nell'analisi di terzo livello di approfondimento secondo le Delibere di Giunta Regione Emilia Romagna n.476 del 20/04/2021 e n.564 del 12/05/2021 (integrazione).

Si esegue un'analisi di risposta sismica locale (R.S.L.) con terzo livello di approfondimento in base alle modalità raccomandate dalla Delibere di Giunta Regionale n.476 del 20/04/2021 e n.564 del 12/05/2021 (integrazione) - "Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49 - L.R. n.24/2017)" (<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/sismica/>) e alle indicazioni operative contenuti in "Indirizzi e criteri generali per la microzonazione sismica" (Bramerini F.; Di Pasquale G., Naso G., Severino M., Roma, 2008) [Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento della Protezione Civile] e ai sensi del D.M. LL.PP. 17/01/2018.

Analisi delle indagini geognostiche e classificazione del sottosuolo di fondazione

Per la definizione del modello sismo-stratigrafico del sito progettuale di via San Giovanni Bosco n.2/F a Bibbiano (RE) sono state effettuate: n.2 (due) indagini di sismica passiva a stazione singola tipo H.V.S.R. e n.3 prove penetrometriche dinamiche pesanti DPSH con massa battente di 63,5 kg. I risultati di tali indagini sono sintetizzati nella sottostante tabella n.10.

Effetti topografici

Le caratteristiche morfologiche dell'area oggetto di studio (superficie pianeggiante) fanno sì che la stessa sia assimilabile alla categoria topografica T1 (coefficiente di amplificazione topografica $S_T = 1,0$).

Tipo indagine	Denominazione prova	Lunghezza stendimento/Profondità prova	Profondità falda (m)	V _{s30} (0-30m) da piano fondazione	Tipo di sottosuolo da piano campagna
H.V.S.R.	HVSR1	stazione singola		317 m/s	C
H.V.S.R.	HVSR2	stazione singola		347 m/s	C
Prova penetrometrica dinamica pesante	DPSH1	-10,00 m dalla quota del p.a.c.	-8,00 m dalla quota del p.a.c.		
Prova penetrometrica dinamica pesante	DPSH2	-9,00 m dalla quota del p.a.c.	-8,00 m dalla quota del p.a.c.		
Prova penetrometrica dinamica pesante	DPSH3	-9,00 m dalla quota del p.a.c.	-8,00 m dalla quota del p.a.c.		

Tabella n.10 - Sintesi dei dati delle indagini geofisiche e penetrometriche eseguite in via San Giovanni Bosco n.2/F a Bibbiano (RE).

Simulazioni numeriche – scelta dell'input sismico

Per l'analisi è stato utilizzato software RSL III (Geostru) che sfrutta il "Codice di calcolo Shake 91" (Idriss e Sun, 1992) a partire da un input sismico costituito da un set di accelerogrammi naturali spettro-compatibili inclusi in una piattaforma WEBGIS definita utilizzando una procedura simile a quella adottata per la creazione di SEISM-HOME (Rota et al., 2012, <http://www.eucentre.it/seismhome.html>), un portale sviluppato da EUCENTRE per aiutare gli utenti non-specialisti (solitamente ingegneri o geologi) ad ottenere in modo semplice e veloce l'input sismico necessario ad effettuare delle analisi dinamiche di strutture e sistemi geotecnici. La procedura, che è stata applicata anche per la selezione degli accelerogrammi di riferimento per la Regione Toscana (<https://www.regione.toscana.it/-/accelerogrammi-di-riferimento-per-la-progettazione>, Zuccolo et al., 2014), è articolata in 4 passi principali:

1. mesozonazione del territorio in modo da raggruppare gli spettri di risposta di normativa (spettri di risposta elastici in accelerazione delle componenti orizzontali definiti dalle NTC08 ed NTC18 per sito rigido con superficie topografica orizzontale - sottosuolo di categoria 'A') associati ai nodi del reticolo di riferimento interni al territorio regionale (Figura 1) in gruppi caratterizzati da forme spettrali simili e ampiezza limitata (questa operazione è stata effettuata indipendentemente per ciascun periodo di ritorno considerato);

2. definizione di uno spettro di risposta di riferimento ('spettro genitore') per ciascun gruppo individuato;

3. selezione di un gruppo di 7 accelerogrammi naturali spettro-compatibili per ciascuno spettro di risposta di riferimento individuato, considerando le prescrizioni delle NTC08 e NTC18 (ossia lo scarto tra lo spettro medio ottenuto dai 7 accelerogrammi e lo spettro di riferimento non deve superare una specifica soglia all'interno di un prefissato campo di periodi);

4. scalatura lineare degli accelerogrammi selezionati in modo da ottenere un gruppo di 7 accelerogrammi spettro-compatibili per uno spettro di risposta qualsiasi all'interno della Regione Emilia Romagna.

Attraverso questa procedura, per la Regione Emilia-Romagna sono stati individuati 8 gruppi di accelerogrammi per il periodo di ritorno di 101 anni e 7 gruppi per i periodi di ritorno di 475 anni e 975 anni. Per ciascuno dei gruppi individuati è stato quindi selezionato uno *spettro di riferimento* ('spettro genitore') da utilizzare per la selezione e scalatura lineare degli accelerogrammi naturali. La selezione degli accelerogrammi naturali è stata effettuata mediante il programma ASCONA (Automated Selection of COmpatible Natural Accelerograms, Corigliano et al., 2012), che implementa una procedura semi-automatica per la selezione degli accelerogrammi reali spettro- compatibili. La procedura consente di scegliere, da una banca-dati predefinita, un set di accelerogrammi naturali che soddisfano diversi criteri, con l'ulteriore condizione di spettro- compatibilità rispetto ad uno spettro di riferimento in uno specificato campo di periodi. Come banca

dati è stato utilizzato l'archivio accelerometrico aggiornato in questo progetto (vedi il secondo rapporto consegnato, intitolato "Creazione dei database e della piattaforma WebGIS").

ASCONA richiede che siano stabiliti i criteri di selezione, ovvero il numero di accelerogrammi da includere nel gruppo (7 secondo le NTC08), gli intervalli di magnitudo e distanza epicentrale, i valori massimo e minimo dei fattori di scala, lo spettro di riferimento per la verifica della spettro-compatibilità, l'ordinata spettrale rispetto a cui scalare gli accelerogrammi, l'intervallo di periodi rispetto a cui deve essere operato il controllo della spettro-compatibilità, il valore massimo dello scarto negativo tra lo spettro medio ottenuto dagli accelerogrammi selezionati e lo spettro di riferimento (affinché la spettro-compatibilità sia verificata) e il valore massimo accettabile della deviazione δ (Iervolino et al., 2008). Il programma è basato su un approccio stocastico Monte Carlo per la determinazione del gruppo di accelerogrammi che meglio soddisfa i requisiti imposti dall'utente. L'algoritmo genera in modo sequenziale un numero elevato di combinazioni di accelerogrammi naturali che rispettano i criteri di selezione, ne calcola lo spettro di risposta medio (scalato al valore dell'ordinata spettrale dello spettro di riferimento scelta) e lo confronta con lo spettro di riferimento calcolandone lo scarto medio, lo scarto negativo massimo, la deviazione spettrale media e la deviazione spettrale massima, all'interno di un prefissato campo di periodi (ad es. tra 0.15 e 2s).

Se il massimo scarto negativo non eccede lo scarto ammissibile (ad es. $\leq 10\%$), il set di accelerogrammi rispetta il criterio di spettro-compatibilità. La procedura viene ripetuta più volte fino a trovare un numero di gruppi prefissato che rispettano i requisiti di spettro-compatibilità. Il gruppo restituito in uscita da ASCONA è quello caratterizzato dal minimo scarto medio. In accordo alle NTC08 ed NTC18, la spettro-compatibilità è stata valutata controllando che lo spettro medio non presentasse uno scarto in difetto superiore al 10% rispetto allo spettro di riferimento, nell'intervallo di periodi 0.15s ÷ 2.0s, mentre il numero di accelerogrammi da includere in un gruppo è stato fissato pari a 7.

Gli accelerogrammi sono stati scalati linearmente imponendo che la loro accelerazione di picco in valore assoluto fosse pari al valore di a_g dello spettro di riferimento oppure imponendo che l'ordinata spettrale in corrispondenza del periodo T_c^* dello spettro di riferimento fosse pari a quella dello spettro di riferimento. Questa seconda opzione è stata adottata in tre selezioni, nelle quali lo spettro di riferimento era caratterizzato da un elevato valore di T_c^* , che non consentiva di ottenere una selezione soddisfacente scalando gli accelerogrammi al valore di a_g .

Per quanto riguarda la definizione degli intervalli di magnitudo e distanza epicentrale da utilizzare è stato inizialmente fatto riferimento ai risultati di *disaggregazione* riportati sul sito <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>. La disaggregazione è un'operazione che consente di separare i diversi contributi alla pericolosità sismica individuando, per un prefissato tasso di eccedenza annuale del parametro di scuotimento considerato, quale sorgente sismica (definita dalla coppia magnitudo(M) – distanza(d)) ha la maggiore probabilità di contribuire alla pericolosità del sito di riferimento. Tale studio è stato condotto per diversi periodi di ritorno con riferimento al periodo corrispondente al valore di a_g (e cioè $T=0$). Tuttavia, i risultati della disaggregazione cambiano al variare del periodo dell'oscillatore considerato (Chioccarelli et al., 2010), e più di un singolo evento di scenario può controllare la pericolosità del sito, specialmente se più sorgenti condizionano la pericolosità del sito. In generale pertanto, al fine di identificare le coppie (M, d) più importanti che contribuiscono alla definizione dello spettro di risposta probabilistico, è necessario eseguire la disaggregazione per valori dell'accelerazione spettrale corrispondenti ad una gamma sufficientemente ampia di periodi. L'ampiezza della gamma è, in ultima analisi, funzione della forma dello spettro di risposta e quindi dalle caratteristiche sismogenetiche e di attenuazione regionali (Lai et al., 2008). In particolare, al crescere del periodo considerato, la coppia magnitudo-distanza che maggiormente condiziona la pericolosità è costituita da un evento di magnitudo maggiore a più grande distanza. Per tale motivo i risultati dello studio di disaggregazione ottenuti per a_g sono stati utilizzati come limite inferiore degli intervalli di magnitudo e distanza ai fini della selezione. La selezione degli accelerogrammi naturali è stata effettuata per gli 8 spettri genitori identificati per il periodo di ritorno di 101 anni, i 7 spettri genitori relativi al periodo di ritorno di 475 anni e i 7 spettri genitori associati al periodo di ritorno di 975 anni, per un totale di 22 selezioni di accelerogrammi naturali. Gli accelerogrammi spettro-compatibili per gli spettri di risposta diversi dagli spettri genitori (chiamiamoli SNTC) sono stati

ottenuti a partire dagli accelerogrammi selezionati per questi ultimi, scalandoli opportunamente. In particolare, sono stati applicati due fattori di scala: SF1 e SF2.

Dalla piattaforma WebGIS all'indirizzo <http://egeos-test.eucentre.it/rer/home.html> è possibile scaricare l'input sismico su sito rigido selezionato per ciascun nodo del reticolo di riferimento considerato dalle NTC08 (D.M. 14.01.2008) ed NTC18 (D.M. 17.01.2018) interno al territorio della Regione Emilia-Romagna. L'input sismico è disponibile per i periodi di ritorno di 101, 475 e 975 anni. L'input sismico è espresso in termini di un gruppo di 7 accelerogrammi reali, registrati su roccia, spettro-compatibili in media agli spettri di normativa definiti nelle NTC08.

Verrà scaricato uno ZIP file denominato **TR [periodo di ritorno]_ID[ID nodo reticolo di riferimento].zip** (Esempio: TR475_ID13818.zip), che contiene 8 file di testo:

- 7 files di testo denominati **TR [periodo di ritorno]_ID[ID nodo reticolo di riferimento]_[indice accelerogramma].txt** contenenti ciascuno un accelerogramma e le corrispondenti storie temporali in velocità e spostamento. [indice accelerogramma] è un numero intero che varia da 1 a 7. Ciascun file è formato da 4 righe di intestazione (nella seconda è riportato il fattore di scala rispetto agli accelerogrammi originari) e da un numero variabile di righe suddivise in quattro colonne. La prima colonna contiene la serie temporale (in s), la seconda i valori di accelerazione (in m/s²), la terza i valori di velocità (in m/s) e la quarta i valori di spostamento (in m):

```

TR101_ID13818_1.txt - Blocco note di Windows
File Modifica Formato Visualizza ?
% Scaled time histories
% Scaling Factor 0.4
% Time Acceleration Velocity Displacement
% (s) (m/s2) (m/s) (m)
0.0000 -0.0000008 0.000000 0.000000
0.0050 0.0000003 -0.000000 -0.000000
0.0100 -0.0000006 -0.000000 -0.000000
0.0150 0.0000001 -0.000000 -0.000000
0.0200 -0.0000033 -0.000000 -0.000000
0.0250 -0.0000096 -0.000000 -0.000000
0.0300 -0.000201 -0.000001 -0.000000
0.0350 -0.000331 -0.000003 -0.000000
0.0400 -0.000461 -0.000004 -0.000000
0.0450 -0.000443 -0.000007 -0.000000
0.0500 -0.000380 -0.000009 -0.000000
0.0550 -0.000288 -0.000010 -0.000000
0.0600 -0.000234 -0.000012 -0.000000
0.0650 -0.000286 -0.000013 -0.000000
0.0700 -0.000092 -0.000014 -0.000000
0.0750 -0.000072 -0.000014 -0.000000
0.0800 -0.000108 -0.000015 -0.000000
0.0850 0.000111 -0.000015 -0.000001
    
```

- 1 file di testo denominato **TR[periodo di ritorno]_ID[ID nodo reticolo di riferimento]_info.txt** contenente le informazioni sui 7 accelerogrammi selezionati. Questo file è formato da 1 riga di intestazione e da 7 righe, ciascuna riferita ad uno degli accelerogrammi selezionati. Ciascuna riga contiene i seguenti campi: magnitudo (Mw) dell'evento che ha generato l'accelerogramma, distanza epicentrale (km) alla quale è avvenuta la registrazione, fattore di scala rispetto all'accelerogramma originario, nome della banca-dati alla quale appartiene l'accelerogramma originario (ESM,

```

TR101_ID13818_info.txt - Blocco note di Windows
File Modifica Formato Visualizza ?
% Magnitude(Mw) Epic.Distance(km) Scaling_Factor Source File_Name
6.93 83.53 0.45 % NGA RSN804_LOMAP_SSF205.AT2
5.90 50.00 1.34 % ESM FC.ALG..HNN.D.19891029.190913.C.ACC.ASC
6.20 81.40 1.81 % NGA RSN2929_CHICHI.04_TTN042W.AT2
6.60 88.00 1.54 % KiKnet OKYH020010061330.NS2
6.60 62.00 0.63 % KiKnet SAGH050503201053.NS2
6.10 97.00 0.38 % KiKnet MYGH041103280724.EW2
6.50 44.30 1.30 % ESM IT.GNU..HGN.D.20161030.064018.C.ACC.ASC
    
```

NGA-West2 o KiK-net) e nome dell'accelerogramma all'interno della banca-dati:

(Definizione degli accelerogrammi per analisi dinamiche si strutture e sistemi geotecnici - Regione Emilia Romagna - Eucentre - 2021).

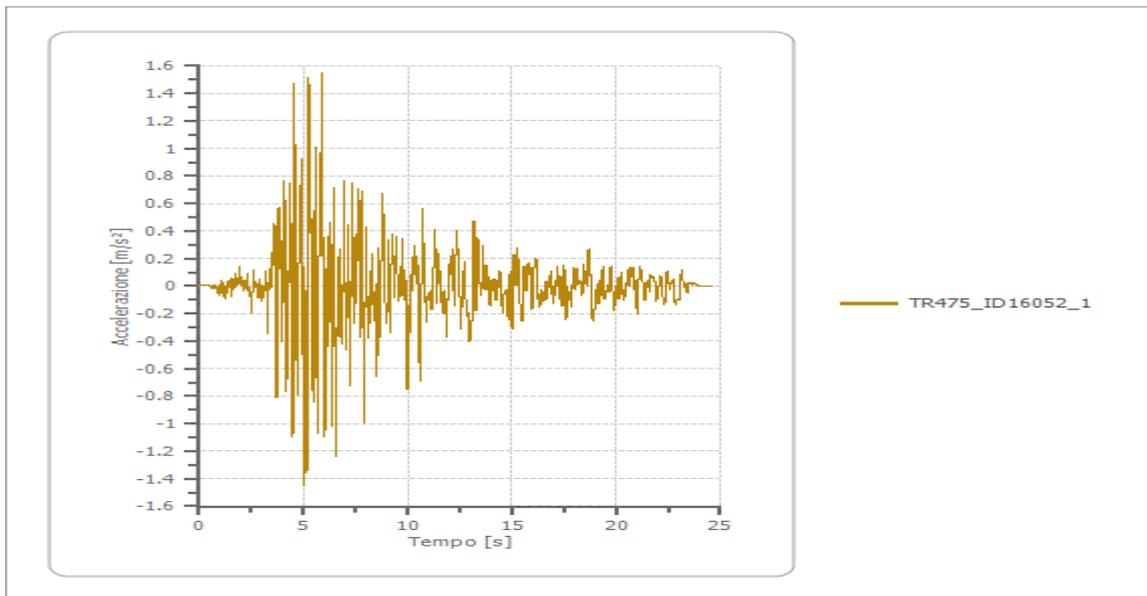


Figura n.17 - TR475_ID16052_1

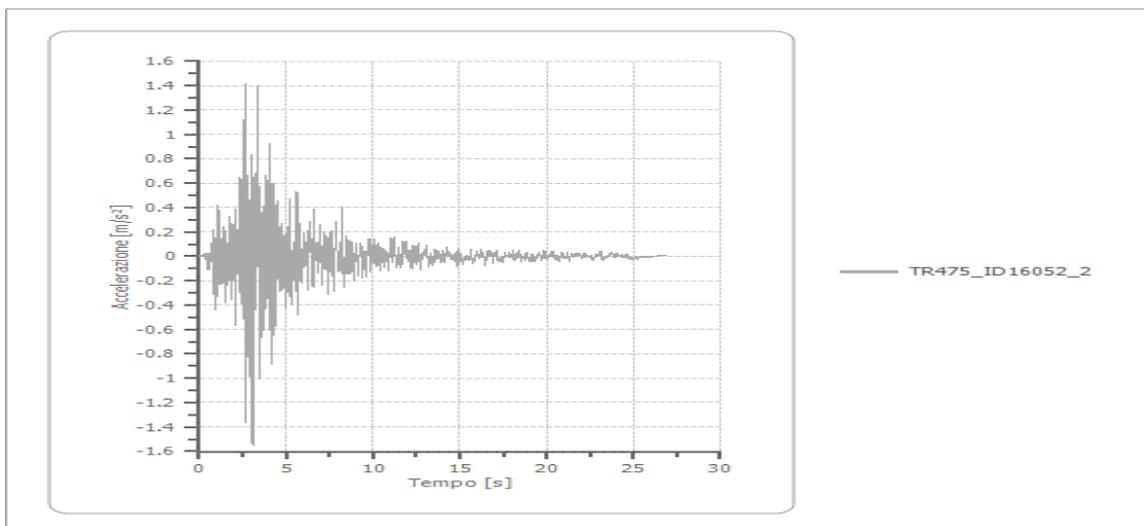


Figura n.18 - TR475_ID16052_2

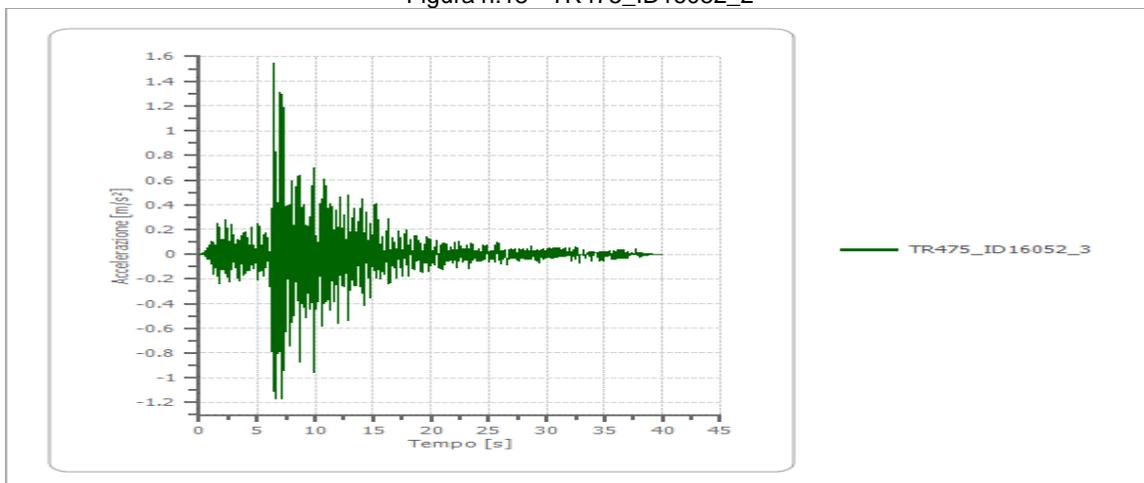


Figura n.19 - TR475_ID16052_3

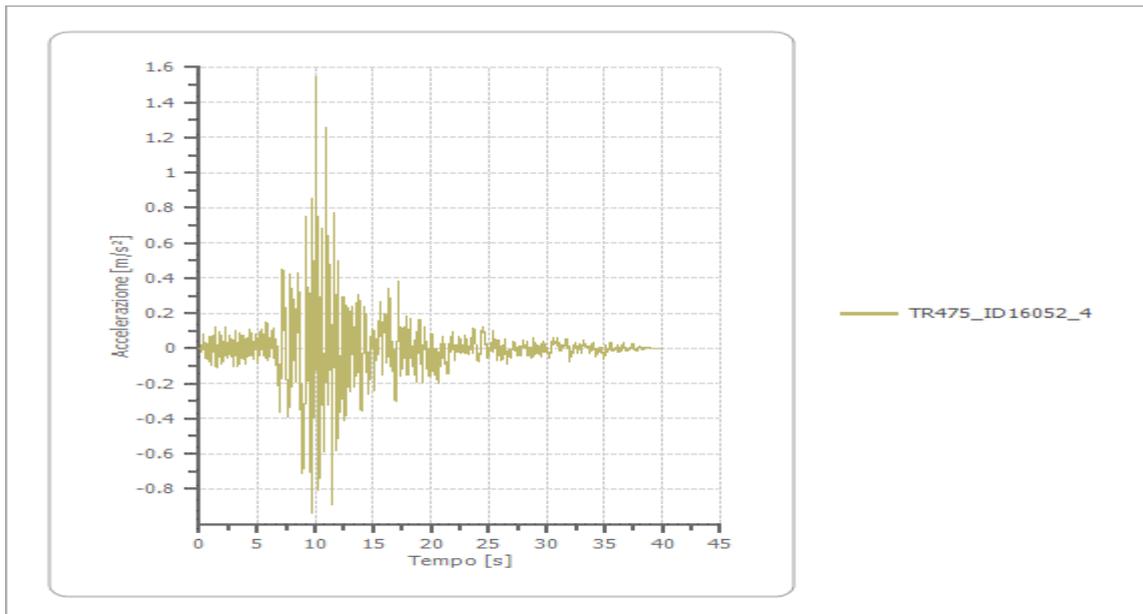


Figura n.20 - TR475_ID16052_4

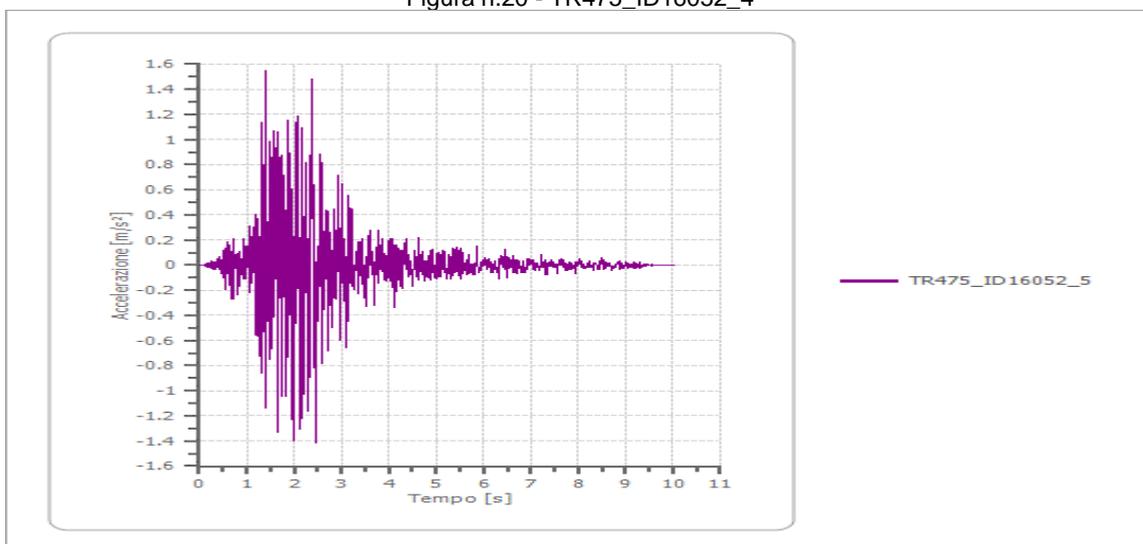


Figura n.21 - TR475_ID16052_5

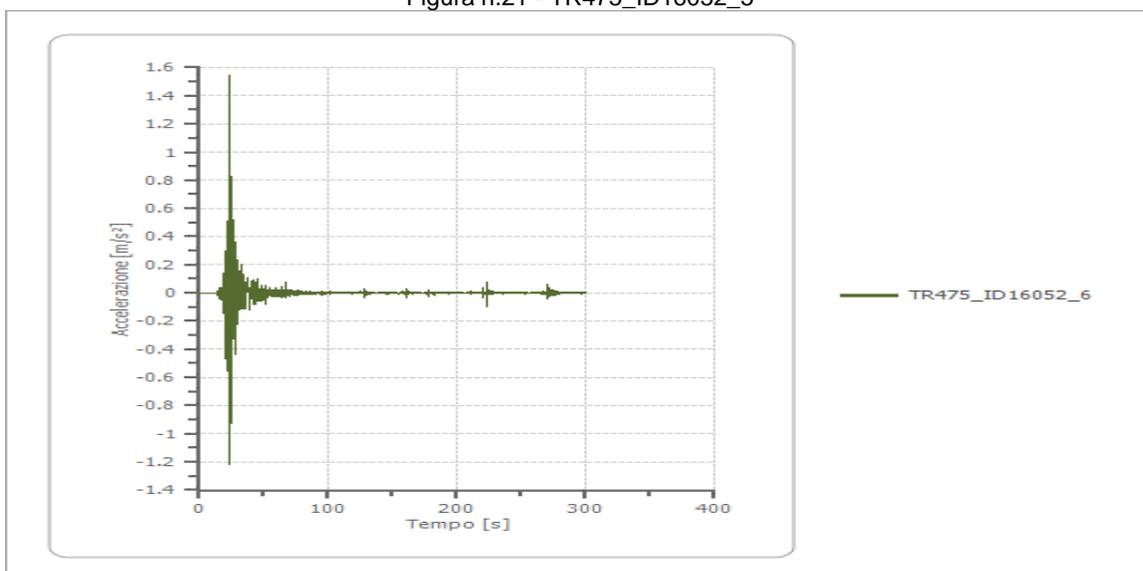


Figura n.22 - TR475_ID15832_6

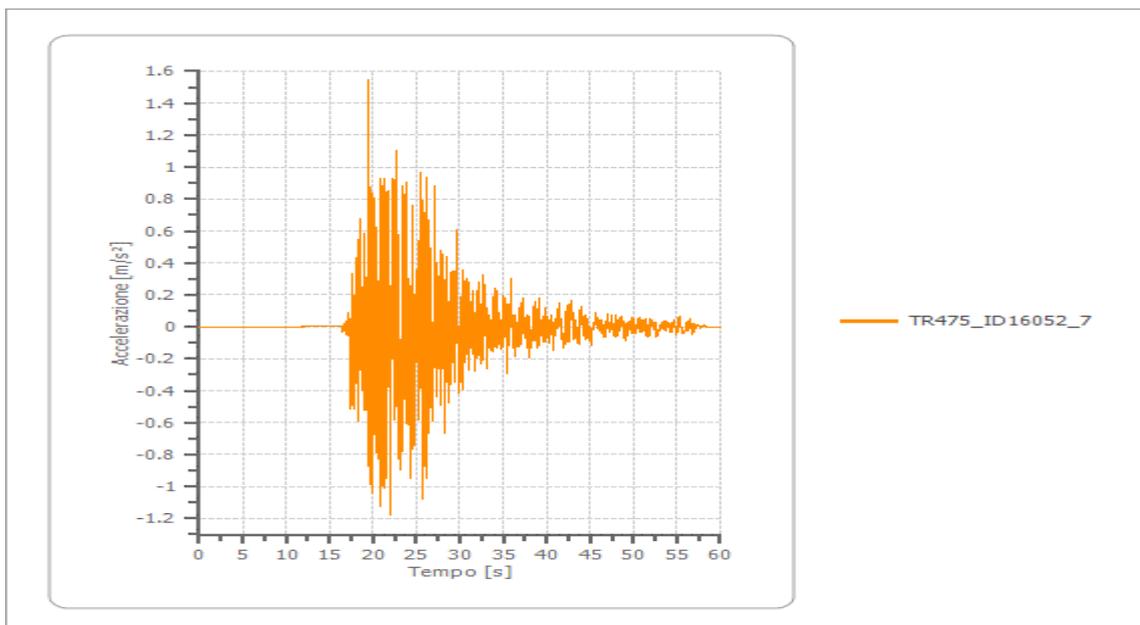


Figura n.23 - TR475_ID16052_7

Modello geosismico locale

Si riporta di seguito il modello sismostratigrafico utilizzato nelle simulazioni numeriche effettuate per la valutazione delle condizioni di amplificazione locale del moto del suolo nella microzona di progetto (tabella n.11).

Sismostrato	Natura terreno	Spessore (m)	V _s (m/s)	G _{max} (MPa)	Smorzamento (%)	γ (kN/m ³)	G/G _{omax} - D/D _{omax} Model
1	Limi argillosi	10,00	200	70	2%	19,20	Curve Regione Lombardia Litologia limi argillosi.
2	Ghiaie	20,00	300	155	2%	20,00	Curve Regione Lombardia Litologia ghiaie.
3	Limi argillosi	30,00	325	169	2%	20,50	Curve Regione Lombardia Litologia limi argillosi.
4	Ghiaie	20,00	400	302	2%	21,00	Curve Regione Lombardia Litologia ghiaie.
5	Bedrock	➤ 80,00	650	774	--	21,50	Curve roccia Idriss (1990)

Tabella n.11 - Modello sismostratigrafico del sottosuolo di via San Giovanni Bosco n.2/F a Bibbiano (RE).

Grado di attendibilità del Modello sismostratigrafico

Come indicato nel modello geosismico locale relativo alla microzona di progetto, per tenere conto della non linearità dei terreni (Metodo lineare equivalente - EQL), per ogni strato utilizzato nella modellazione numerica sono state utilizzate opportune curve di decadimento di letteratura (Regione Lombardia e Idriss 1990) del modulo di taglio (G/G₀) e del fattore di smorzamento (D/D₀) in funzione del livello di deformazione tangenziale del terreno. Il modello sismostratigrafico del sito progettuale è una sintesi concettuale dei dati sismostratigrafici ottenuti dalle indagini di sismica passiva a stazione singola eseguite, dei dati delle prove penetrometriche dinamiche pesanti eseguite, dai dati stratigrafici desunti dallo studio di microzonazione sismica comunale (Barani D., Barani S. - 2010) e da quelli dalla Banca Dati Geognostici del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli (S.G.S.S.) della Regione Emilia Romagna (2021).

Modalità d'interpretazione dei risultati

È stato applicato un livello 3 di approfondimento per avere informazioni di maggior dettaglio e affidabilità al fine di discriminare, per la fase esecutiva, tra l'applicabilità dell'approccio semplificato (NTC2018) e l'utilizzo di specifiche analisi di Risposta Sismica Locale (R.S.L.). In particolare, nel sottoparagrafo "Analisi dei risultati", si confronteranno gli spettri di risposta elastici in accelerazione al 5% dello smorzamento critico calcolati in free field e riferiti ad un determinato livello di pericolosità sismica (ovvero ad un determinato tempo di ritorno - in questo caso assunto pari a 475 anni) con il

corrispondente spettro di risposta elastico assegnato dall'approccio semplificato di NTC2018 (nel caso specifico - terreni ricadenti in categoria sismica C).

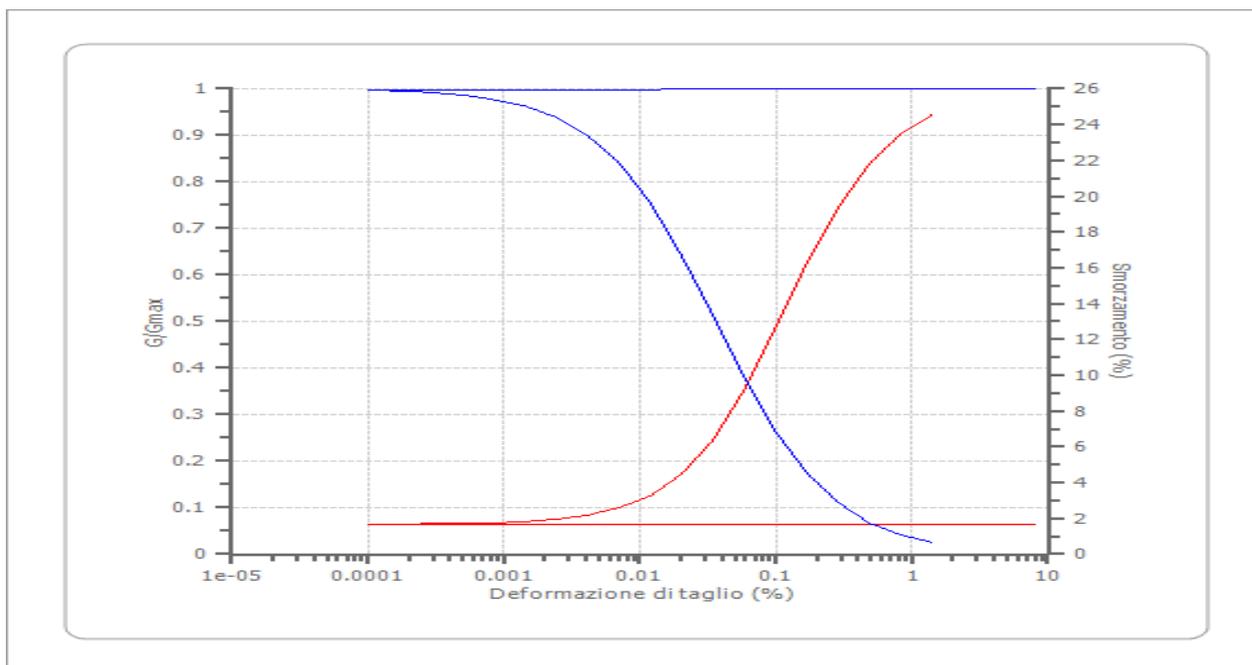


Figura n.24 - Curve di decadimento del modulo di taglio (G/G_0) e del fattore di smorzamento (D/D_0) in funzione del livello di deformazione tangenziale del terreno per una litologia del sottosuolo costituita da limi argillosi (Regione Lombardia).

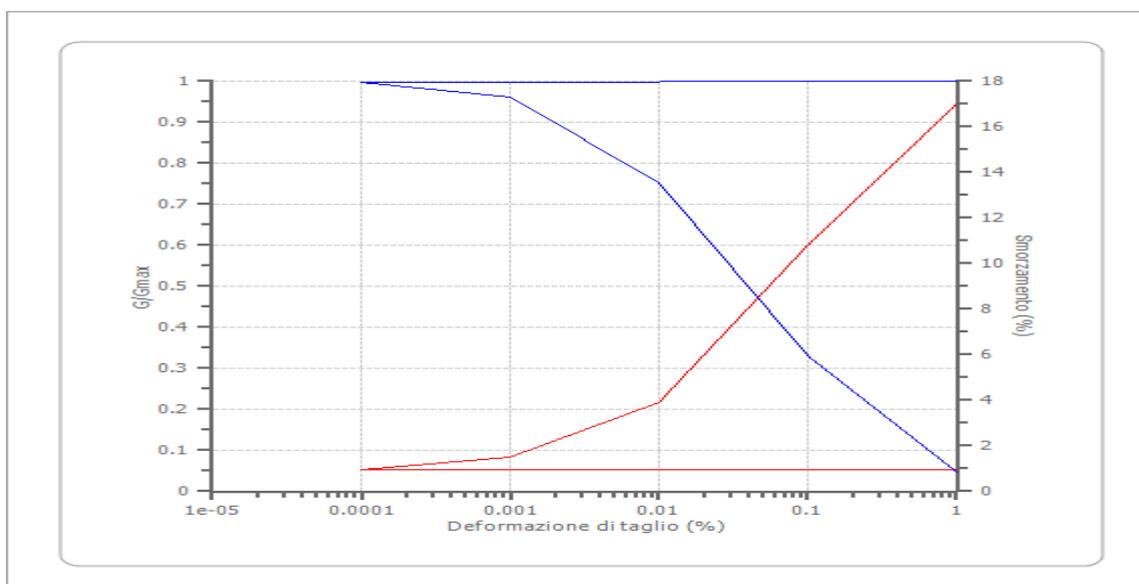


Figura n.25 - Curve di decadimento del modulo di taglio (G/G_0) e del fattore di smorzamento (D/D_0) in funzione del livello di deformazione tangenziale del terreno per una litologia del sottosuolo costituita da ghiaie (Regione Lombardia).

Lo spettro di risposta elastico calcolato tramite simulazione numerica verrà "normalizzato" (secondo le indicazioni fornite dal Gruppo di lavoro Microzonazione Sismica 2008 – "*Indirizzi e Criteri per la Microzonazione sismica – Conferenza delle Regioni e delle Province autonome – Dipartimento della Protezione Civile*" - vedi paragrafo 2.5.4.31 - e 2.5.4.3.3) riportandolo nella forma usata dalle NTC2018 (ovvero delimitando i tratti ad accelerazione, velocità e spostamento costante). Il confronto sarà eseguito in termini di valori spettrali e si riterrà accettabile lo spettro proposto da NTC2018 qualora lo spettro calcolato presenti differenze inferiori al 10% (Supplemento alla rivista "Ingegneria sismica" – anno XXVIII – n. 2 – 2011 - Colombi A., Compagnoni M. e Pergalani F. - "*Risposta sismica locale: La MS come strumento discriminante per l'utilizzo di approcci semplificati o di specifiche analisi per la progettazione*").

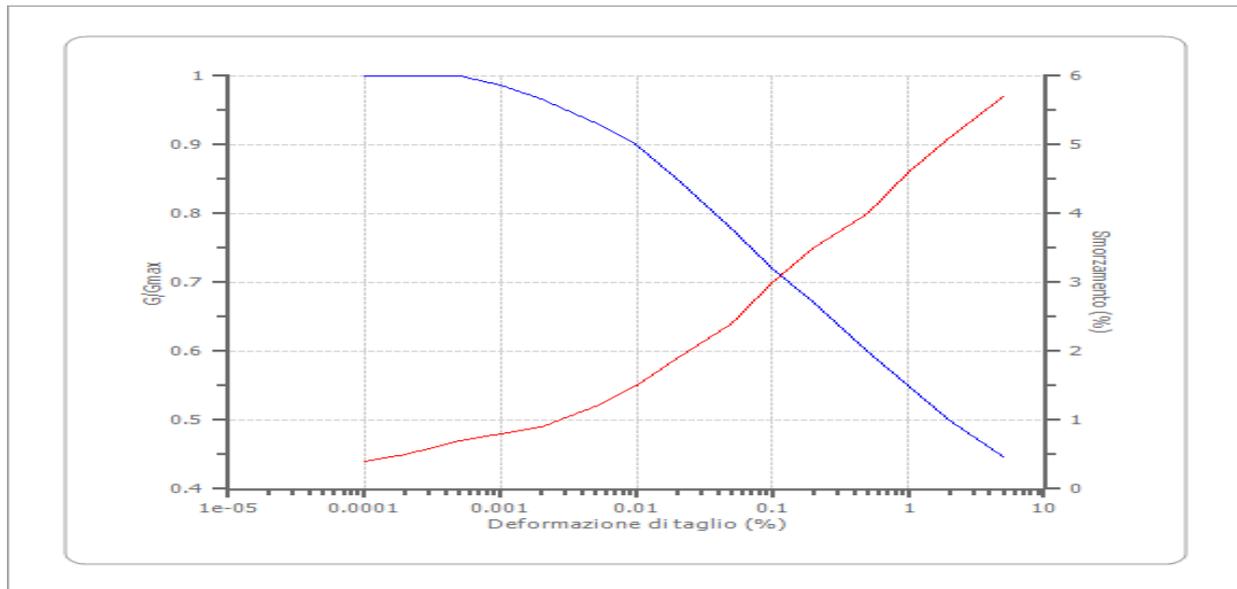


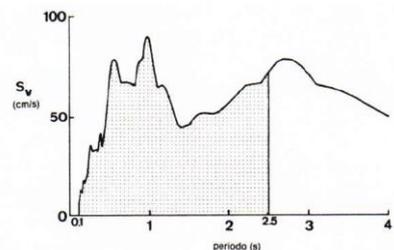
Figura n.26 - Curve di decadimento del modulo di taglio (G/G_0) e del fattore di smorzamento (D/D_0) in funzione del livello di deformazione tangenziale del terreno per una litologia del sottosuolo costituita da roccia (Idriss – 1990).

L'analisi di pericolosità locale utilizzerà i seguenti descrittori dell'amplificazione litostratigrafica:

FA = PGA/PGA_0 - rapporto tra la massima ampiezza dell'accelerazione su affioramento rigido ($a_{max,r}$) e la massima ampiezza dell'accelerazione alla superficie del deposito ($a_{max,s}$) alla frequenza f .

FH = SI/SI_0 = rapporto dell'indice di Housner (SI) tra lo spettro di pseudo - velocità (PSV) su superficie (PSV_{output}) e quello su affioramento rigido (PSV_{input}) in tre diversi intervalli di periodo ($T = 0,1s \div 0,5 s$; $T = 0,5s \div 1,0s$ e $T = 1,0s \div 1,5s$).

$$FH = \frac{SI_{output}(\xi)}{SI_{input}(\xi)} = \frac{\int_a^b S_{V_{output}}(\xi, T) dT}{\int_a^b S_{V_{input}}(\xi, T) dT}$$



FA = (fattore di amplificazione per gli effetti stratigrafici a basso periodo determinato intorno al periodo proprio $TA - TA_i$ per l'input e TA_0 per l'output - per il quale si ha il massimo della risposta in accelerazione) = rapporto tra gli spettri di input e di output in accelerazione.

$$SA_m = \frac{1}{TA} \int_{0.5 \cdot TA}^{1.5 \cdot TA} SA(T) dT \quad FA = SA_{m,0} / SA_{m,i}$$

FV = (fattore di amplificazione per gli effetti stratigrafici ad alto periodo determinato intorno al periodo proprio TV (TV_i per l'input e TV_0 per l'output) per il quale si ha la massima risposta in pseudovelocità) = rapporto tra gli spettri di input e di output in pseudovelocità.

$$SV_m = \frac{1}{0.4 \cdot TV} \int_{0.8 \cdot TV}^{1.2 \cdot TV} SV(T) dT \quad FA = SV_{m,0} / SV_{m,i}$$

H_{SM} = scuotimento atteso al sito in valore assoluto (accelerazione in cm/s^2) dato dal prodotto del parametro Intensità dello Spettro di accelerazione [ACCELERATION SPECTRUM INTENSITY] (ASI_{UHS}) valore integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato per l'intervallo di periodi $0,1 s \leq T \leq 0,5 s$ diviso per ΔT (in questo caso pari a 0,4 secondi) e moltiplicato per il fattore di amplificazione in accelerazione (FA) calcolato per lo stesso intervallo di periodi:

$$H_{SM} = \frac{ASI_{UHS}}{\Delta T} \times FA$$

I valori di $ASI_{UHS}/\Delta T$, calcolati per ogni punto della griglia INGV, sono riportati nel file all_4_coord.kmz (cartella Allegato_4.zip) disponibile nella pagina web dedicata agli indirizzi per gli studi di microzonazione sismica a cura del Servizio Geologico, Sismico e dei Suolo (Allegato A4).

Analisi dei risultati

Si riporta di seguito lo spettro elastico normalizzato (figura n.27) desunto tramite le simulazioni numeriche effettuate sul modello sismostratigrafico riportato nella tabella n.11, i parametri dello spettro normalizzato per come calcolato secondo le simulazioni numeriche dell'algorithmo di calcolo (tabella n.12 - SHAKE - 1991), i fattori di amplificazione su intensità spettrale (tabella n.13 - SHAKE - 1991), i dati riassuntivi dei fattori di amplificazione (ICMS 2018) per il sito progettuale (tabella n.14), i fattori di amplificazione dello spettro normalizzato (ICMS 2018 - tabella n.15) e i parametri dello spettro elastico in superficie normalizzato (tabella n.16). Inoltre nella tabella n.17 è riportato il confronto tra i parametri sismici degli spettri di risposta elastici di normativa. La figura n.28 riporta il confronto fra gli spettri di input, lo spettro medio e lo spettro elastico in superficie normalizzato infine la figura n.29 ritrae lo spettro elastico in superficie normalizzato a confronto con gli spettri di normativa per categoria di suolo A e C.

Il valore di accelerazione orizzontale massima di ancoraggio dello spettro di risposta elastico, mediante analisi con terzo livello di approfondimento è pari ad $a_{max} = PGA = 2,628 m/s^2 \approx 0,268g$ considerando che $a_{max0} = PGA_0 = 1,546 m/s^2 \approx 0,157g$, valido per il sito progettuale, è stato moltiplicato per un fattore di amplificazione pari a $FA_{(PGA/PGA_0)} = 1,7$ per come determinato dal presente studio (tabella n.12).

Ag [m/s ²]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [m/s ²]	Se(TB) [m/s ²]
2.628	2.429	--	0.190	0.371	2.228	2.628	6.642

Tabella n.12 - Parametri dello spettro normalizzato per come calcolato secondo le simulazioni numeriche dell'algorithmo di calcolo (SHAKE - 1991).

Periodo minimo [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
0.100	0.500	0.055	0.090	0.200	1.641
0.500	1.000	0.081	0.156	0.500	1.924
1.000	1.500	0.078	0.148	0.667	1.901

Tabella n.13 - Fattori di amplificazione su intensità spettrale (SHAKE -1991).

FATTORI DI AMPLIFICAZIONE						
$FA_{(PGA/PGA_0)}$	FH (0.1-0.5 s)	FH (0.5-1.0 s)	FH (1.0-1.5 s)	FA	FV	Informazioni sulla zona stabile suscettibile di amplificazioni locali
1,7	1,6	1,9	1,9	1,5	1,9	MARGINE di tipo A: Settore di transizione tra la zona collinare (Appennino) e la pianura caratterizzato da terreni fini o grossolani poco consolidati, di spessore non superiore ai 30 m, sovrastanti orizzonti prevalentemente grossolani a comportamento più rigido (indicativamente con valore di Vs media almeno doppio rispetto a quello dei sedimenti sovrastanti) - abachi della D.G.R.E.R. n.630 del 29/04/2019. $ASI_{UHS}/\Delta T \times FA = 344 \times 1,7 = 584,8$. Frequenza di risonanza pari a circa $f \approx 9,1$ Hertz $\div 9,2$ Hertz.

Tabella n.14 riassuntiva dei fattori di amplificazione (ICMS 2018) per il sito progettuale di via San Giovanni Bosco n.2/F a Bibbiano (RE).

Fattori di amplificazione ICMS 2018	
Tai	0.170 [s]
Tvi	0.700 [s]
Tao	0.200 [s]
Tvo	0.900 [s]
Sami	3.715 [m/s ²]
Svmi	0.168 [m/s]
Samo	5.542 [m/s ²]
Svmo	0.319 [m/s]
Fa	1.492 [-]
Fv	1.895 [-]
TB	0.190 [s]
TC	0.371 [s]
TD	2.228 [s]
SA(0)	2.628 [m/s²]
SA(TB)	6.642 [m/s ²]

Tabella n.15 - Fattori di amplificazione ICMS 2018

Al fine di discriminare, per la fase esecutiva degli interventi, tra l'utilizzo di spettri derivanti da analisi di risposta sismica locale mediante codici numerici e spettri derivanti dall'approccio semplificato previsto dalle NTC2018 è stato effettuato un confronto tra gli spettri elastici in accelerazione al 5% dello smorzamento critico calcolati in *free field* e riferiti ad un livello di pericolosità sismica (475 anni - Classe II - Vita nominale = 50 anni - S.L.V.) con il corrispondente spettro di risposta elastico assegnato dall'approccio semplificato di NTC2018 (figura n.29). **In particolare l'analisi effettuata evidenzia che l'ordinata spettrale di normativa risulta essere inferiore a quella ottenuta dalla normalizzazione dello spettro derivante da simulazione numerica. Si ritiene pertanto accettabile, in fase esecutiva (per tempi di riferimento per l'azione sismica di 475 anni - Classe II - Vita nominale = 50 anni - S.L.V.) l'utilizzo dello spettro desumibile da analisi di terzo livello (spettro normalizzato) quindi l'impiego di un valore di accelerazione orizzontale massima di ancoraggio dello spettro di risposta elastico pari ad $a_{max} = PGA = 0,268g$.**

Periodo [s]	Accelerazioni e [m/s ²]								
0.00	2.6289	0.26	6.6418	0.52	4.7386	0.98	2.5144	2.25	1.0952
0.01	2.9400	0.27	6.6418	0.53	4.6492	1.00	2.4641	2.30	1.0713
0.02	3.1457	0.28	6.6418	0.54	4.5631	1.05	2.3468	2.35	1.0486
0.03	3.3513	0.29	6.6418	0.55	4.4802	1.10	2.2401	2.40	1.0267
0.04	3.5570	0.30	6.6418	0.56	4.4002	1.15	2.1427	2.50	0.9856
0.05	3.7626	0.31	6.6418	0.57	4.3230	1.20	2.0534	2.60	0.9477
0.06	3.9683	0.32	6.6418	0.58	4.2484	1.25	1.9713	2.70	0.9126
0.07	4.1739	0.33	6.6418	0.60	4.1068	1.30	1.8955	2.80	0.8800
0.08	4.3796	0.34	6.6418	0.62	3.9743	1.35	1.8253	2.90	0.8497
0.09	4.5852	0.35	6.6418	0.64	3.8501	1.40	1.7601	3.00	0.8214
0.10	4.7909	0.36	6.6418	0.66	3.7335	1.45	1.6994	3.10	0.7949
0.11	4.9965	0.37	6.6418	0.68	3.6237	1.50	1.6427	3.20	0.7700
0.12	5.2022	0.38	6.4845	0.70	3.5201	1.55	1.5897	3.30	0.7467
0.13	5.4078	0.39	6.3182	0.72	3.4224	1.60	1.5401	3.40	0.7247
0.14	5.6135	0.40	6.1602	0.74	3.3299	1.65	1.4934	3.50	0.7040
0.15	5.8191	0.41	6.0100	0.76	3.2422	1.70	1.4495	3.60	0.6845
0.16	6.0248	0.42	5.8669	0.78	3.1591	1.75	1.4081	3.70	0.6660
0.17	6.2305	0.43	5.7304	0.80	3.0801	1.80	1.3689	3.80	0.6484
0.18	6.4361	0.44	5.6002	0.82	3.0050	1.85	1.3319	3.90	0.6318
0.19	6.6418	0.45	5.4758	0.84	2.9334	1.90	1.2969	4.00	0.6160
0.20	6.6418	0.46	5.3567	0.86	2.8652	1.95	1.2636		
0.21	6.6418	0.47	5.2428	0.88	2.8001	2.00	1.2320		
0.22	6.6418	0.48	5.1335	0.90	2.7379	2.05	1.2020		
0.23	6.6418	0.49	5.0288	0.92	2.6784	2.10	1.1734		
0.24	6.6418	0.50	4.9282	0.94	2.6214	2.15	1.1461		
0.25	6.6418	0.51	4.8316	0.96	2.5668	2.20	1.1200		

Tabella n.16 - Valori dello spettro normalizzato di risposta elastico in superficie validi per il sito progettuale

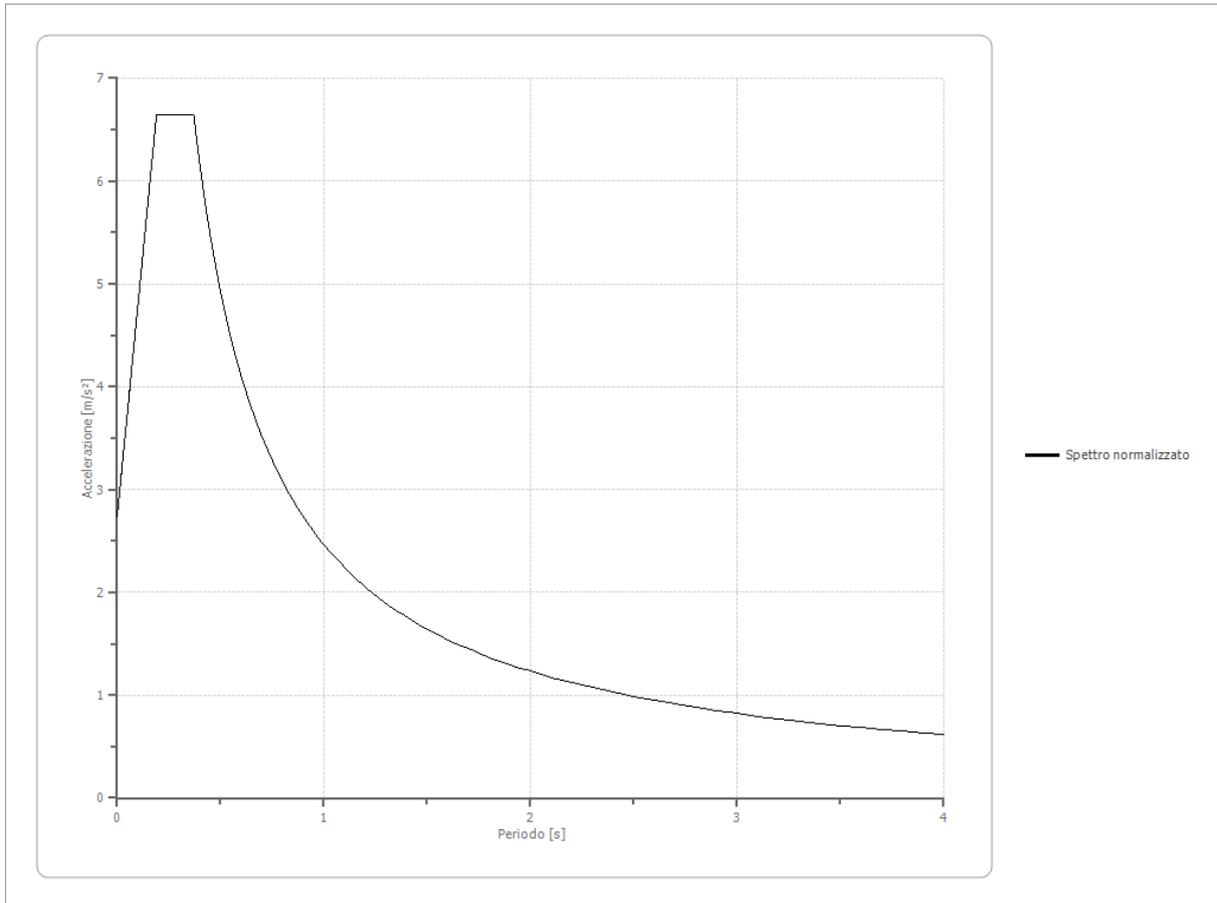


Figura n.27 - Spettro elastico in superficie normalizzato relativo al sito progettuale.

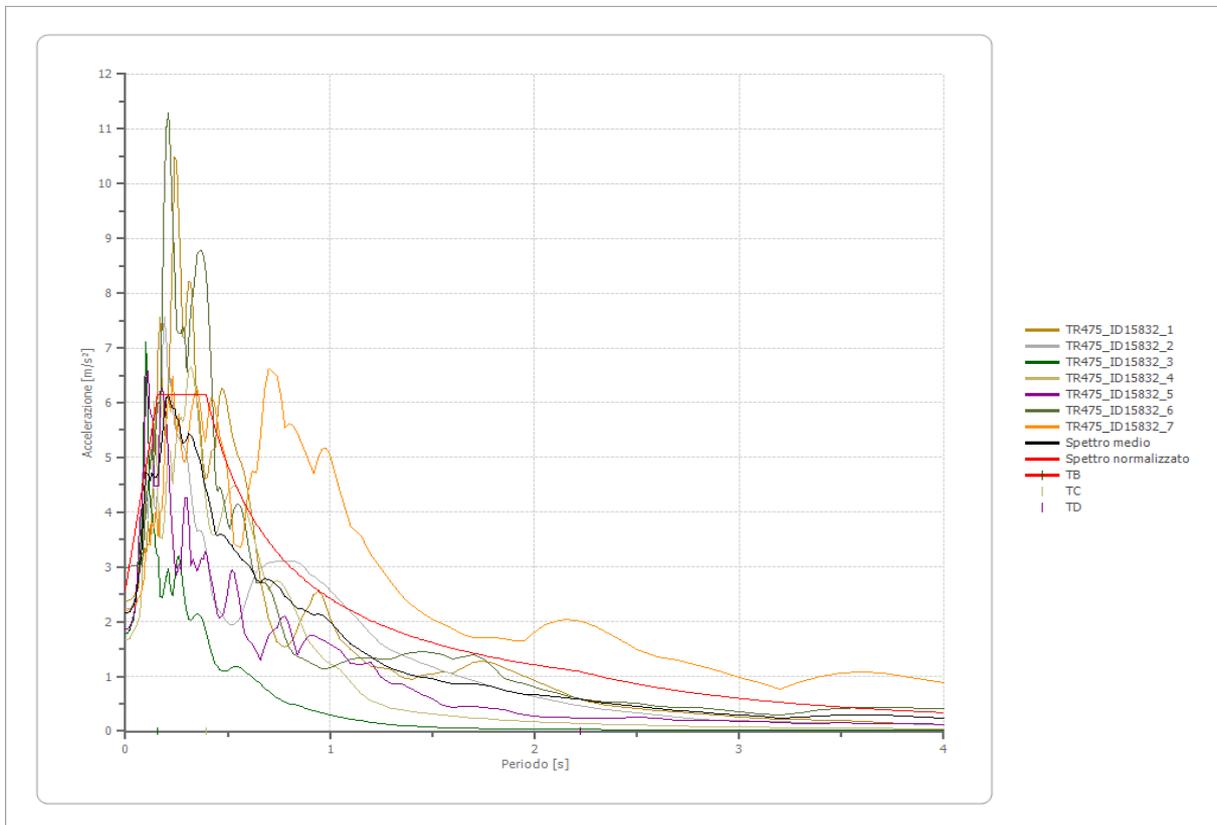


Figura n.28 - Confronto fra gli spettri di input, lo spettro medio e lo spettro elastico in superficie normalizzato.

	Operatività SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvaguardi a vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A	Operatività SLO Cat. C	Danno SLD Cat. C	Salvaguardi a vita SLV Cat. C	Prev. collasso SLC Cat. C
Tr [anni]	30	50	475	975	30	50	475	975
ag [m/s ²]	0.491	0.618	1.540	1.942	0.491	0.618	1.540	1.942
Fo	2.472	2.493	2.429	2.43	2.472	2.493	2.429	2.43
Tc* [s]	0.246	0.261	0.283	0.292	0.246	0.261	0.283	0.292
Ss	1.00	1.00	1.00	1.00	1.50	1.50	1.47	1.41
St	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.00	1.00	1.00	1.00	1.67	1.64	1.59	1.58
TB [s]	0.082	0.087	0.094	0.097	0.137	0.142	0.150	0.153
TC [s]	0.246	0.261	0.283	0.292	0.410	0.427	0.451	0.460
TD [s]	1.800	1.852	2.228	2.392	1.800	1.852	2.228	2.392
Se(0) [m/s ²]	0.491	0.618	1.540	1.942	0.737	0.927	2.266	2.741
Se(TB) [m/s ²]	1.214	1.541	3.741	4.719	1.821	2.311	5.503	6.660

Tabella n.17 - Confronto tra i parametri sismici degli spettri di risposta elastici di normativa.

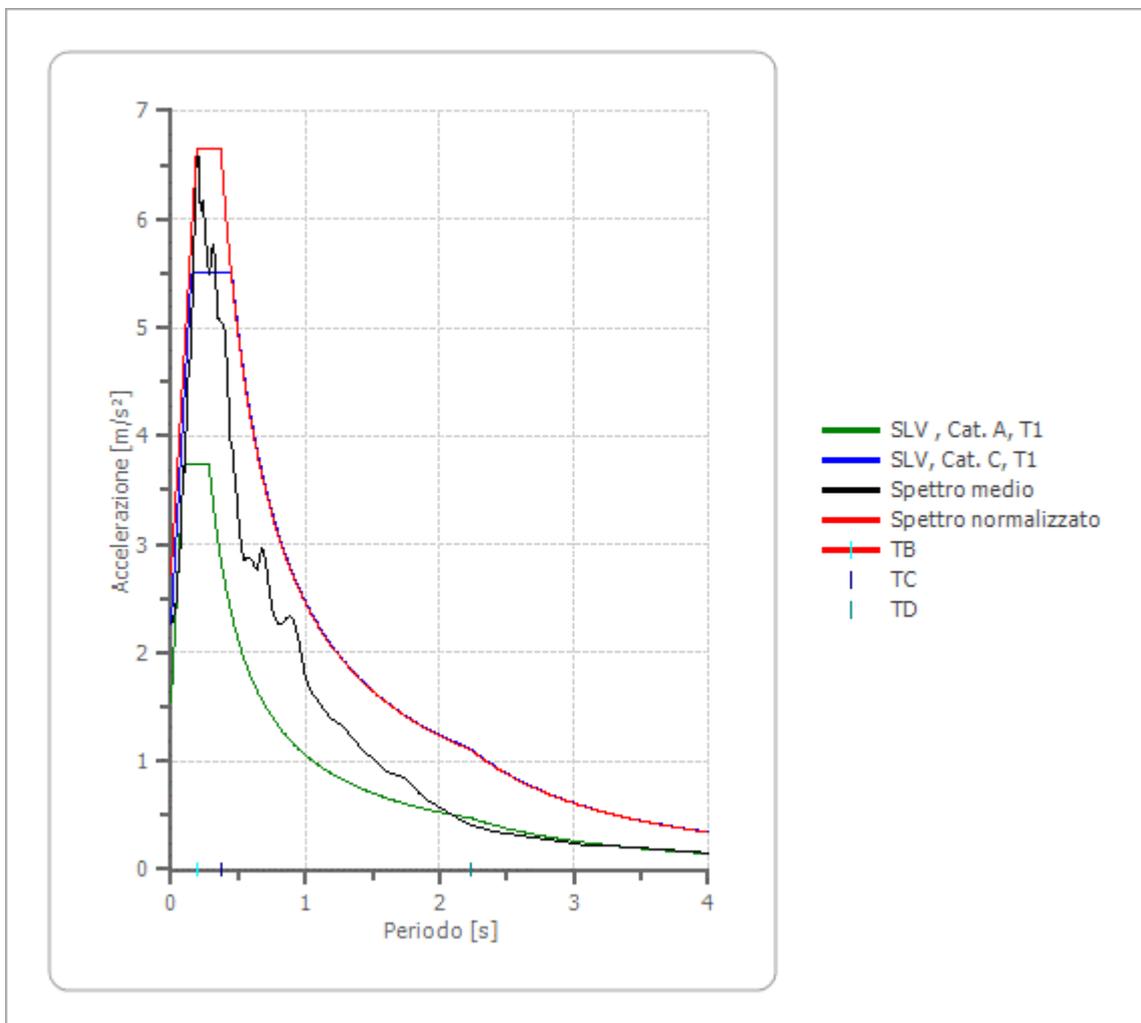


Figura n.29 - Spettro elastico in superficie normalizzato a confronto con gli spettri di normativa per categoria di suolo A e C.

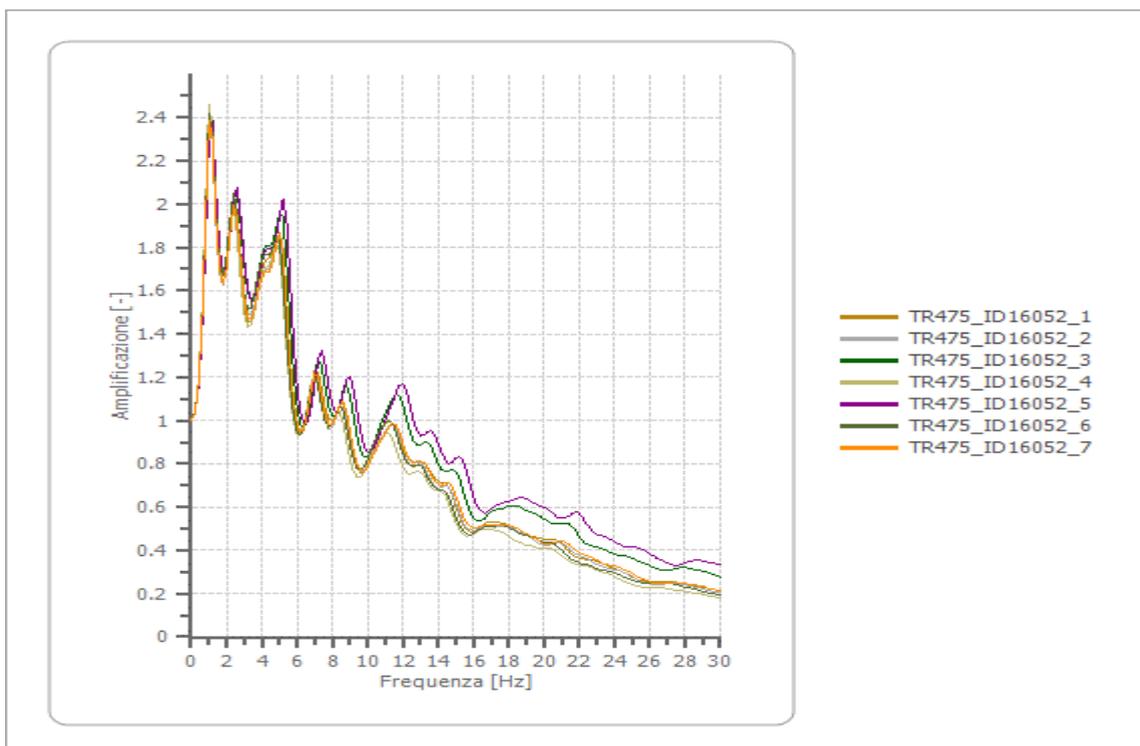


Figura n.30 - Funzione di trasferimento dell'amplificazione sismica del sito progettuale.

RISCHIO E VERIFICA A LIQUEFAZIONE

L'eventuale liquefazione del terreno sotto sisma, correlata alla probabilità di rischio sismico per il territorio comunale di Bibbiano, ci porta ad eseguire una verifica relativa alla suscettività di liquefazione del primo sottosuolo.

Condizioni predisponenti sono la presenza di terreni sotto falda, a composizione sabbioso-limosa, ben classati e contenenti una bassa percentuale di argilla. Si individua inoltre una soglia minima di magnitudo del terremoto pari a circa 5,0 ÷ 5,5 gradi della scala Richter per l'innescò dei fenomeni di liquefazione. Nel Comune, in modo relativamente frequente, si verificano terremoti di magnitudo che si mantiene di solito inferiore alla soglia teorica. In alcune occasioni si sono verificate sequenze sismiche durante le quali le scosse principali hanno superato il grado di magnitudo 5,0 Richter, senza che tuttavia si siano manifestati o segnalati fenomeni di liquefazione.

Per eseguire la verifica a liquefazione sotto sisma del terreno di fondazione devono risultare valide le seguenti condizioni al contorno:

- Eventi sismici attesi di magnitudo M maggiore a 5;
- Accelerazione massima attesa al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero – *free field*) maggiori di 0,100 g;
- Profondità media stagionale della falda acquifera del sottosuolo inferiore a 15 m dal piano campagna (per piano campagna suborizzontale e strutture con fondazioni superficiali);
- Depositi alluvionali, costituenti il sottosuolo, prevalentemente granulari con $q_{c1N} < 180$ kPa (dove q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche [Cone Penetration Test] normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa);

I dati sismici di progetto, derivati da un'analisi del rischio sismico eseguita utilizzando il catalogo sismico e la zonazione sismotettonica del G.N.D.T., sono i seguenti: Magnitudo $M_w = 6,0$ (riferimento per la Zona Sismogenetica 913 - nuova Zona Sismogenetica 6); accelerazione di picco: $a_{max} = PGA = 0,268g$ (risposta sismica locale di terzo livello) tuttavia, ai fini della sicurezza si preferisce utilizzare, nel prosieguo della nostra analisi, un $a_{max} = 0,300g$. Per verificare la possibilità di occorrenza di fenomeni di liquefazione sotto sisma si sono prese in considerazione le resistenze dinamiche delle

prove penetrometriche eseguite sul sito progettuale (figura n.15). Durante l'esecuzione delle penetrometrie, nei fori di prova, è stata rilevata presenza idrica ad una profondità di -8,00 m dalla quota del piano dell'area cortiliva (p.a.c.).

Verifica a liquefazione degli strati granulari rinvenuti dalla prove penetrometriche dinamiche pesanti DPSH mediante criterio semplificato di Seed ed Idriss [1971-1981] (Geostru Software - Dynamic Probing - 2021).

Liquefazione DPSH1

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Fs Liquefazione
[1] - Terreno di riporto.	6	0.80	6	Seed e Idriss (1971)	--
[3] - Ghiaie sabbiose e/o sabbie ghiaiose molto addensate.	13	10.00	13	Seed e Idriss (1971)	1,89

Tabella n.18 - Verifica liquefazione prova DPSH1 (Geostru Software – Dynamic Probing – 2021).

Liquefazione DPSH2

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Fs Liquefazione
[1] - Terreno di riporto.	7	0.80	7	Seed e Idriss (1971)	--
[3] - Sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose molto addensate.	20	9.00	20	Seed e Idriss (1971)	2,31

Tabella n.19 - Verifica liquefazione prova DPSH2 (Geostru Software – Dynamic Probing – 2021).

Liquefazione DPSH3

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Fs Liquefazione
[1] - Terreno di riporto.	7	0.80	7	Seed e Idriss (1971)	--
[3] - Sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose molto addensate.	19	9.00	19	Seed e Idriss (1971)	2,22

Tabella n.20 - Verifica liquefazione prova DPSH3 (Geostru Software – Dynamic Probing – 2021).

Dalle analisi eseguite (tabelle n.18-19-20) risulta che il rischio liquefazione del terreno, sotto un sisma di riferimento di magnitudo $M_w = 6,0$ (Zona Sismogenetica 913 - Nuova Zona Sismogenetica n.6 - n.517 Basso Appennino Emiliano-Margine) risulta essere nullo (I.P.L. = 0 poiché i fattori di sicurezza alla liquefazione sono risultati essere maggiori di 1,25 cioè $F_s > 1,25$ - tabella n.21).

Indice Potenziale Liquefazione (I.P.L.)	Classi di pericolosità di Liquefazione
0	Nulla
$0 < I.P.L. \leq 2$	Bassa
$2 < I.P.L. \leq 5$	Moderata
$5 < I.P.L. \leq 15$	Alta
$I.P.L. > 15$	Molto Alta

Tabella n.21 (Iwasaki et al. - 1978)

Si procede ad una valutazione della suscettività alla liquefazione del primo sottosuolo con il **Criterio empirico modificato di Youd e Perkins (1978)**.

Il **Criterio empirico modificato di Youd e Perkins (1978)** basa la valutazione della propensione alla liquefazione dei terreni alluvionali su alcune caratteristiche geologiche e stratigrafiche del primo sottosuolo infatti trae origine dall'osservazione della correlazione fra grado di danneggiamento subito dalle costruzioni durante forti terremoti e il tipo di deposito, la profondità della falda e l'età. Sulla base di questi parametri viene fornito un punteggio, prodotto dei singoli

punteggi parziali, che fornisce un'indicazione qualitativa del grado di vulnerabilità del deposito. La probabilità di liquefazione si ricava dalla tabella n.22.

Punteggio totale	Probabilità di liquefazione
< 10	Molto bassa
10 – 20	Bassa
21 – 50	Moderata
51 – 80	Alta
> 80	Molto alta

Tabella n.22

Dati generali

Numero di strati del terreno alluvionale = 3

Profondità della falda superficiale = -8,00 m dalla quota del piano di campagna.

Terremoto di riferimento = magnitudo massima attesa pari a $M_w = 6,0$ (Zona Sismogenetica 913 - Nuova Zona Sismogenetica n.6 - Zona n.517 Basso Appennino Emiliano-Margine) [figura n.14 - Servizio Geologico Sismico Regione Emilia Romagna - C.N.R. Firenze - Università di Firenze - 2017].

Il grado di suscettibilità alla liquefazione sotto sisma del terreno di fondazione del sito progettuale è risultato essere molto basso per il Criterio empirico modificato di Youd e Perkins (1978) [tabella n.22].

Strato Nr.	Litologia	Quota iniziale dal p.c. (m)	Quota finale dal p.c. (m)	N_{spk} (valore caratteristico del numero di colpi equivalente alla prova SPT)	Dr Densità Relativa	I.P. Indice di plasticità* (%)
UNITA' 1	Terreno di riporto	-0,00	-0,80	2	72%	39
UNITA' 2	Limi argillosi mediamente consistenti	-0,80	-6,50	5	89%	28
UNITA' 3	Ghiaie sabbiose molto addensate	-6,50	-10,00	13	81%	45

Tabella n.23 (* = i valori dell'indice di plasticità dei vari strati del terreno sono stati tratti da letteratura geotecnica per terreni alluvionali di riferimento).

Verifica Nr.	Tipo di deposito sedimentario	Prof. della falda (m)	Età del deposito	Punteggio	Suscettibilità alla liquefazione
UNITA' 1	Piana alluvionale	-8,00 m dalla quota del p.a.c.	Recente	5	Molto bassa
UNITA' 2	Piana alluvionale	-8,00 m dalla quota del p.a.c.	Pleistocene	8	Molto bassa
UNITA' 3	Piana alluvionale	-8,00 m dalla quota del p.a.c.	Pleistocene	6	Molto bassa

Tabella n.24 - Risultanze della verifica a liquefazione con **Criterio empirico modificato di Youd e Perkins (1978)**.

RISCHIO IDRAULICO

L'area risulta drenata dal Rio Enzola ad Est e dal Canale di Bibbiano ad Ovest (figura n.6). Essi insistono nell'ambito del più ampio bacino idrografico del fiume Enza; quindi l'idrografia superficiale è costituita da un reticolo di canali, rii e fossi alquanto gerarchizzato (*drenaggio di antica e recente sistemazione agraria*) avente sia funzione scolante (semestre autunno-inverno) che irrigua (semestre primavera-estate). Il Rio Enzola, con il Rio Ghiardo a Sud Est, il Canale di Varana ad Est, il Canale di Bibbiano ad Ovest ed il Rio Monte ad Ovest, costituiscono il reticolo idrografico di rango

inferiore rispetto al bacino idrografico principale del fiume Enza. Tutti questi corsi d'acqua minori scorrono in corrispondenza di un antico paleoalveo del Torrente Enza.

La carta delle criticità in scala 1:10.000 (Quadro conoscitivo - Tavola A23 - P.S.C. Bibbiano - 2013) classifica il sito progettuale come ricadente in aree storicamente inondate (PTCP Reggio Emilia - Quadro Conoscitivo - Allegato 6 - Tavola 6 - figura n.7) infatti le quote topografiche dell'originario piano di campagna sono più basse di circa 1,0 m rispetto alla strada antistante il Subcomparto A (figura n.1).

L'area ricade nell'ambito territoriale del reticolo idrografico naturale principale e secondario di alta pianura; con riferimento alla D.G.R.E.R. n.1300/2016 del 01/08/2016 si determina la pericolosità relativa al rischio idrogeologico del sito progettuale. Esaminando la Mappa degli Scenari di Pericolosità Idrogeologica e degli Elementi Potenzialmente Esposti - Foglio 200 SE "Reggio Nell'Emilia Sud" (PGRA da Autorità di Bacino del fiume Po - variante del 03/03/2016 predisposta ai sensi dell'articolo 6 della Direttiva 2007/60/CE e del Decreto Legislativo n.49/2010) il sito d'interesse ricade all'interno dell'ambito territoriale "Reticolo secondario di pianura (RSP)" con scenario di pericolosità di "Alluvioni poco frequenti: tempo di ritorno tra 100 e 200 anni - media probabilità (P2 - M) - area urbanizzata" (figura n.31). In relazione alla classificazione riportata nella Carta del Rischio Potenziale del P.G.R.A. (variante del 03/03/2016 predisposta ai sensi dell'articolo 6 della Direttiva 2007/60/CE e del Decreto Legislativo n.49/2010) il sito progettuale viene classificato come "classe R2 a rischio medio" relativa al reticolo idrografico secondario di alta pianura (figura n.32).



Figura n.31 - Mappa degli Scenari di Pericolosità Idrogeologica e degli Elementi Potenzialmente Esposti – Foglio 200 Sud Est "Reggio Nell'Emilia Sud" (PGRA da Autorità di Bacino del fiume Po del 03/03/2016).



Figura n.32 - Mappa del Rischio Potenziale - Foglio 200 Sud Est "Reggio Nell'Emilia Sud" (PGRA da Autorità di Bacino del fiume Po del 03/03/2016).

Affinché si possa ridurre ulteriormente il rischio idraulico e la possibilità che accadano eventi alluvionali si ritiene quindi opportuno e necessario tenere conto delle seguenti prescrizioni:

- Risagomatura, approfondimento del reticolo idrografico minore che interessa il sito di progetto;
- Manutenzione e pulizia periodica del reticolo idrografico minore che interessa il lotto progettuale con cadenza almeno annuale;
- Potenziamento adeguato delle linee di smaltimento delle acque meteoriche in rapporto all'incremento delle superfici impermeabilizzate;
- Mantenimento del livello delle acque dei fossi e dei canali con un franco libero del pelo dell'acqua di almeno 1,50 m rispetto agli argini;
- Limitazione delle superfici impermeabilizzate ed eventualmente prevedere l'adozione di pavimentazioni di tipo permeabile che consentano la naturale infiltrazione nel sottosuolo di parte delle acque superficiali;
- Innalzamento della quota topografica dei lotti, fino ai corrispondenti livelli delle strade di lottizzazione, mediante il riempimento di strati di materiale inerte (ghiaia o frantumato di roccia o aggregato di riciclo ai sensi del D.M. n.203/2003 e della Circolare del Ministero Ambiente n.5205/2005) alquanto addensati e compattati.

Per quanto riguarda lo scolo delle acque, verranno realizzate due fognature distinte per le acque bianche, recapitante nel fossato posto lungo il confine est della proprietà che verrà tombato con tubazioni idonee e per le acque nere, recapitante nella fognatura di via V. Veneto come attualmente esistente o, in alternativa, su quella di Via G.B. Venturi.

SUBSIDENZA

Per subsidenza si intendono gli abbassamenti del terreno per cause naturali (costipamento dei sedimenti per peso proprio, variazioni di salinità delle acque sotterranee, movimenti tettonici) e/o per cause indotte dall'attività umana (estrazioni di acque di falda, prosciugamenti e bonifiche, variazioni di carichi). Questo fenomeno risulta generalmente più accentuato in presenza di materiali fini (siltoso-argillosi) e sostanza organica (torbe) che per la loro struttura mineralogica e comportamento reologico, permettono una maggiore costipazione rispetto ai sedimenti più grossolani, come sabbie e ghiaie. La Legge n.845 del 10/12/1980 è uno dei primi riferimenti normativi che interviene sul fenomeno della subsidenza.

In Emilia Romagna numerose misure di subsidenza sono disponibili presso il portale web di A.R.P.A.E. ([https://www.arpae.it/temi-ambientali/suolo\(subsidenza/subsidenza-1\)](https://www.arpae.it/temi-ambientali/suolo(subsidenza/subsidenza-1))).

Nel 1997/1998 è stata istituita la rete regionale di monitoraggio della subsidenza dell'Emilia Romagna, partendo da una revisione e ottimizzazione delle numerose reti di monitoraggio presenti sul territorio. È costituita da oltre 2300 capisaldi, distribuiti su 142 linee di livellazione, pari a oltre 2200 km di lunghezza, coprendo un territorio di 13.000 km². La rete comprende inoltre 60 stazioni GPS stazionabili. Ogni caposaldo ha una scheda anagrafica e una serie storica di dati rilevati che è pubblica e disponibile anche presso il Geoportale di A.R.P.A.E. Emilia Romagna (<https://www.arpae.it/cartografia>).

Nel monitoraggio della subsidenza si effettuano misure periodiche della quota assoluta dei diversi capisaldi, ottenuta attraverso livellazione di precisione rispetto a capisaldi della rete nazionale [nel caso dell'Emilia Romagna le misure sono riferite rispetto al caposaldo di Sasso Marconi (BO)]. Il valore di subsidenza media, espresso in mm/anno, è pertanto dato dal rapporto tra la differenza di quota misurata nel caposaldo e il tempo intercorso tra le misure. Considerando che le misure di subsidenza registrano l'abbassamento totale della superficie topografica, nell'ambito della rete regionale sono state attrezzate alcune stazioni automatiche con assestimetri che effettuano 2 misure al giorno per verificare come varia il fenomeno con la profondità. Le misure sperimentali dimostrano come il fenomeno della subsidenza non sia lineare nel tempo ma presenta significative variazioni stagionali con tendenza di medio e lungo periodo all'abbassamento e anche periodi con tendenza all'innalzamento (A.R.P.A.E. - 2005).

Le moderne tecnologie satellitari (elaborazioni di dati interferometrici SAR su scala regionale tramite la tecnica SqueeSar™ con calibrazione dei risultati tramite i dati di movimento verticale di 16 stazioni GPS) hanno permesso di

passare dalle misurazioni relative ai 2300 capisaldi regionali al 1.974.150 punti di misurazione nel periodo 2011-2016 e per ciascun punto la misurazione della subsidenza viene effettuata su un dataset di circa 70 misure nel periodo quinquennale. L'incertezza delle misure è pari ad un valore delle velocità verticali di ± 2 mm/anno. Da queste misurazioni è stata generata la carta dei movimenti verticali del suolo a curve isocinetiche relativa al periodo 2011-2016.

I risultati del monitoraggio per il quinquennio 2011-2016 hanno evidenziato, per il territorio provinciale di Reggio Emilia, una riduzione generalizzata della subsidenza, permangono, tuttavia due aree in abbassamento che continuano a presentare valori simili al passato: l'area industriale a Nord del capoluogo con valori massimi di circa 10 mm/anno e l'area industriale ad Est di Correggio con valori massimi di circa 15 mm/anno. Il capoluogo presenta velocità sostanzialmente stabili nel tempo.

Più in generale, nell'area padana le misure dimostrano che l'abbassamento del suolo varia in relazione alla configurazione strutturale del sottosuolo, mostrandosi superiore nelle zone di bacino dove già nel corso del Pliocene una maggiore subsidenza aveva accompagnato l'accumulo di grandi spessori di sedimenti.

Dal confronto delle velocità di movimento degli ultimi due periodi di monitoraggio (2006-2011/2011-2016) emerge che il 79% del territorio regionale non presenta variazioni di tendenza, il 18% della superficie evidenzia una riduzione della subsidenza e solo il 3% una accentuazione del fenomeno in zone estremamente localizzate.

CHIMISMO ACQUE DI SATURAZIONE DEL SOTTOSUOLO

La disamina delle caratteristiche chimico-fisiche d'insieme dell'acquifero sotterraneo denota una qualità media. La facies idrochimica delle falde acquifere più superficiali è bicarbonato-calcica mentre a circa -300,00 m di profondità dalla quota del p.c. la facies diventa sodico-calcica. Nelle falde superficiali il valore dei nitrati non è solito superare i valori di attenzione e mostra oscillazioni stagionali tipicamente connesse all'attività agro-zootecnica ed al regime idrologico dei corsi d'acqua. Il parametro durezza in gradi francesi denota valori di massimo relativo tendenzialmente localizzati in aree nelle quali si hanno anche i massimi valori di conducibilità specifica delle acque. Le caratteristiche litologiche e la soggiacenza dell'acquifero freatico dell'area, evidenziano condizioni generali di vulnerabilità all'inquinamento medio. Va posta poi particolare attenzione anche alla composizione anionica delle eventuali acque di saturazione del terreno; un'acqua ricca infatti di componenti chimici aggressivi (solfati, nitrati e cloruri) può interferire con la stabilità dei legami della miscela cementizia portando a episodi di corrosione del calcestruzzo (tabella n.25).

Dal punto di vista idrogeologico l'area ricade nell'*Unità idrogeologica del fiume Enza*. Nella tabella n.26 sono riportate, a titolo indicativo, le principali caratteristiche chimico-fisiche delle acque sotterranee, utilizzato a scopo idropotabile e distribuite dal "Campo Pozzi Quercioli", ubicato in territorio comunale di Cavriago. La facies idrochimica di queste acque può essere considerata come rappresentativa del chimismo delle acque di falda dell'Unità idrogeologica del fiume Enza.

Grado di attacco	Concentrazione anione solfato SO_4^{2-} in mg/l in acqua di saturazione del terreno	Concentrazione anione solfato SO_4^{2-} in mg/kg di terreno secco
Debole	200 – 600	2000 – 3000
Moderato	600 – 3000	3000 – 12000
Forte	> 3000	> 12000

Tabella n.25 - Grado di aggressività al calcestruzzo da parte del terreno e dell'acqua di saturazione dello stesso in funzione del contenuto in solfato (espresso in mg/l).

Parametri		Media
pH	unità pH	7.1
Conducibilità 20°C	µS/cm	762.67
Residuo secco a 180°C	mg/l	549.1
Cloruri	mg/l Cl ⁻	25.2
Nitrati	mg/l NO ₃ ⁻	26.9
Solfati	mg/l SO ₄ ²⁻	38.4
Torbidità	NTU	0.33
Calcio	mg/l Ca	136.23
Magnesio	mg/l Mg	13.53
Ammonio	mg/l NH ₄	0.033
Nitriti	mg/l NO ₂	0.0
Ferro	µg/l Fe	48.4
Manganese	µg/l Mn	16.03
Durezza	°F	39.56
Alcalinità	mg/l HCO ₃ ⁻	409.48
Potassio	mg/l K	1.61
Sodio	mg/l Na	17.7
Fosforo	mg/l P ₂ O ₅	0.0

Tabella n.26 - Caratteristiche chimico-fisiche dell'acqua del pozzo tipo dell'Unità idrogeologica del torrente Enza: pozzo Quercioli 3 (fonte: IREN 3 2015).

RISCHIO EMISSIONE GAS RADON

Nella progettazione e nuova edificazione di un fabbricato è necessario, in base a studi recenti, tenere in debito conto del rischio di emissione di gas Radon da parte del primo sottosuolo, delle acque di falda e dei materiali edili con i quali il fabbricato sarà costruito. Il Radon – 222 (²²²Rn) è un elemento radioattivo naturale, in fase gassosa in condizioni normali di pressione e temperatura, è inodore, insapore, incolore e quasi inerte (è un gas nobile). Esso, decadendo in altri isotopi radioattivi, emette particelle α dannose per la salute umana; infatti è la seconda causa mondiale di cancro ai polmoni. I sottosuoli maggiormente emittenti gas Radon sono terreni ricche di argille alluminifere, suoli di origine vulcanica quali piroclastiti e ceneri, rocce granitoidi e/o metamorfiche specialmente se intensamente fratturate, e in generale tutti i suoli saturi di acqua. Il Radon presente nel terreno e nelle acque di saturazione può raggiungere facilmente le nuove costruzioni, se la permeabilità del sottosuolo è elevata e la superficie di contatto tra casa e suolo non è sufficientemente impermeabile. Al fine di contenere e/o abbattere la concentrazione di tale gas nocivo, nei piani scantinati e nei piani bassi delle nuove costruzioni, ad un valore inferiore a 200 Bq/m³ (limite previsto dal D. Leg.vo n.241 del 26/05/2000) è necessario in fase di progettazione adottare alcuni accorgimenti. È opportuno prevedere, al di sotto del piano di calpestio dei locali interrati o del piano terra, di tubi di drenaggio e/o la posa di fogli o di membrane isolanti impermeabili al Radon; inoltre è necessario la messa punto di adeguati sistemi di areazione dei locali posti ai piani bassi dell'edificio. Infatti, dato che è circa 8 volte più pesante dell'aria, il Radon si può accumulare all'interno di ambienti chiusi guidato dalla differenza di pressione o di temperatura fra il suolo che circonda una struttura e l'interno della costruzione.

Nella tabella n.27 sono riportati alcuni materiali comunemente usati in edilizia rispetto alla loro impermeabilità al Radon.

Materiale	Spessore (mm)	Impermeabilità al radon
<i>Membrane impermeabilizzanti:</i>		
PEHD (polietilene ad alta densità)	1,5	Si
PVC armato	1	Si
Polimeri bituminosi	3,8	Si
<i>Pitture, rivestimenti:</i>		
Pitture sintetiche	0,2	No
Resina epossidica	3	Si
<i>Materiale da costruzione:</i>		
Cemento armato	100	Parzialmente
Pietra arenaria calcarea	150	No
Gesso	100	No
Laterizio	150	No

Tabella n.27

CONCLUSIONI

Il primo sottosuolo del Subcomparto A dell'A.I.R.5 di via San Giovanni Bosco n.2/F a Bibbiano (RE) è formato da un deposito di limi argillosi e/o di sabbie argillose, mediamente consistenti, appartenenti all'Unità di Niviano (AES7a) riferibile al Pleistocene superiore (figura n.5), questi ricoprono uno strato basale di sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose, molto addensate. Tale Unità costituisce l'ossatura del terrazzo alto di Barco-Bibbiano. Il grado di consistenza e/o di addensamento del sottosuolo aumenta generalmente con la profondità. Più specificatamente l'area progettuale è ricoperta da uno strato di terreno di riporto, d'origine antropica, alquanto addensato e compattato che è stato posizionato durante una precedente edificazione (risalente agli anni '80). Il terreno di riporto, ha uno spessore di circa 0,80 m (ottanta centimetri) ed è costituito prevalentemente da un misto di sabbia e ghiaia ma si rinvenivano anche rottami da demolizione e asfalto.

La stratigrafia di dettaglio ricavata dalla penetrometrie è stata la seguente:

Caratterizzazione geotecnica del primo sottosuolo (parametri nominali):

- 0,00 m ÷ -0,80 m dalla quota del p.a.c. = terreno di riporto, di origine antropica, alquanto addensato e compattato, costituito da sabbia, ghiaia con ciottoli anche decimetrici, pezzi di laterizio ed asfalto [UNITA' 1];
- 0,80 m ÷ -6,50 m dalla quota del p.c. = limi argillosi e/o sabbie argillose, di colore bruno-rossastro per ossidazione, mediamente consistenti, peso di volume naturale $\gamma_n = 19,00 \text{ kN/m}^3$, modulo di deformazione non drenato $E_u = 5.150 \text{ kPa}$, coesione non drenata $C_u = 90 \text{ kPa}$, coesione drenata $C' = 15 \text{ kPa}$, modulo di taglio $G = 13.500 \text{ kPa}$, angolo di resistenza al taglio drenato $\phi' = 20^\circ$, modulo di deformazione drenato $E' = 6.900 \text{ kPa}$, coefficiente di poisson $\nu = 0,21$ [UNITA' 2];
- 6,50 m ÷ -15,00 m dalla quota p.a.c. = sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose, molto addensate, in matrice sabbioso-argillosa, peso di volume saturo $\gamma_{sat} = 20,00 \text{ kN/m}^3$, modulo di deformazione non drenato $E_u = 8.125 \text{ kPa}$, coesione non drenata $C_u = 80 \text{ kPa}$, coesione drenata $C' = 20 \text{ kPa}$, modulo di taglio $G = 15.825 \text{ kPa}$, angolo di resistenza al taglio drenato $\phi' = 34^\circ$, modulo di deformazione drenato $E' = 9.925 \text{ kPa}$, coefficiente di poisson $\nu = 0,23$ [UNITA' 3];

Parametri di resistenza non drenati caratteristici del sottosuolo (condizioni a breve termine $\Phi = 0$):

- 0,00 m ÷ -0,80 m dalla quota del p.a.c. = terreno di riporto, di origine antropica, alquanto addensato e compattato, costituito da sabbia, ghiaia con ciottoli anche decimetrici, pezzi di laterizio ed asfalto [UNITA' 1];
- 0,80 m ÷ -6,50 m dalla quota del p.c. = limi argillosi e/o sabbie argillose, di colore bruno-rossastro per ossidazione, mediamente consistenti, peso di volume naturale $\gamma_{nk} = 19,00 \text{ kN/m}^3$, modulo di deformazione non drenato $E_{uk} = 4.025 \text{ kPa}$, coesione non drenata $C_{uk} = 70 \text{ kPa}$, modulo di taglio $G_k = 10.700 \text{ kPa}$, coefficiente di poisson $\nu_k = 0,21$ [UNITA' 2];
- 6,50 m ÷ -15,00 m dalla quota p.a.c. = sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose, molto addensate, in matrice sabbioso-argillosa, peso di volume saturo $\gamma_{satk} = 20,00 \text{ kN/m}^3$, modulo di deformazione non drenato $E_{uk} = 6.250 \text{ kPa}$, coesione non drenata $C_{uk} = 55 \text{ kPa}$, modulo di taglio $G_k = 13.550 \text{ kPa}$, coefficiente di poisson $\nu_k = 0,23$ [UNITA' 3];

Parametri di resistenza drenati caratteristici del sottosuolo (condizioni a lungo termine):

- -0,00 m ÷ -0,80 m dalla quota del p.a.c. = terreno di riporto, di origine antropica, alquanto addensato e compattato, costituito da sabbia, ghiaia con ciottoli anche decimetrici, pezzi di laterizio ed asfalto [UNITA' 1];
- -0,80 m ÷ -6,50 m dalla quota del p.c. = limi argillosi e/o sabbie argillose, di colore bruno-rossastro per ossidazione, mediamente consistenti, peso di volume naturale $\gamma_{nk} = 19,00 \text{ kN/m}^3$, coesione drenata $C'_k = 12 \text{ kPa}$, angolo di resistenza al taglio drenato $\phi'_k = 18^\circ$, modulo di deformazione drenato $E' = 5.650 \text{ kPa}$, [UNITA' 2];
- -6,50 m ÷ -15,00 m dalla quota p.a.c. = sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose, molto addensate, in matrice sabbioso-argillosa, peso di volume saturo $\gamma_{satk} = 20,00 \text{ kN/m}^3$, coesione drenata $C'_k = 16 \text{ kPa}$, angolo di resistenza al taglio drenato $\phi'_k = 32^\circ$, modulo di deformazione drenato $E' = 8.125 \text{ kPa}$, [UNITA' 3];

Durante l'esecuzione delle indagini geognostiche è stata rilevata presenza idrica ad una profondità di -8,00 m dalla quota del piano dell'area cortiliva (p.a.c.).

Nella sottostante tabella n.28 sono riportati i valori di q_{ad} (carico ammissibile del terreno) per le prove penetrometriche dinamiche eseguite.

	DPSH1	DPSH2	DPSH3
-0,80 m ÷ -6,50 m dalla quota del p.a.c. (unità n.2)	$q_{ad} = R_{pdk}/20 = 22/20 \approx 1,100 \text{ kg/cm}^2$	$q_{ad} = R_{pdk}/20 = 22/20 \approx 1,100 \text{ kg/cm}^2$	$q_{ad} = R_{pdk}/20 = 22/20 \approx 1,100 \text{ kg/cm}^2$
-6,50 m ÷ -15,00 m dalla quota del p.a.c. (unità n.3)	$q_{ad} = R_{pdk}/20 = 36/20 \approx 1,800 \text{ kg/cm}^2$	$q_{ad} = R_{pdk}/20 = 36/20 \approx 1,800 \text{ kg/cm}^2$	$q_{ad} = R_{pdk}/20 = 36/20 \approx 1,800 \text{ kg/cm}^2$

Tabella n.28 - Valori caratteristici delle resistenze del primo sottosuolo in corrispondenza delle tre verticali penetrometriche investigate in funzione della resistenza dinamica alla punta.

Per terreni sabbiosi, in matrice argillosa, in genere il valore del modulo di Winkler risulta $K_b \approx 28,0 \text{ MN/m}^3 \approx 2,8 \text{ kg/cm}^3$ (valore consigliato dal Terzaghi, 1956 - pp.369 - *Geotecnica* - Colombo - III edizione). K_b è fortemente influenzato dalla geometria e dalla larghezza B della fondazione.

In base al rilevamento geologico di superficie e alla campagna di indagini geognostiche effettuata dallo scrivente si può affermare che il sottosuolo risulta privo di cavità naturali nascoste, di fratturazioni beanti e di lineamenti tettonici su scala locale.

In relazione al piano d'incastro delle opere di fondazione, si ricorda che quest'ultime devono sempre essere congruenti alle seguenti indicazioni: 1) sottostare alla massima profondità del gelo del terreno; 2) essere più profonde del cosiddetto strato attivo cioè di quello strato superficiale del suolo soggetto a ritiro/rigonfiamento in conseguenza dell'andamento delle precipitazioni stagionali (strato sovraconsolidato per essiccazione); 3) sottostare ad eventuali strati di terreno superficiale di origine antropica. Pertanto si consiglia una profondità di fondazione di almeno -1,40 m (meno centoquaranta centimetri) dalla quota del piano stradale antistante il Subcomparto A.

Al fine di allontanare le acque (di falda, dilavanti superficiali, di battente e/o d'infiltrazione in genere) dagli scavi di fondazione occorre predisporre le opportune opere di drenaggio tramite trincee drenanti, fossi di guardia e/o pozzetti di raccolta, eventualmente tramite pompe idrauliche ove occorra, e collegare le opere di smaltimento tra loro in modo da conferire le acque stesse nella rete di scolo delle acque costituita dai fossi vicini e/o nella rete di conferimento delle acque bianche.

È fondamentale la messa a punto delle opere di contenimento dei fronti di scavo, tramite travetti, tavole in legno, sbatacchiature metalliche e/o palancole, ove occorra, in ragione anche del fatto che insistono, in zone prossime al sito progettuale, altri edifici e/o strade.

In considerazione del fatto che le quote topografiche dell'originario piano di campagna sono più basse di circa 1,0 m rispetto alla strada antistante il Subcomparto A sarà necessario l'innalzamento della quota topografica dei lotti, fino ai corrispondenti livelli delle strade di lottizzazione, mediante il riempimento di strati di materiale inerte (ghiaia o frantumato di roccia o aggregato di riciclo ai sensi del D.M. n.203/2003 e della Circolare del Ministero Ambiente n.5205/2005) alquanto addensato e compattato.

Si raccomanda di potenziare adeguatamente le linee di smaltimento delle acque meteoriche in rapporto all'incremento delle superfici impermeabilizzate e di adottare le adeguate pendenze per il conferimento delle acque che sono drenate verso i fossi di scolo. Si raccomanda inoltre di limitare le superfici impermeabilizzate e di prevedere l'adozione di pavimentazioni di tipo permeabile che consentano la naturale infiltrazione nel sottosuolo di parte delle acque dilavanti superficiali. In fase progettuale andrà posta particolare attenzione anche al corretto dimensionamento, alla collocazione ed alla tenuta della rete fognaria affinché non si verifichino dispersioni idriche entro i terreni di fondazione.

Il territorio comunale di Bibbiano (RE) ricade in zona sismica di tipo 3. Il suolo di fondazione, in base a quanto prescritto nel D.M. 17/01/2018, ricade nella categoria C. Il fattore di amplificazione stratigrafica, corrispondente alla categoria di suolo C, rientra nel seguente range di valori: $1,00 < S_s < 1,50$. Il fattore di amplificazione topografica risulta essere $St = 1,0$.

Al fine di discriminare, per la fase esecutiva degli interventi, tra l'utilizzo di spettri derivanti da analisi di risposta sismica locale mediante codici numerici e spettri derivanti dall'approccio semplificato previsto dalle NTC2018 è stato effettuato un confronto tra gli spettri elastici in accelerazione al 5% dello smorzamento critico calcolati in *free field* e riferiti ad un livello di pericolosità sismica (475 anni - Classe II - Vita nominale = 50 anni - S.L.V.) con il corrispondente spettro di risposta elastico assegnato dall'approccio semplificato di NTC2018 (figura n.29). **In particolare l'analisi effettuata evidenzia che l'ordinata spettrale di normativa risulta essere inferiore a quella ottenuta dalla normalizzazione dello spettro derivante da simulazione numerica. Si ritiene pertanto accettabile, in fase esecutiva (per tempi di riferimento per l'azione sismica di 475 anni - Classe II - Vita nominale = 50 anni - S.L.V.) l'utilizzo dello spettro desumibile da analisi di terzo livello (spettro normalizzato) quindi l'impiego di un valore di accelerazione orizzontale massima di ancoraggio dello spettro di risposta elastico pari ad $a_{max} = PGA = 0,268g$.**

È fondamentale che la frequenza stimata della struttura di progetto non sia coincidente con quella fondamentale, propria del sottosuolo ($f \approx 9,1$ Hertz ÷ $9,2$ Hertz) in modo da evitare il cosiddetto fenomeno della "doppia risonanza". La doppia risonanza è la causa delle più importanti distruzioni che avvengono durante un terremoto (si ricorda che le frequenze importanti in campo ingegneristico sono quelle comprese tra a 1,00 Hertz e 20,00 Hertz).

Dalle analisi eseguite (tabelle n.18-19-20) risulta che il rischio liquefazione del terreno, sotto un sisma di riferimento di magnitudo $M_w = 6,0$ (Zona Sismogenetica 913 - Nuova Zona Sismogenetica n.6 - n.517 Basso Appennino Emiliano-Margine) risulta essere nullo (I.P.L. = 0 poiché i fattori di sicurezza alla liquefazione sono risultati essere maggiori di 1,25 cioè $F_s > 1,25$ - tabella n.21).

Il grado di suscettibilità alla liquefazione sotto sisma del terreno di fondazione del sito progettuale è risultato essere molto basso per il Criterio empirico modificato di Youd e Perkins (1978) [tabella n.22].

Nel rispetto di quanto in precedenza esposto e in ottemperanza con quanto previsto dalle disposizioni delle vigenti leggi nazionali e regionali (D.M. LL.PP. 11/03/1988, DM. 17/01/2018, L.R. n.20/2000, L.R. n.19/2008, L.R. n.24/2017), l'intervento edilizio di progetto risulta essere compatibile con le risultanze determinate da questo studio.

Bibbiano (RE) novembre 2021

Il Tecnico

Dott. Geologo Antonio Infante

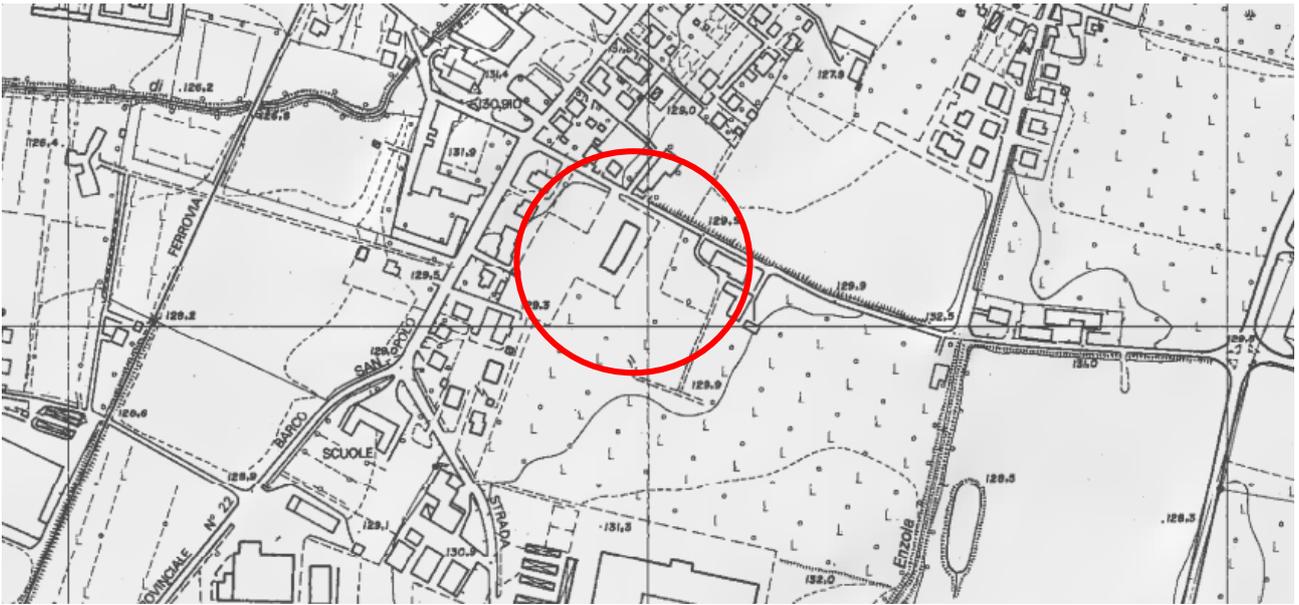


Figura n.1 - Regione: Emilia Romagna - Provincia: Reggio Emilia.
Comune: Bibbiano - Via: San Giovanni Bosco n.2/F.
Latitudine: 44°39'30" Nord - Longitudine: 10°28'07" Est - Quota altimetrica: 128 m s.l.m.
Carta tecnica regionale in scala 1: 5.000 - Elemento n.200102 "Bibbiano".
Ubicazione dell'area di interesse.



Figura n.2 - Regione: Emilia Romagna - Provincia: Reggio Emilia.
Comune: Bibbiano - Via: San Giovanni Bosco n.2/F.
Latitudine: 44°39'30" Nord - Longitudine: 10°28'07" Est - Quota altimetrica: 128 m s.l.m.
Estratto di mappa catastale in scala 1: 2.000 - Foglio n.29 - Mappali nn.216-335.
Ubicazione dell'area di interesse.



Figura n.3 - Regione: Emilia Romagna - Provincia: Reggio Emilia.

Comune: Bibbiano - Via: San Giovanni Bosco n.2/F.

Latitudine: 44°39'30" Nord - Longitudine: 10°28'07" Est - Quota altimetrica: 128 m s.l.m.

Stralciamento del R.U.E. comunale in scala 1:5.000 - Tavola P4.2.

Ubicazione dell'Ambito di Integrazione degli Insedimenti Residenziali soggetti a P.U.A. denominato A.I.R.5.

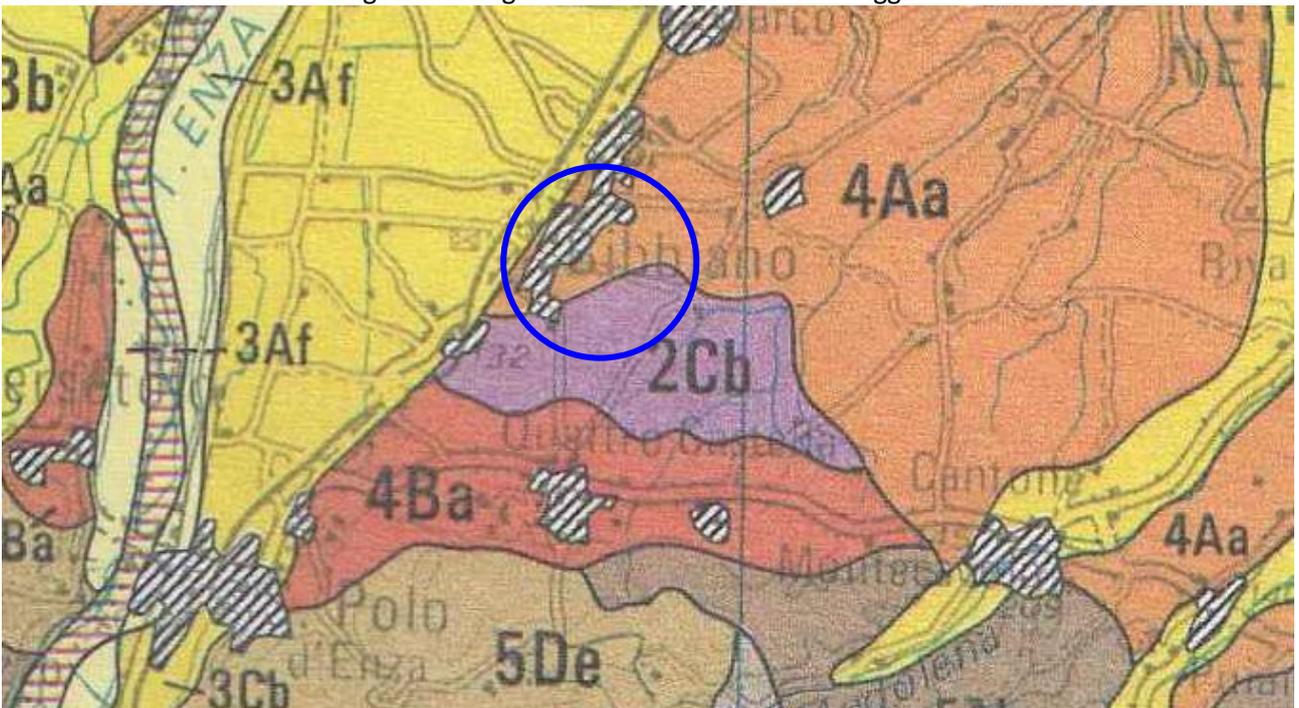


Figura n.4- Regione: Emilia Romagna - Provincia: Reggio Emilia.

Comune: Bibbiano - Via: San Giovanni Bosco n.2/F.

Latitudine: 44°39'30" Nord - Longitudine: 10°28'07" Est - Quota altimetrica: 128 m s.l.m.

Carta dei suoli della Regione Emilia Romagna derivata in scala 1:100.000.

Ubicazione dell'area di interesse.

Unità di suolo affiorante 4Aa: suolo pianeggiante con pendenza che varia tipicamente da 1% al 3%; molto profondo; a tessitura sabbiosa o ghiaiosa in profondità; a moderata disponibilità di ossigeno; non calcareo; neutro o debolmente alcalino. Si è formato in sedimenti fluviali a tessitura sabbiosa e/o ghiaiosa. Rientra negli *Haplic Luvisols* secondo la legenda FAO. L'uso attuale è in prevalenza a prato poliennale e seminativo semplice.

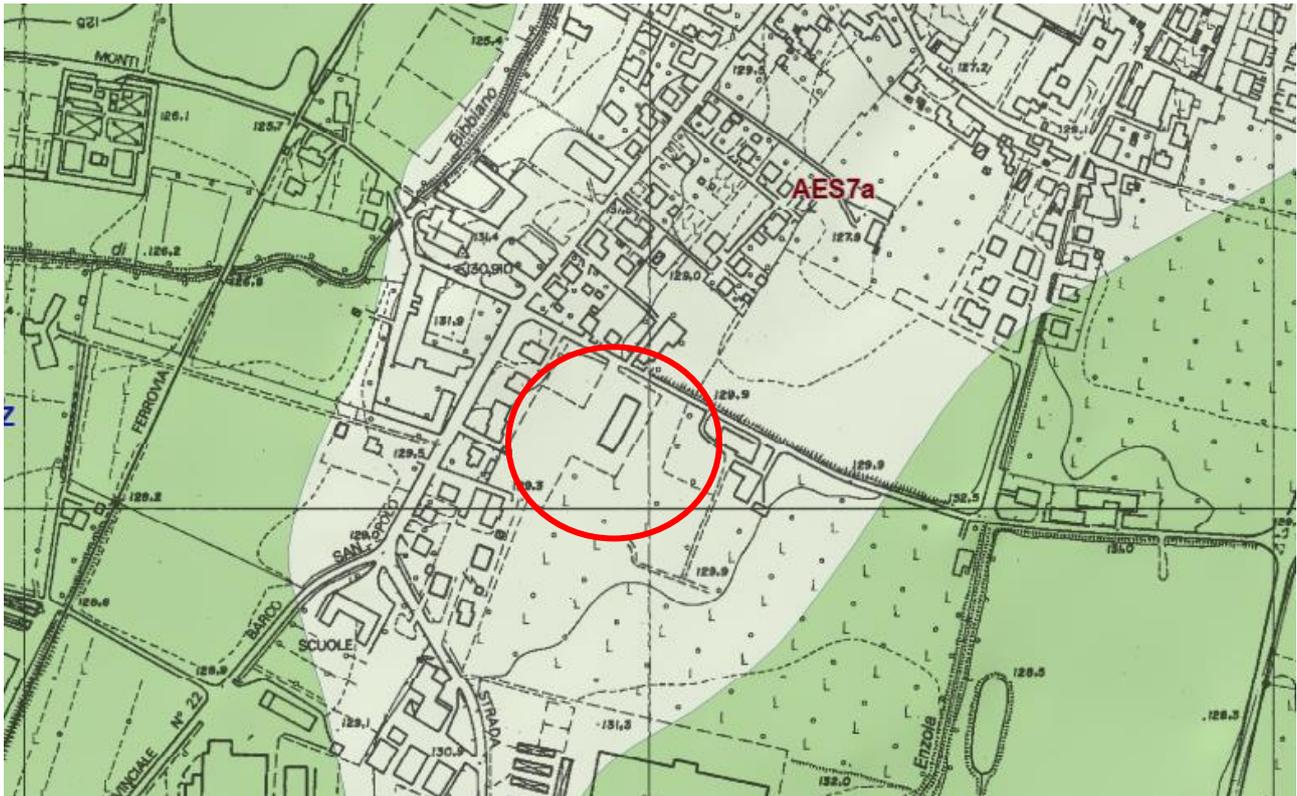


Figura n.5- Regione: Emilia Romagna - Provincia: Reggio Emilia.

Comune: Bibbiano - Via: San Giovanni Bosco n.2/F.

Latitudine: 44°39'30" Nord - Longitudine: 10°28'07" Est - Quota altimetrica: 128 m s.l.m.

Carta geologica regionale progetto C.A.R.G. in scala 1:10.000 - Ubicazione dell'area di interesse.

AES7a = Unità di Niviano riferibile al Pleistocene superiore. L'Unità si presenta in facies di limi argillosi e/o di sabbie argillose e costituisce uno strato superficiale, potente alcuni metri; quest'ultimo ricopre uno strato basale formato da ghiaie sabbiose e/o da sabbie ghiaiose in matrice limo-argillosa. Deposito continentale, di terrazzo fluviale del torrente Enza (terrazzo alto di Bibbiano-Barco) passante lateralmente a depositi di interconoide e distalmente a depositi di piana inondabile. Lo spessore massimo dell'Unità è di circa 20,00 m. Il profilo di alterazione del suolo, decarbonatato, è molto evoluto con presenza di ossidi di Fe e Mn che danno caratteristica colorazione bruno-rossastra. Il grado di consistenza e/o di addensamento del terreno aumenta generalmente con la profondità in funzione anche dell'aumento della pressione geostatica efficace. Si tratta di un terreno leggermente sovraconsolidato. AES7a è contigua, in zone limitrofe, con **AES8 (Subsistema di Ravenna)** riferibile al Pleistocene, in facies di limi argillosi e/o di sabbie argillose, con subordinate sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose.

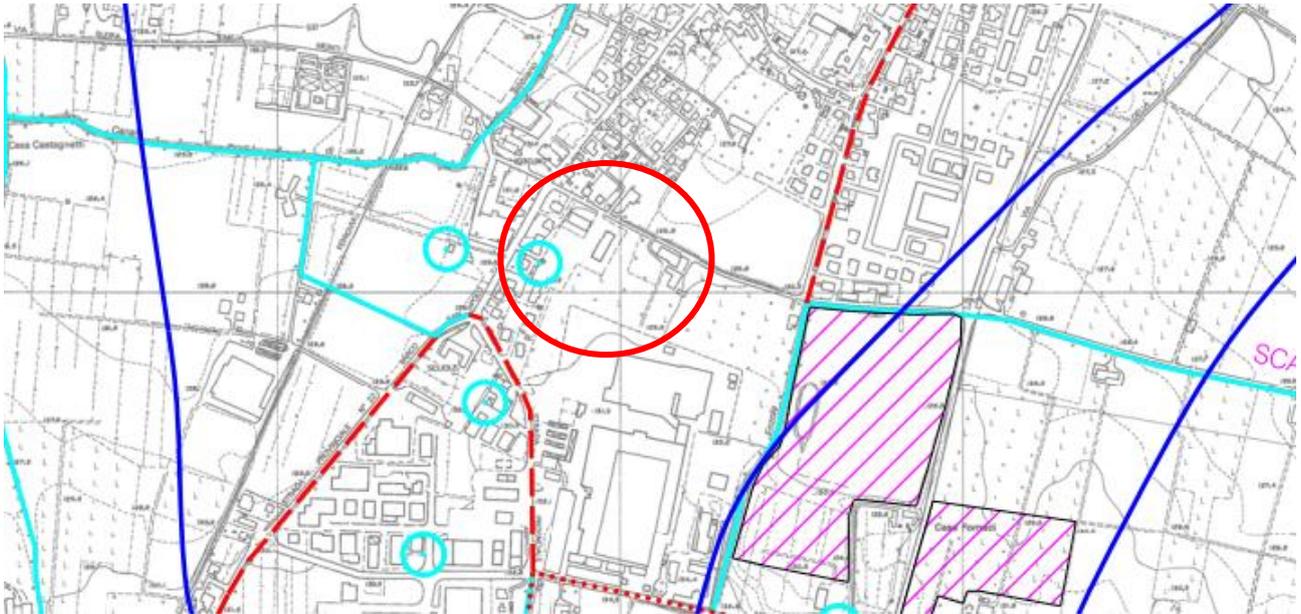
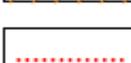


Figura n.6 - Carta dell'idrologia e piezometria in scala 1:10.000 (Quadro conoscitivo - Tavola A20 - P.S.C. Bibbiano - 2013). Ubicazione dell'area di interesse che si trova compresa tra le isofreatiche 110,00 m e 115,00 m s.l.m. (soggiacenza teorica del primo livello della falda acquifera superficiale tra -13,00 m ed i -18,00 m dalla quota del piano di campagna).

LEGENDA

	Area a deflusso difficoltoso
	Rete idrografica principale a cielo aperto
	Rete idrografica principale tombata
	Isofreatiche riferite in metri sul livello del mare
	Pozzi
	Pozzi IREN
	Area di rispetto pozzi IREN (200 m)
	Confine comunale

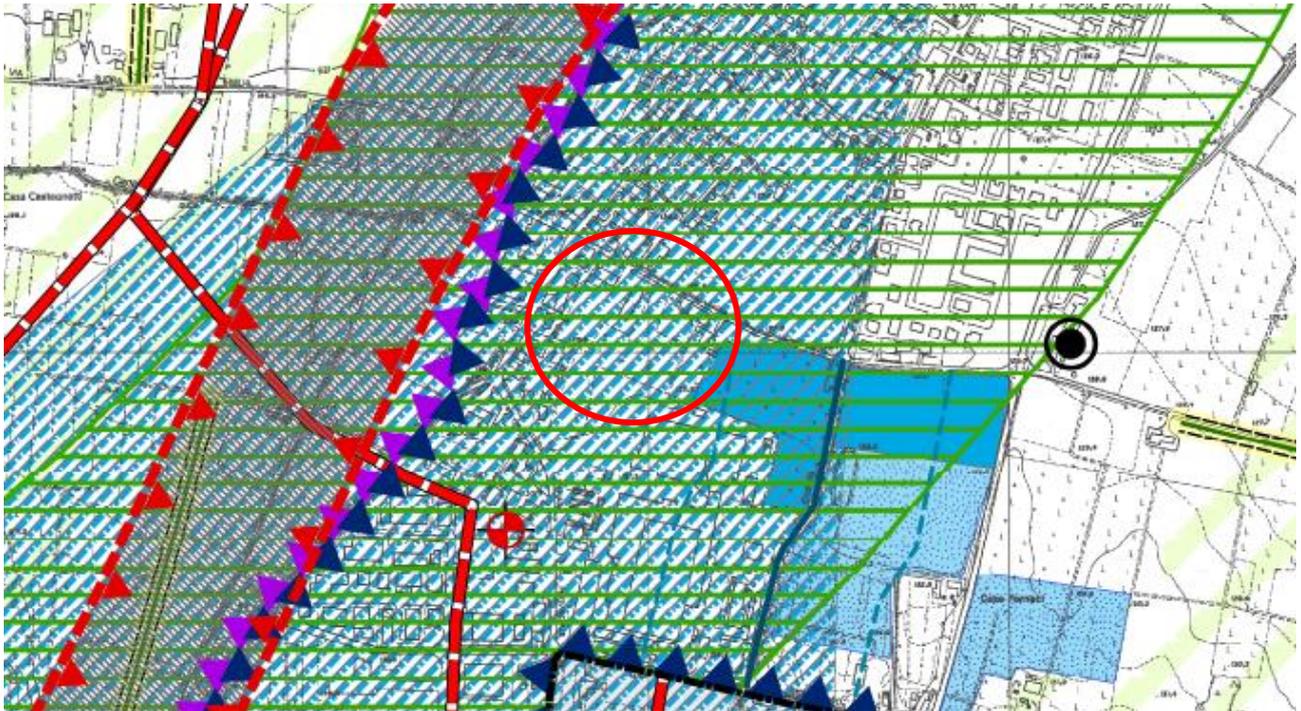


Figura n.7 - Carta delle criticità in scala 1:10.000 (Quadro conoscitivo - Tavola A23 - P.S.C. Bibbiano - 2013). Ubicazione dell'area di interesse che si trova in aree storicamente inondate (PTCP Reggio Emilia - Quadro Conoscitivo - Allegato 6 - Tavola 6).

LEGENDA



Dossi fluviali



Situazioni di conflitto per la continuità della Rete Ecologica



Aree storicamente inondate (Ptcp - QC all.6 tav.6)



Aree inondate al 2005 (studio idraulico Bentivoglio 2009)



Aree a deflusso difficoltoso



3° livello di approfondimento sismico



Figura n.8 - Carta del tetto delle ghiaie in scala 1:10.000 (Studio di microzonazione sismica - Tavola 1.1 - P.S.C. Bibbiano - 2013). Ubicazione dell'area di interesse che si trova in zona con profondità del tetto delle ghiaie compresa tra -5,00 m e -10,00 m dalla quota del piano di campagna.

Legenda



Profondità del tetto delle ghiaie e/o ghiaie in matrice argilloso-limosa da p.c. a -5,00 m



Profondità del tetto delle ghiaie e/o ghiaie in matrice argilloso-limosa da -5,00 m a -10,00 m



Profondità del tetto delle ghiaie e/o ghiaie in matrice argilloso-limosa maggiore di -10,00 m

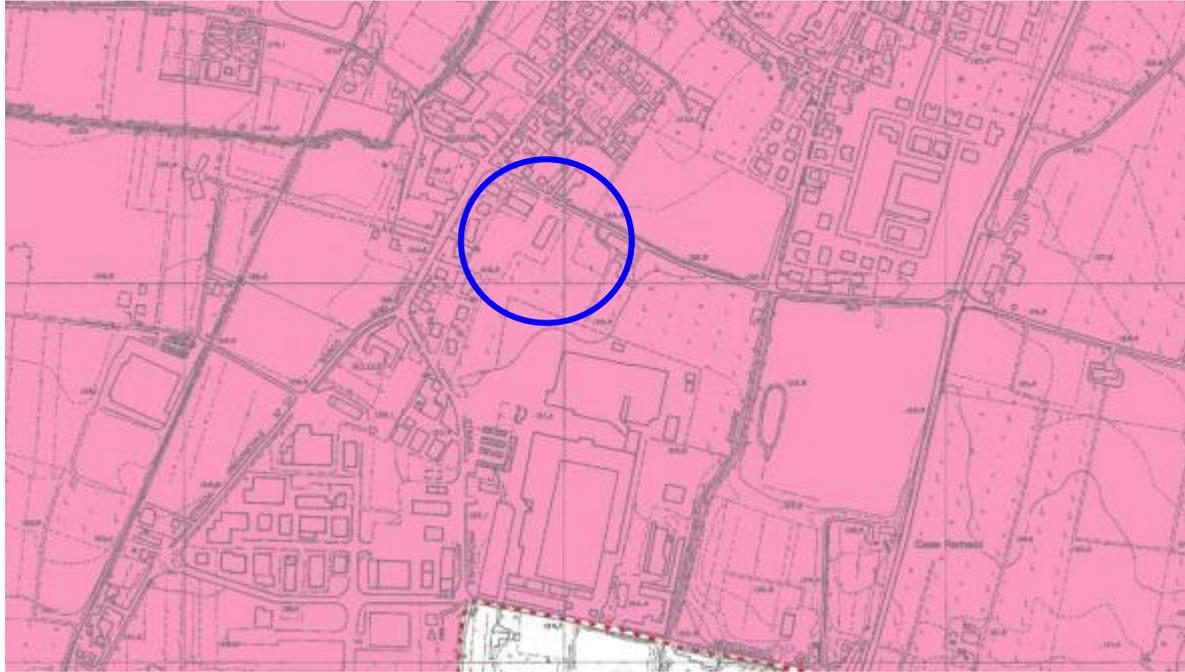


Figura n.9 - Carta delle velocità delle onde di taglio in scala 1:10.000 (Studio di microzonazione sismica - Tavola 1.5 - P.S.C. Bibbiano - 2013). Ubicazione dell'area di interesse che ricade in zona con terreno di categoria C (classe da 240 m/sec a 300 m/sec) ai sensi del D.M. 17/01/2018.

TERRENO DI CATEGORIA "C" DA 180 m/sec A 360 m/sec

 Classe da 180 m/sec a 240 m/sec

 Classe da 240 m/sec a 300 m/sec

 Classe da 300 m/sec a 360 m/sec

TERRENO DI CATEGORIA "B" DA 360 m/sec A 800 m/sec

 Categoria B da 360 m/sec a 800 m/sec

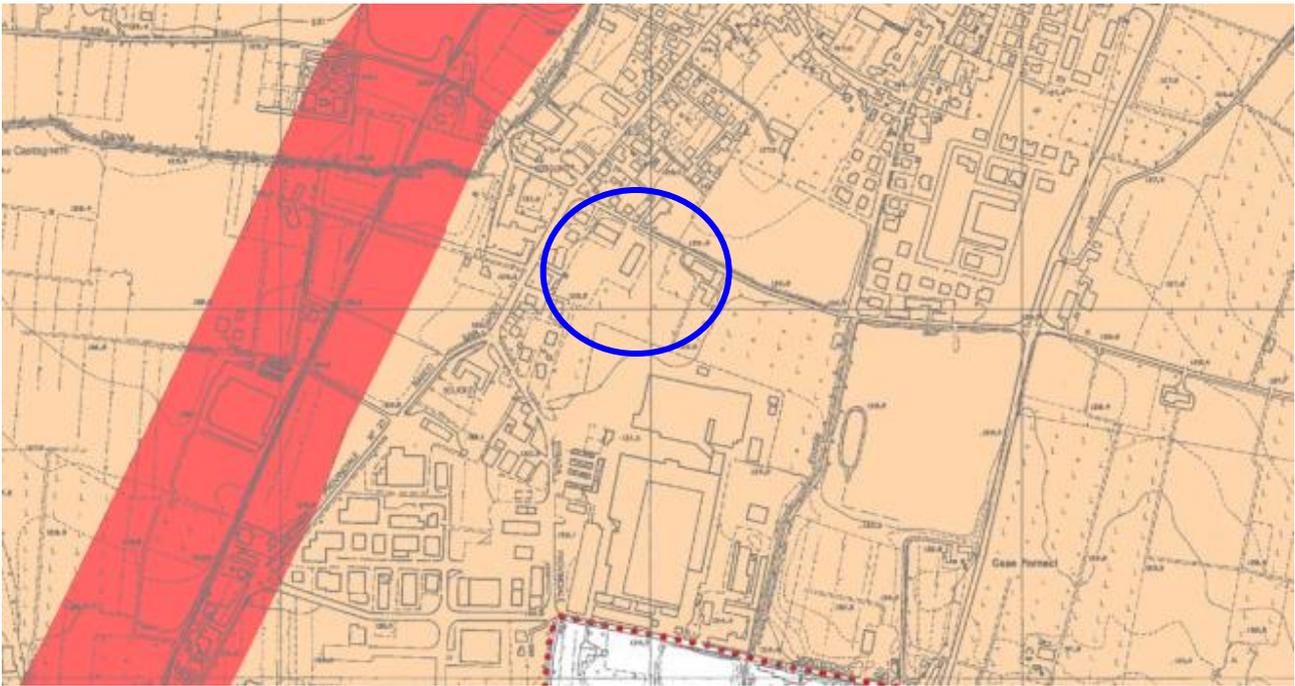


Figura n.10 - Carta della microzonazione sismica in termini di FaPGA, FaIS da 0,1 a 0,5 secondi, FaIS da 0,5 a 1,0 secondi in scala 1:10.000 (Studio di microzonazione sismica - Tavola 1.6 - P.S.C. Bibbiano - 2013). Ubicazione dell'area di interesse che si trova in area con fattore di amplificazione dell'accelerazione di picco al suolo F.a.-P.G.A. = 1,5; F.a.-I.S. da 0,1 a 0,5 secondi = 1,7 ÷ 1,8 secondi e F.a.-I.S. da 0,5 a 1,0 secondi = 2,3 secondi.

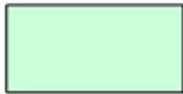
FATTORI DI AMPLIFICAZIONE



FaPGA = 1,5
 FaIS da 0,1 a 0,5 sec = 1,8
 FaIS da 0,5 a 1,0 sec = 2,3 + 2,5



FaPGA = 1,5
 FaIS da 0,1 a 0,5 sec = 1,7 + 1,8
 FaIS da 0,5 a 1,0 sec = 2,3



FaPGA = 1,4 ÷ 1,5
 FaIS da 0,1 a 0,5 sec = 1,7
 FaIS da 0,5 a 1,0 sec = 2,0 + 2,3



FaPGA = 1,4
 FaIS da 0,1 a 0,5 sec = 1,5 + 1,7
 FaIS da 0,5 a 1,0 sec = 1,8 + 2,0



Dossi fluviali, III livello di approfondimento per potenziale liquefazione.
 Fattori di amplificazione FaPGA, FaIS 0,1+0,5 sec, FaIS 0,5+1,0 sec calcolati con analisi numerica monodimensionale 1D.

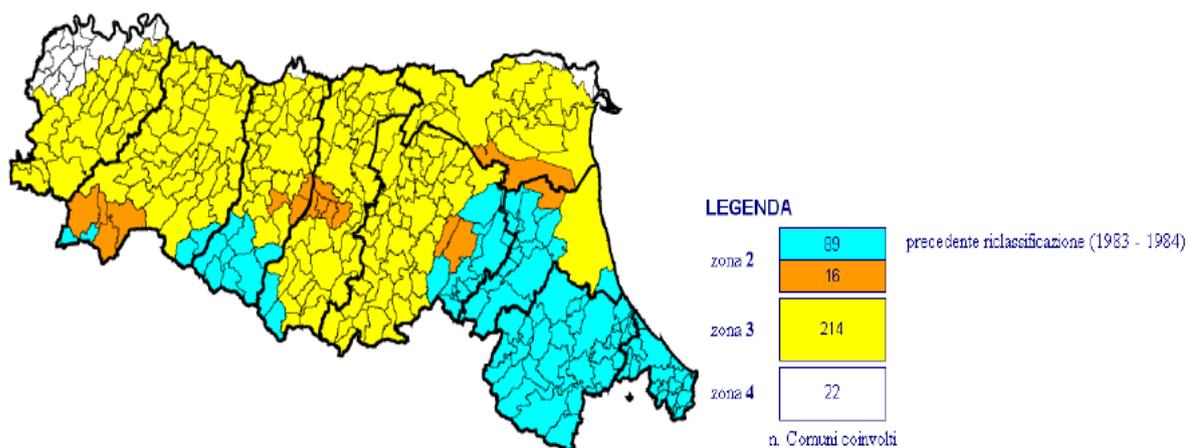


Figura n.11 - Classificazione sismica della Regione Emilia Romagna - O.P.C.M. n.3274/2003 (Allegato 1, punto 3 - "prima applicazione"). Il territorio comunale di Bibbiano (RE) ricade in zona sismica 3.

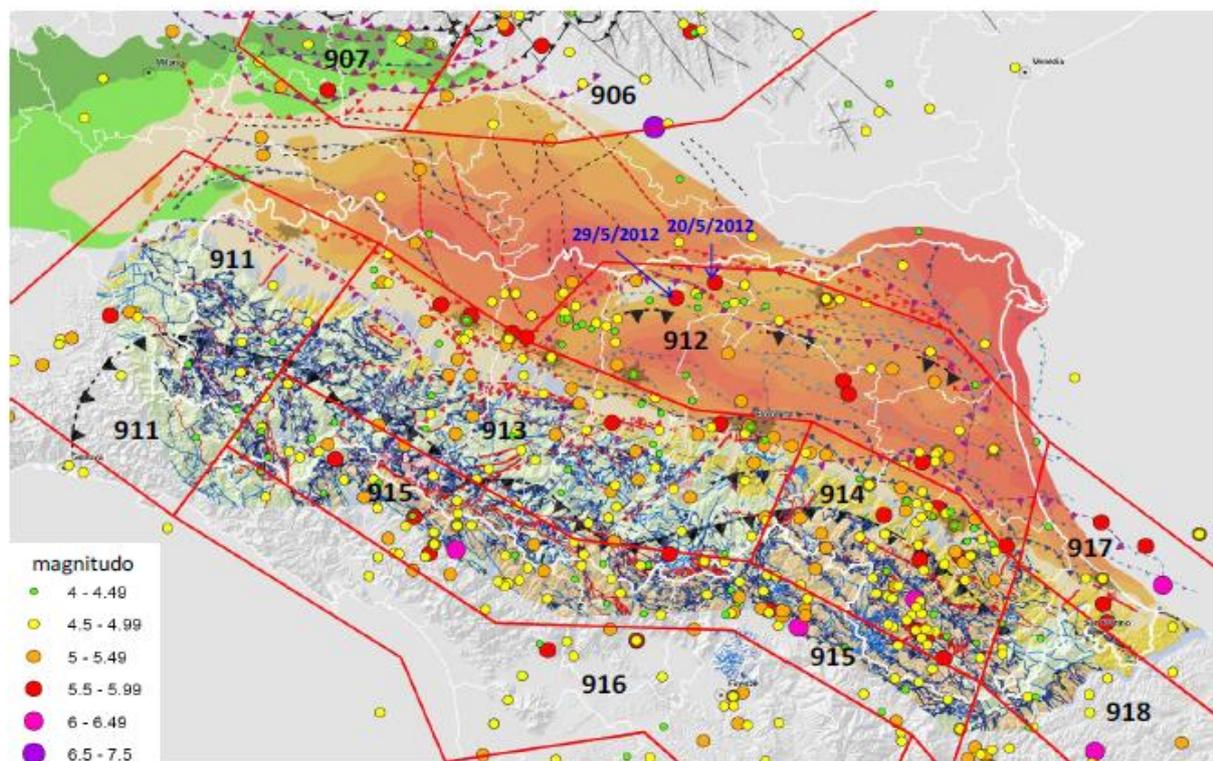


Figura n.12 - Schema tettonico dell'Appennino Emiliano-Romagnolo e della Pianura Padana centrale (Martelli, 2011) con zone sismogenetiche da ZS9 (Meletti e Valensise, 2004), aree con limiti rossi, e localizzazione dei principali terremoti che hanno interessato l'Emilia-Romagna (dati I.N.G.V.). Il territorio comunale di Bibbiano ricade nella zona sismogenetica 913.

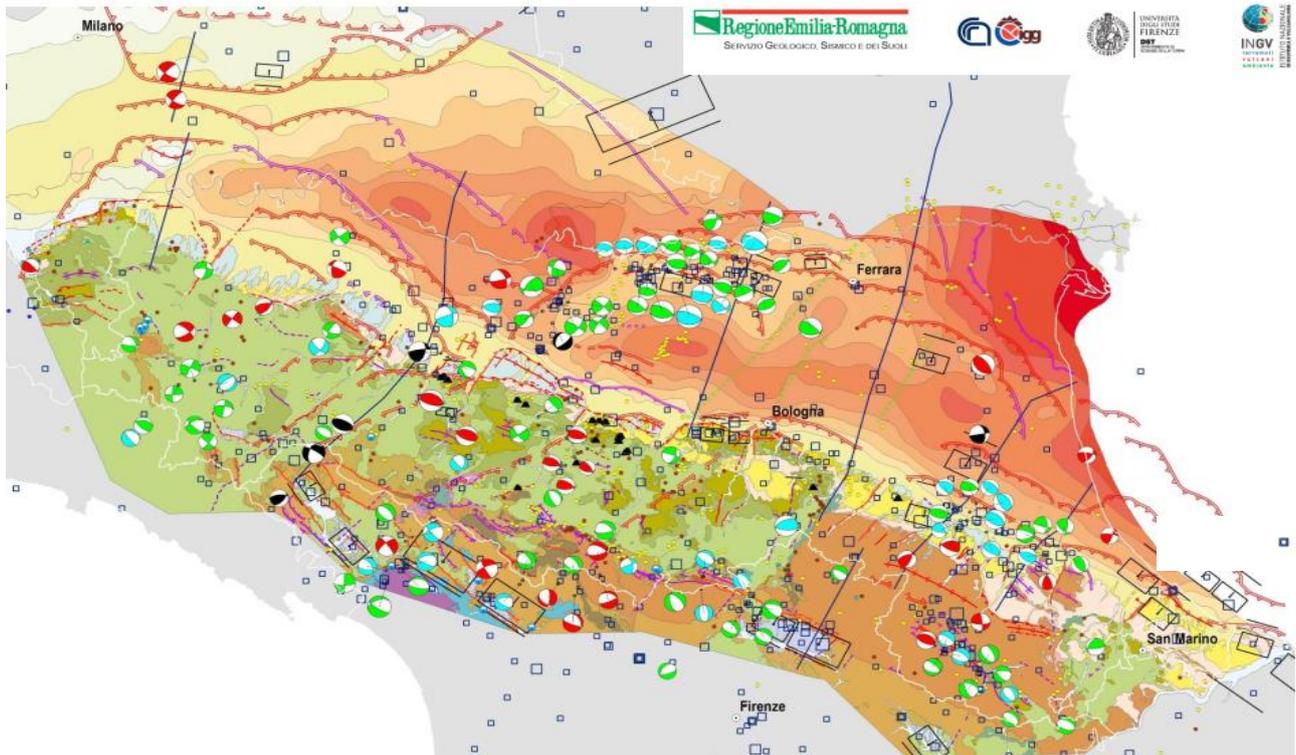


Figura n.13 - Nuova carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna e aree limitrofe in scala 1.250.000 (Servizio Geologico Sismico Regione Emilia Romagna - C.N.R. - Istituto di Geoscienze e di Georisorse sezione di Firenze - 2017).

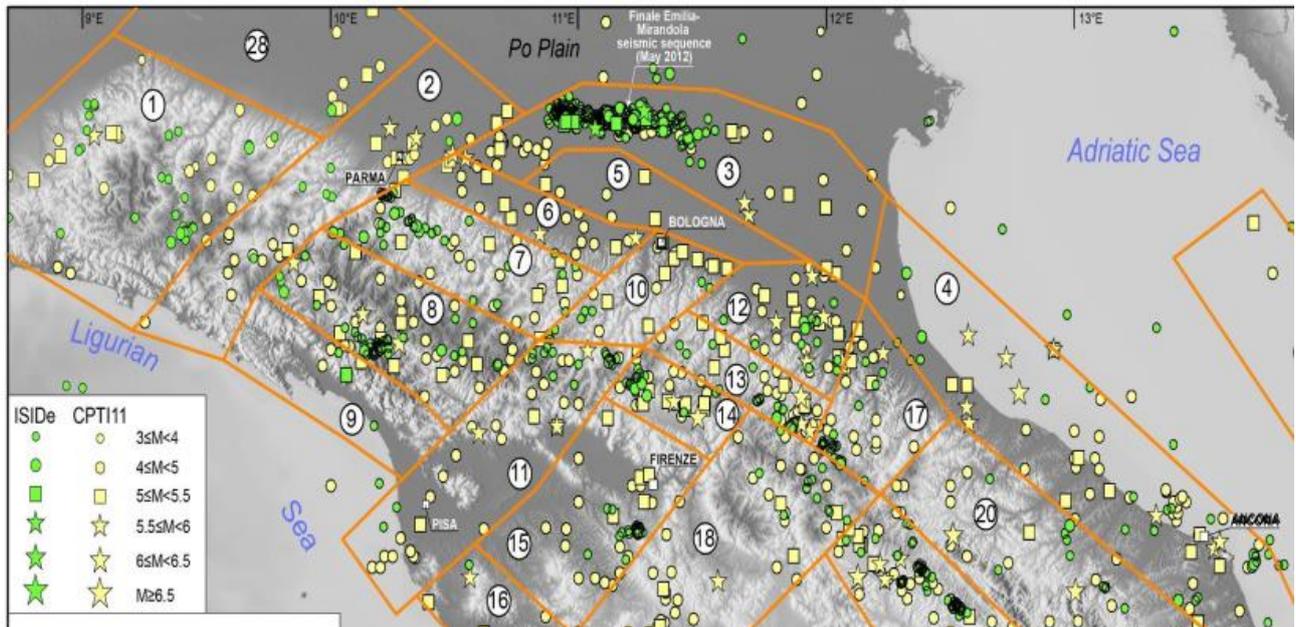


Figura n.14 - Nuova mappa di zonazione sismogenetica riguardante l'Appennino Settentrionale, il Margine Appenninico - Padano e la Pianura Padana (Servizio Geologico Sismico Regione Emilia Romagna - C.N.R. Firenze - Università di Firenze - 2017). Il territorio comunale di Bibbiano (RE) ricade nella nuova zona sismogenetica 6 (n.517 Basso Appennino Emiliano-Margine) che è caratterizzata da una tettonica principalmente a thrust (sovrascorrimenti) con direzioni ed immersione delle faglie inverse principali Sud/45°-60°, profondità ipocentrale prevalentemente compresa 10 km - 30 km e **magnitudo massima attesa pari a $M_w = 6,0$** .

File downloaded from CPTI15 - DBMI15

Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 - Database Macrosismico Italiano 2015

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Seismic history of **Bibbiano**

PlaceID IT_37141

Coordinates (lat, lon) 44.665, 10.474

Municipality (ISTAT 2015) **Bibbiano**

Province Reggio nell'Emilia

Region Emilia-Romagna

No. of reported earthquakes 20

Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
7	1831 09 11 18 15	Pianura emiliana	25	7-8	5,48
6	1831 09 13 05 30	Pianura emiliana	7		
6-7	1832 03 13 03 30	Reggiano	97	7-8	5,51
4-5	1920 09 07 05 55 40.00	Garfagnana	750	10	6,53
7	1971 07 15 01 33 23.00	Parmense	228	8	5,51
6	1983 11 09 16 29 52.00	Parmense	850	6-7	5,04
NF	1986 12 06 17 07 19.77	Ferrarese	604	6	4,43
NF	1987 04 24 02 30 27.04	Reggiano	54	6	4,64
6	1987 05 02 20 43 53.32	Reggiano	802	6	4,71
4-5	1988 03 15 12 03 16.17	Reggiano	160	6	4,57
3	1989 10 03 09 41 32.85	Appennino parmense	91	4	4,04
2-3	1995 10 10 06 54 21.72	Lunigiana	341	7	4,82
4	1995 12 31 21 29 47.60	Appennino reggiano	96	4-5	4,51
5-6	1996 10 15 09 55 59.95	Pianura emiliana	135	7	5,38
2-3	1997 05 12 22 13 52.50	Pianura emiliana	56	4-5	3,68
4-5	1998 02 21 02 21 13.30	Pianura emiliana	104	5	3,93
3-4	2000 06 18 07 42 07.68	Pianura emiliana	304	5-6	4,4
NF	2002 06 18 22 23 38.10	Frignano	186	4	4,3
NF	2002 11 13 10 48 03.19	Franciacorta	768	5	4,21
5	2008 12 23 15 24 21.77	Parmense	291	6-7	5,36

Tabella n.1 - Database dei terremoti, accaduti dal 1831 fino al 2008, per il territorio comunale di Bibbiano (CPTI15 - DBMI15 - Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 - Database Macrosismico Italiano 2015 - I.N.G.V. 2017 - https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/).

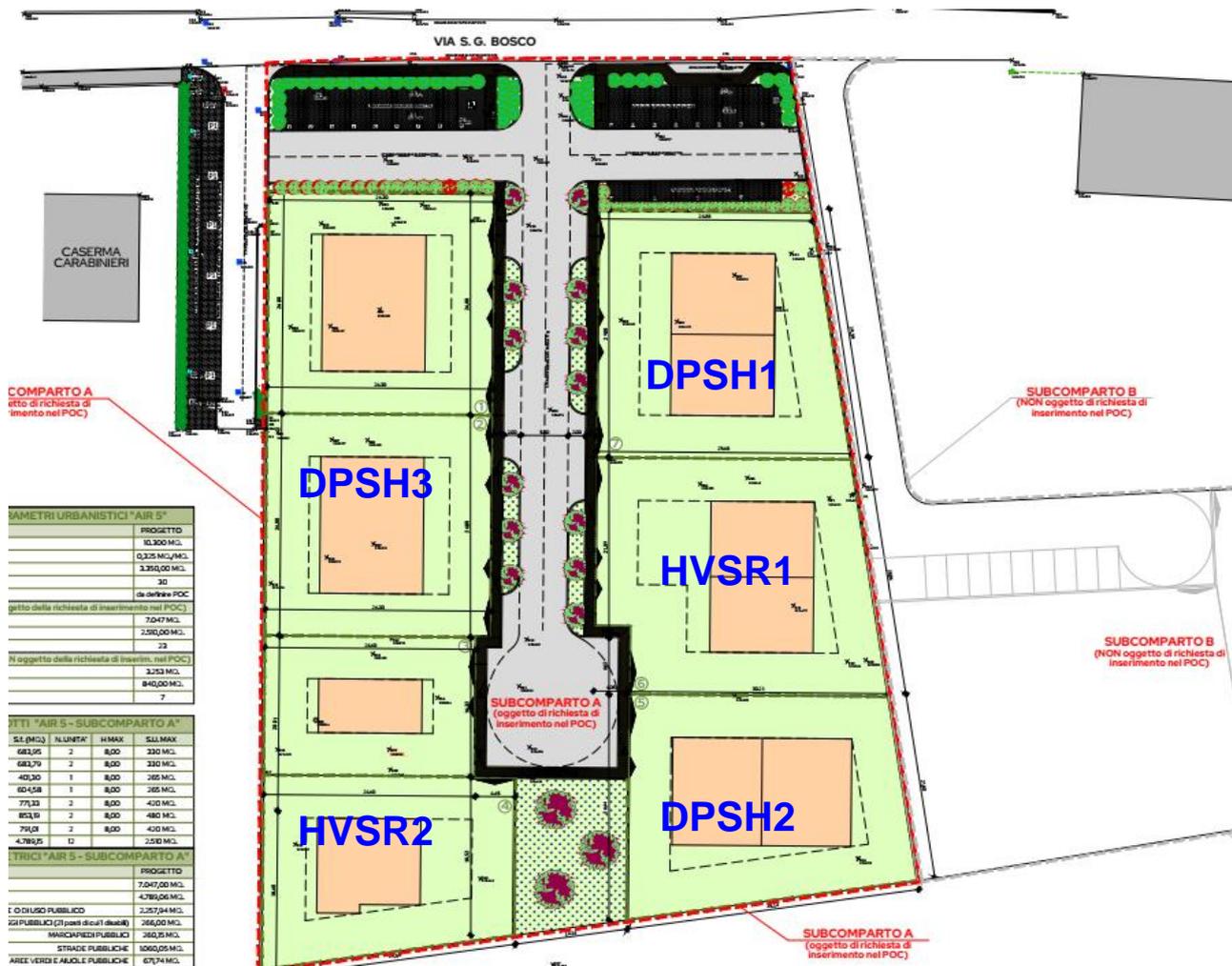


Figura n.15 - Regione: Emilia Romagna - Provincia: Reggio Emilia.
 Comune: Bibbiano - Via: San Giovanni Bosco n.2/F.
 Latitudine: 44°39'30" Nord - Longitudine: 10°28'07" Est - Quota altimetrica: 128 m s.l.m.
 Planimetria di progetto fuori scala del Subcomparto A dell'Ambito di Integrazione degli Inseadimenti Residenziali 5 (Subcomparto A - AIR5) con ubicazione delle indagini geognostiche.
 DPSH1/DPSH2/DPSH3 = prove penetrometriche dinamiche pesanti con massa battente da 63,5 kg.
 HVSR1/HVSR2 = indagini di sismica passiva a stazione singola tipo H.V.S.R.

INDAGINI H.V.S.R.

INDAGINI DI SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE PESANTI DPSH

DIAGRAMMI DI RESISTENZA

TABELLE VALORI DI RESISTENZA

TABELLE PARAMETRI GEOTECNICI

INDAGINE GEOFISICA
SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA H.V.S.R. (NAKAMURA)

Committente: Immobiliare Venturi s.r.l.

Via: San Giovanni Bosco n.2/F - Comune: Bibbiano (RE)

Lavoro: “Procedura di manifestazione di interesse funzionale all’acquisizione di proposte circa le previsioni del vigente P.S.C. da attuare attraverso accordi operativi inerenti immobili nell’ambito del Subcomparto A di AIR5”.

Sommario

PREMESSA.....	1
METODOLOGIA DI INDAGINE PER IL CALCOLO DEL MOTO SISMICO IN SUPERFICIE.....	1
TECNICHE D’ACQUISIZIONE IN SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA.....	1
ACQUISIZIONE E ANALISI DEI DATI.....	2

Premessa

Nel mese di novembre 2021, su commissione dell'Immobiliare Venturi s.r.l., sono state effettuate n.2 (due) misure di rumore sismico in via San Giovanni Bosco n.2/F a Bibbiano (RE). Le indagini geofisiche sono state indicate come HVSR1 e HVSR2 sulla planimetria di progetto fuori scala con ubicazione delle indagini geognostiche (figura n.15). Esse sono state eseguite al fine della classificazione sismica del sottosuolo secondo NTC2018 e al fine di determinare la frequenza naturale principale di vibrazione del terreno. Per eseguire l'indagine di sismica passiva a stazione singola è stato utilizzato un tromografo digitale denominato commercialmente GEMINI2®, commercializzato dalla Società P.A.S.I. di Torino, ed è stata eseguita un'analisi dei dati misurati con software WinHVSR®, prodotto dalla Società Eliosoft.

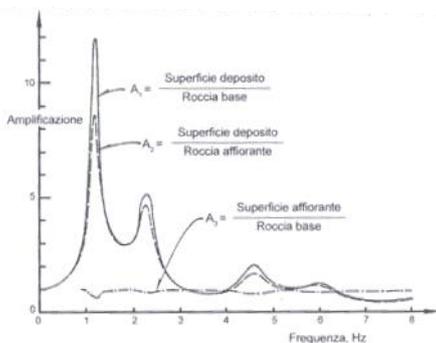
Metodologia di indagine per il calcolo del moto sismico in superficie

Nel caso semplificato di un terreno omogeneo, di spessore H , che poggia su di un substrato roccioso soggetto ad onde di taglio con direzione di propagazione verticale, è possibile assumere che il terreno del deposito che ricopre il bedrock abbia un comportamento elastico lineare con densità (ρ), velocità delle onde di taglio (V_s) e fattore di smorzamento D indipendenti dal livello di deformazione. Mentre i rispettivi parametri, riferiti al basamento (bedrock o bedrock like), siano ρ_B e V_B e per semplicità si assume $D_B=0$.

In tal caso durante un'eccitazione sismica si generano onde di taglio sinusoidali, con frequenza " f " differente a seconda che quest'ultima venga misurata al basamento od alla superficie del deposito e con accelerazione la cui ampiezza max è anch'essa differente se misurata al bedrock a_{MAXR} oppure in superficie a_{MAXS} .

Il rapporto fra a_{MAXS} / a_{MAXR} prende il nome di fattore di amplificazione A e dipende dalla frequenza (f) dell'eccitazione armonica, dal fattore di smorzamento del terreno e dal rapporto tra impedenza sismica del basamento ($\rho_B V_B$) e del deposito di copertura ($\rho_S V_S$)

La variazione del fattore di amplificazione con la frequenza definisce la funzione di amplificazione $A(f)$ del deposito.



Come indicato nella figura accanto (che rappresenta il caso di un deposito ad 8 strati con spessore totale di circa 40 m) il moto sismico può essere amplificato, in corrispondenza di determinate frequenze, che corrispondono alle frequenze naturali f_N (o dei periodi naturali T_N) di vibrazione del deposito in oggetto, che nel caso esemplificato di uno strato omogeneo di spessore H poggiante sul substrato la f , può essere assunta:

$$f_1 = \frac{1}{T_1} = \frac{V_s}{4H}$$

Ove

f_1 = prima frequenza naturale di vibrazione del deposito denominata "*frequenza fondamentale*"

T_1 = primo periodo naturale di vibrazione del deposito o "*periodo fondamentale*"

Importante è comunque sottolineare che quando si considerano eccitazioni intense (come in caso di sisma) e si voglia tenere conto in maniera realistica del comportamento non lineare del terreno, i valori max della funzione di amplificazione e le frequenze di risonanza, possono risultare frequentemente anche notevolmente inferiori a quelle determinate in base alle supposizioni semplicistiche che tengono conto di ipotesi di comportamento lineare, poiché l'energia di eccitazione del suolo viene in parte spesa in attrito interno e in deformazioni permanenti.

Tecniche d'acquisizione in sismica passiva a stazione singola

In occasione della scossa principale del terremoto abruzzese sia a L'Aquila città sia in numerosi centri minori della valle del F. Aterno nel 2009, ma anche in occasione delle scosse sismiche del Molise (S. Giuliano di Puglia 2002) ed ancora in precedenza nel terremoto di Città del Messico (1985), si sono osservate sensibili disomogeneità nel danneggiamento di edifici posti anche a breve distanza.

Tale aspetto, di non secondaria importanza, da allora ed ancora attualmente molto studiato, è imputabile al verificarsi in alcune zone colpite dal sisma (caratterizzate ad es. da una stessa classe di categoria di suolo – A, B, C, D, E secondo NTC08) di fenomeni di amplificazione sismica locale dovuti a particolari condizioni geologiche e/o topografiche presenti nel sottosuolo del sito d'interesse e/o al verificarsi dei cosiddetti fenomeni di "doppia risonanza", cioè quella situazione particolare e molto pericolosa in cui la FREQUENZA FONDAMENTALE (f_1) propria di ogni sottosuolo si avvicina o corrisponde al 1° modo di vibrare di ogni singolo edificio.

La frequenza fondamentale del suolo è definibile in base alle caratteristiche proprie (spessore degli strati e valore di V_s di ogni singolo strato sino al raggiungimento del bedrock sismico) e si misura mediante indagini sismiche con tecnica passiva (cioè senza energizzare il suolo) sfruttando il "rumore sismico" ambientale sempre presente in natura (onde oceaniche, onde di battaglia, vento - variazioni atmosferiche ed attività antropiche) che alle volte può disturbare le normali acquisizioni in sismica attiva (cioè quelle ove si energizza artificialmente il suolo nel punto di misura).

La misura diretta di f_1 può consentire quindi, di rilevare eventuali picchi di frequenza propri del sottosuolo in esame, cioè individuare le frequenze cui può vibrare il suolo in caso di sisma, quindi sapere a priori (prima dell'evento) se la struttura in progetto (caratterizzata a sua volta da una frequenza propria data dalla geometria e morfologia strutturale) è caratterizzata da frequenze che sono vicine o uguali a quelle fondamentali del suolo.

Per contro se l'edificio è preesistente, se ne può verificare la frequenza, mediante misure strutturali di frequenza dirette, che comparate a quelle del suolo, possono indicare se sono eventualmente possibili fenomeni di "doppia risonanza", che in caso di sisma, possono determinare danni strutturali anche rilevanti.

Fisicamente si misura l'amplificazione delle onde sismiche dovuta alla risonanza delle coltri sedimentarie.

Sono comunque sempre necessari studi integrativi ed aggiuntivi per consentire di valutare gli eventuali effetti topografici e/o di amplificazione di tipo bidimensionale.

Il metodo in sintesi si basa sull'analisi delle curve H/V che all'approssimarsi del PERIODO FONDAMENTALE (di un deposito) per le onde S, la componente verticale (V) del moto si annulla, così il rapporto fra componente orizzontale e verticale del moto (H/V ratio) diventa molto grande (teoricamente tende a ∞).

In tal modo individuando il maggior rapporto H/V, dai grafici di acquisizione in sismica passiva, si desume il PERIODO FONDAMENTALE del sottosuolo da misure di rumore sismico.

Acquisizione e analisi dei dati

Per l'acquisizione dei dati di rumore sismico o microtremore sismico, è stato utilizzato uno degli strumenti più diffusi e certificati per l'acquisizione di dati in sismica passiva a stazione singola, denominato "GEMINI2"® coperto da brevetto internazionale.

Tale strumentazione appositamente progettata e costruita da *P.A.S.I. s.p.a.*, rappresenta la nuova generazione di strumenti digitali per la misura ad alta risoluzione del rumore sismico ambientale ed anche per la misura delle vibrazioni su strutture (norma Din 4150 e UNI 9916).

Il Gemini 2 è un acquirente dati HVSR costituito da una terna di geofoni con frequenza di risonanza di 2 Hz, accoppiati sia meccanicamente che elettricamente e da un acquirente di dati a 24 bit reali appositamente progettato. Per il suo funzionamento in campagna il Gemini 2 viene collegato ad un computer portatile tramite un'interfaccia USB.

I tre geofoni interni sono orientati secondo una terna di assi cartesiani, assumendo la convenzione descritta nelle linee guida del Progetto SESAME: l'asse Z corrisponde al geofono verticale (direzione Up-Down), l'asse X e l'asse Y corrispondono rispettivamente al geofono orizzontale (direzione Est - Ovest) e al geofono orizzontale (direzione Nord - Sud).

Tecnicamente è un sismografo appositamente studiato per il rilievo del microtremore sismico, nell'intervallo di frequenze fra 0,1 e 512 Hz, mediante l'impiego di masse strumentali molto ridotte, con una struttura rigida non risonante e costruita con materiali non diffrangenti.

I sensori sono costituiti da una terna di velocimetri smorzati che trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore e dinamica ≥ 23 bit. Queste caratteristiche strumentali consentono una elevata accuratezza nella misura dei dati, maggiore di 10^{-4} , sulle componenti spettrali maggiori/uguali a 0,1 Hz.

Praticamente si tratta di installare solidalmente al suolo la strumentazione e di misurare il tremore sismico, con durata di registrazione adeguata alla frequenza minima di interesse per il sito in analisi.

Per l'area in esame si ipotizza di misurare la frequenza della coltre sedimentaria, di copertura del bedrock sismico (quindi con spessore max ipotizzabile non superiore a 300 m), da ciò ne deriva una stima (in prima approssimazione) della frequenza dell'ordine di circa 0.5 Hz, che equivale ad un periodo $T = 2$ sec.

Pertanto per poter "osservare" e registrare con lo strumento queste frequenze, si tratta di mantenere in acquisizione lo strumento per una durata minima teorica di almeno 2 sec. Poiché poi il metodo si basa su tecniche di risoluzione spettrale elevata, il segnale viene acquisito su finestre temporali di almeno 10 volte più lunghe.

È opportuna, ed indispensabile, anche una ridondanza statistica (30-40 ripetizioni), che consente di mediare opportunamente le registrazioni, per evitare di interpretare rumori "locali" random.

In sintesi, per ottenere un'acquisizione di rumore sismico (microtremore) a scopi stratigrafici anche profondi, si devono quindi analizzare dati con durata di acquisizione $> 15-20$ min (nel caso in esame la durata dell'acquisizione è stata di 30 minuti pari ad una frequenza di 200 Hz).

Il risultato della acquisizione eseguita nel sito in esame è quindi analizzato mediante il software di calcolo WinHVSR che consente di archiviare, analizzare e permettere la revisione del segnale misurato in sito.

Tale software consente di realizzare approfondite analisi spettrali di base e procedure per analisi HVSR secondo procedure codificate dal progetto di ricerca SESAME (2004).

I passi principali sono:

- Uso di strumentazione certificata e/o verificata da opportune commissioni (tecnico - scientifiche);
- Analisi dettagliata dello spettro di Fourier delle componenti verticali del segnale per individuare ed eliminare componenti "monocromatiche" (possibile rumore antropico);
- Eliminare (in genere la sequenza completa è di suddividere l'acquisizione in sottofinestre di 20 sec) le sottofinestre con contenuti TRANSIENTI, cioè le porzioni di segnale contenenti transienti legati a sorgenti vicine al sensore (cioè passi o passaggi di autoveicoli);

Calcolo H/V per ogni sottofinestra selezionata mediante:

- Eliminazione segnale di eventuali offset;
- Calcolo spettri di Fourier;
- Smoothing degli spettri Fourier per minimizzare effetti d'instabilità numerica del computo dei rapporti, ottimizzando caso x caso la % di smoothing, per evitare di alterare le caratteristiche dello spettro intrinseco e quindi della curva H/V che ne deriva;
- Calcolo delle curve H/V in componente N-S - E-O - verticale;
- Stima del valore medio dei rapporti spettrali per ciascuna sottofinestra e definizione deviazione standard
- Identificazione curve H/V dei picchi statisticamente più significativi e stima indice di affidabilità da opportuni test statistici che permettono di definire l'affidabilità della curva H/V ed identificare il picco più significativo su criteri quantitativi.
- Se l'acquisizione viene eseguita in diverse condizioni d'acquisizione: es. esecuzione in diverse ore del giorno, diverso processing dei dati, diverse condizioni atmosferiche ecc., i risultati della curva H/V devono risultare paragonabili.

HVSR1 - VIA: SAN GIOVANNI BOSCO N.2/F - COMUNE: BIBBIANO (RE)

Il risultato dell'elaborazione è la curva dei rapporti spettrali della componente orizzontale su quella verticale delle onde di superficie (figura I), il profilo dell'andamento delle velocità delle onde di taglio con la profondità (figura II), la stratigrafia sismica del primo sottosuolo (tabella A - figura IV) e la tabella riassuntiva dei parametri ricavati dall'indagine sismica eseguita (tabella B). Nella figura III sono riportate le curve velocità/frequenze delle onde sismiche da microtremore, secondo le tre componenti tra loro ortogonali. Nel caso in esame si tratta di una registrazione che rispetta i criteri di validazione SESAME (Tabella D). La registrazione (figura I) mostra un chiaro picco di frequenza (f) a circa $f_2 \approx 9,1$ Hertz (2° sismostrato) che corrisponde ad un periodo di oscillazione caratteristico del sito desumibile dallo spettro HVSR pari a $T \approx 0,11$ secondi. Questo picco può essere messo in relazione ad una differenza d'impedenza sismica, tra strati contigui del terreno, che si individua ad una profondità di circa -9,0 m dalla quota del p.c. Esso è riferibile ad uno strato basale, molto addensato, di ghiaie-sabbiose e/o di sabbie-ghiaiose evidenziato anche dalle indagini penetrometriche. L'ampiezza del picco di frequenza fondamentale del sottosuolo, che è risultata essere pari ad $A = 3,0$, è una stima della differenza d'impedenza sismica del terreno (si tratta di un contrasto di moderata intensità).

1° SISMOSTRATO	2° SISMOSTRATO	3° SISMOSTRATO	4° SISMOSTRATO	5° SISMOSTRATO	6° SISMOSTRATO	7° SISMOSTRATO
$V_s = 135$ m/s	$V_s = 180$ m/s	$V_s = 270$ m/s	$V_s = 440$ m/s	$V_s = 500$ m/s	$V_s = 450$ m/s	$V_s = 550$ m/s
d = 2,00 m	d = 2,00 m	d = 3,00 m	d = 10,00 m	d = 10,00 m	d = 25,00 m	<i>bedrock sismico locale di base</i>

Tabella A - Stratigrafia sismica del sottosuolo del sito di progetto di via San Giovanni Bosco n.2/F a Bibbiano (RE) in corrispondenza dell'indagine sismica passiva a stazione singola HVSR1.

La valutazione del valore V_{s30} è stata ottenuta mediante l'utilizzo della seguente relazione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,n} \frac{h_i}{v_i}}$$

Dove:

h_i = spessore dello strato i esimo espresso in metri;

v_i = velocità onde di taglio strato i esimo espressa in m/s;

Ottenendo:

$$V_{s30} \approx 347 \text{ m/s}$$

Il valore equivalente della velocità delle onde di taglio riscontrato nei primi 30 metri di sottosuolo a partire dal presunto piano di fondazione (V_{s30}) rientra nell'intervallo di valori che permette al suolo di fondazione di essere ascritto alla categoria C.

- **C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiore 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.**

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

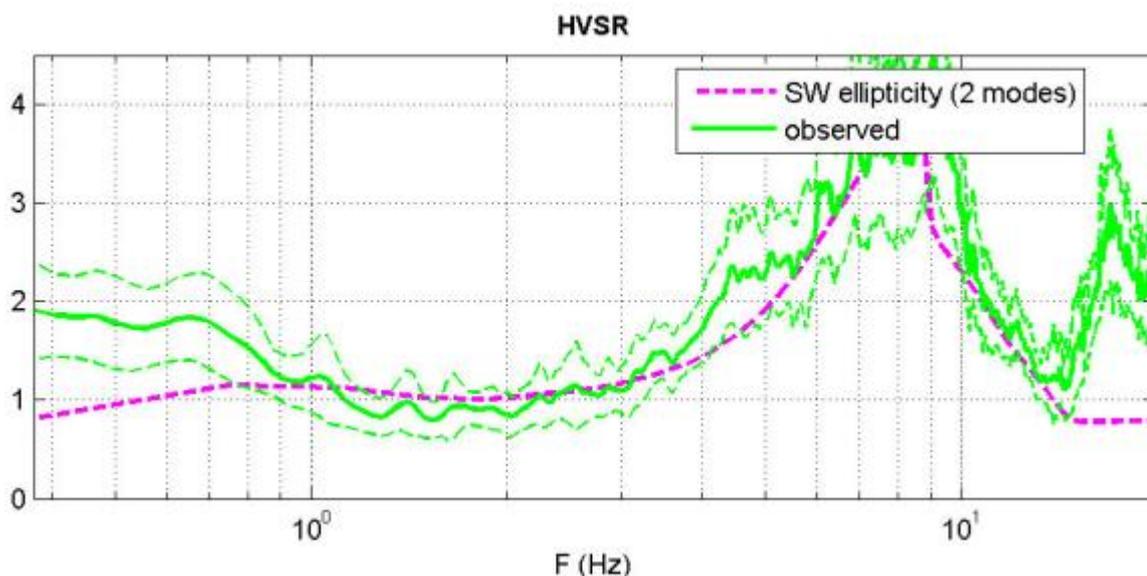


Figura I - Curva H/V registrata sul sito di progetto di via San Giovanni Bosco n.2/F a Bibbiano (RE) in corrispondenza dell'indagine sismica passiva a stazione singola HVSr1.

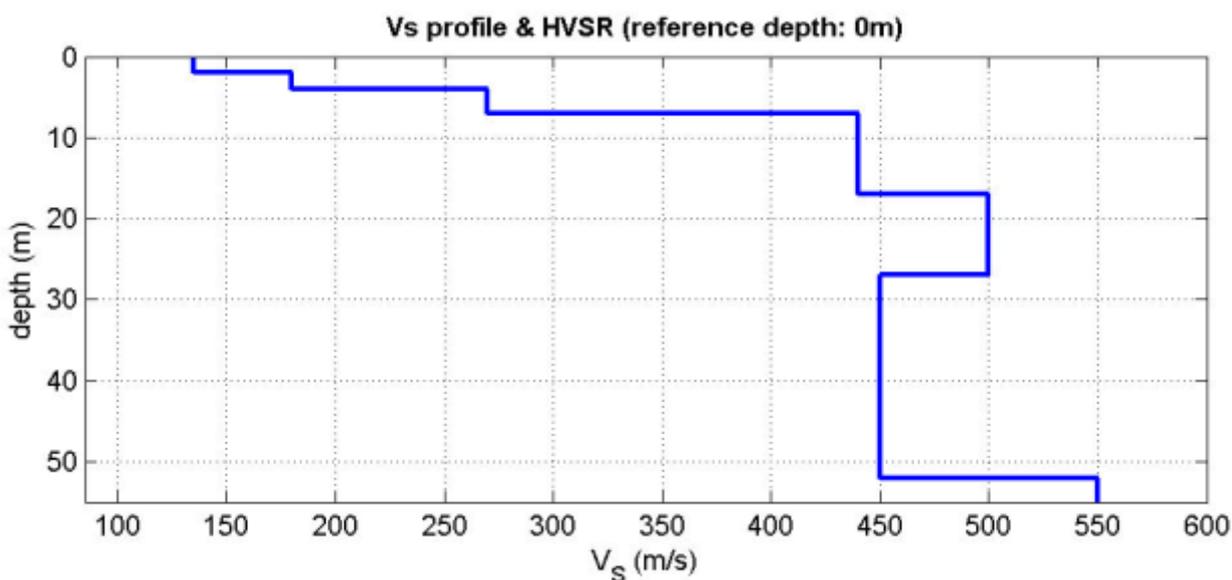


Figura II - Profilo dell'andamento delle velocità delle onde di taglio con la profondità nel sottosuolo di via San Giovanni Bosco n.2/F a Bibbiano (RE) in corrispondenza dell'indagine sismica passiva a stazione singola HVSr1.

V_s (m/s): 135; 180; 270; 440; 500; 450; 550 (valori delle onde di taglio)
Strati (m): 2.0; 2.0; 3.0; 10.0; 10.0; 25.0; (spessore dei sismostrati)
Densità (g/cm^3) (valori approssimati): 1.75; 1.82; 1.91; 2.03; 2.06; 2.04; 2.09;
Modulo di taglio (MPa) (valori approssimati): 32; 59; 140; 394; 516; 413; 631;
V_p (m/s): 281; 374; 562; 917; 1041; 937; 1145; (valori delle onde di compressione)
Coefficiente di Poisson: 0.35; 0.35; 0.35; 0.35; 0.35; 0.35; 0.35;
V_{s30} (m/s): 347

Tabella B riassuntiva delle velocità delle onde di taglio, delle velocità delle onde di compressione, di alcuni parametri elastici e del V_{s30} del sottosuolo del sito di progetto di via San Giovanni Bosco n.2/F a Bibbiano (RE) in corrispondenza dell'indagine sismica passiva a stazione singola HVSr1.

- 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 di 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 /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 superiore 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 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 m/s 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;

Tabella C - Classificazione del tipo di suolo secondo le “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni” D.M. 17/01/2018 (G.U. n.42 del 20/02/2018). Tabella 3.2.II (categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato).

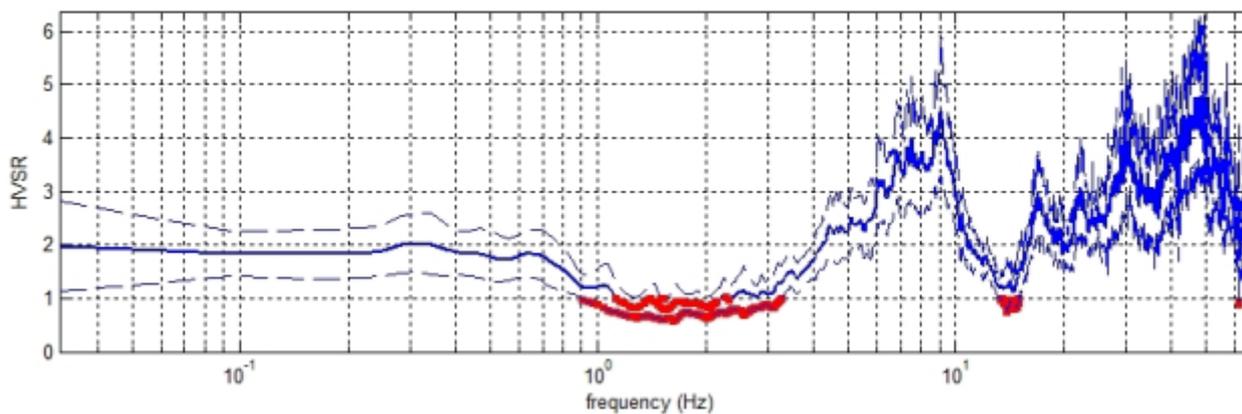


Figura III - Curve velocità/frequenze delle onde sismiche da microtremore, secondo le tre componenti tra loro ortogonali, registrate sul sito di progetto di via San Giovanni Bosco n.2/F a Bibbiano (RE) in corrispondenza dell'indagine sismica passiva a stazione singola HVSr1.

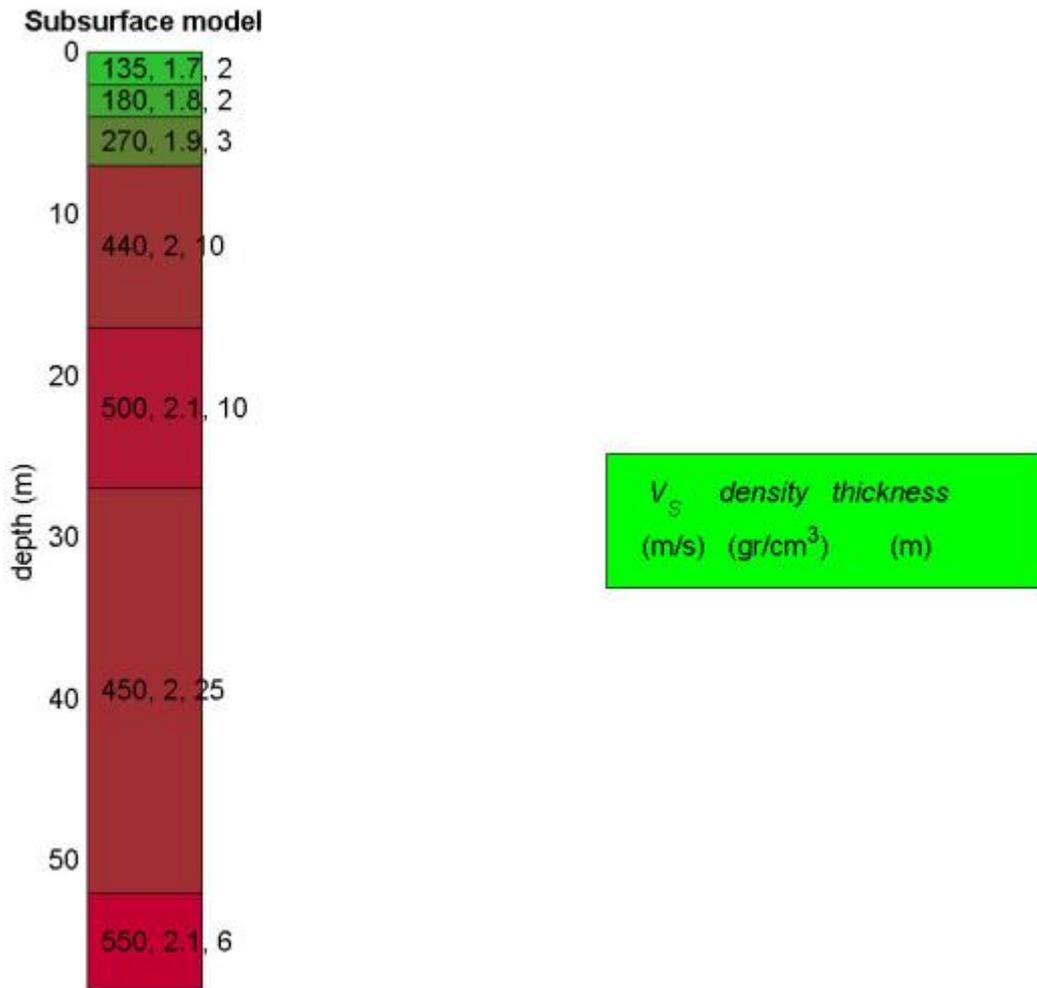


Figura IV - Stratigrafia sismica del sottosuolo di via San Giovanni Bosco n.2/F a Bibbiano (RE) in corrispondenza dell'indagine sismica passiva a stazione singola HVSR1.

Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio

www.winmasw.com

Date: 15 11 2021

Time: 15 55

Dataset: SITE_20211115_1034 Bibbiano1.SAF

Sampling frequency (Hz): 128

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 20.0

Tapering (%): 10

=====
In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 9.1 (±4.0)

Peak HVSR value: 4.5 (±1.2)

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

- #1. [$f_0 > 10/L_w$]: 9.1 > 0.5 (OK)
- #2. [$n_c > 200$]: 21546 > 200 (OK)
- #3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma_{A(f)} < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$] (OK)

=====
Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

- #1. [exists f- in the range [$f_0/4, f_0$] | $AH/V(f_-) < A_0/2$]: yes, at frequency 5.0Hz (OK)
- #2. [exists f+ in the range [$f_0, 4f_0$] | $AH/V(f_+) < A_0/2$]: yes, at frequency 10.6Hz (OK)
- #3. [$A_0 > 2$]: 4.5 > 2 (OK)
- #4. [$f_{\text{peak}}[A_h/v(f) \pm \sigma_{A(f)}] = f_0 \pm 5\%$]: (OK)
- #5. [$\sigma_{A(f)} < \epsilon(f_0)$]: 3.970 > 0.456 (NO)
- #6. [$\sigma_{A(f_0)} < \theta(f_0)$]: 1.374 < 1.58 (OK)

Tabella D - Parametri di impostazione dell'indagine sismica passiva a stazione singola HVSR1.

HVSR2 - VIA: SAN GIOVANNI BOSCO N.2/F - COMUNE: BIBBIANO (RE)

Il risultato dell'elaborazione è la curva dei rapporti spettrali della componente orizzontale su quella verticale delle onde di superficie (figura V), il profilo dell'andamento delle velocità delle onde di taglio con la profondità (figura II), la stratigrafia sismica del primo sottosuolo (tabella E - figura VIII) e la tabella riassuntiva dei parametri ricavati dall'indagine sismica eseguita (tabella F). Nella figura VII sono riportate le curve velocità/frequenze delle onde sismiche da microtremore, secondo le tre componenti tra loro ortogonali. Nel caso in esame si tratta di una registrazione che rispetta i criteri di validazione SESAME (Tabella H). La registrazione (figura V) mostra un chiaro picco di frequenza (f) a circa $f_2 \approx 9,2$ Hertz (2° sismostrato) che corrisponde ad un periodo di oscillazione caratteristico del sito desumibile dallo spettro HVSR pari a $T \approx 0,11$ secondi. Questo picco può essere messo in relazione ad una differenza d'impedenza sismica, tra strati contigui del terreno, che si individua ad una profondità di circa -9,0 m dalla quota del p.c. Esso è riferibile ad uno strato basale, molto addensato, di ghiaie-sabbiose e/o di sabbie-ghiaiose evidenziato anche dalle indagini penetrometriche. L'ampiezza del picco di frequenza fondamentale del sottosuolo, che è risultata essere pari ad $A = 3,0$, è una stima della differenza d'impedenza sismica del terreno (si tratta di un contrasto di moderata intensità).

1° SISMOSTRATO	2° SISMOSTRATO	3° SISMOSTRATO	4° SISMOSTRATO	5° SISMOSTRATO	6° SISMOSTRATO	7° SISMOSTRATO
$V_S = 150$ m/s	$V_S = 250$ m/s	$V_S = 370$ m/s	$V_S = 400$ m/s	$V_S = 280$ m/s	$V_S = 380$ m/s	$V_S = 500$ m/s
d = 2,00 m	d = 6,00 m	d = 12,00 m	d = 10,00 m	d = 15,00 m	d = 60,00 m	<i>bedrock sismico locale di base</i>

Tabella E - Stratigrafia sismica del sottosuolo del sito di progetto di via San Giovanni Bosco n.2/F a Bibbiano (RE) in corrispondenza dell'indagine HVSR2.

La valutazione del valore V_{S30} è stata ottenuta mediante l'utilizzo della seguente relazione:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,n} \frac{h_i}{v_i}}$$

Dove:

h_i = spessore dello strato iesimo espresso in metri;

v_i = velocità onde di taglio strato iesimo espressa in m/s;

Ottenendo:

$$V_{S30} \approx 317 \text{ m/s}$$

Il valore equivalente della velocità delle onde di taglio riscontrato nei primi 30 metri di sottosuolo a partire dal presunto piano di fondazione (V_{S30}) rientra nell'intervallo di valori che permette al suolo di fondazione di essere ascritto alla categoria **C**.

- **C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiore 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.**

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

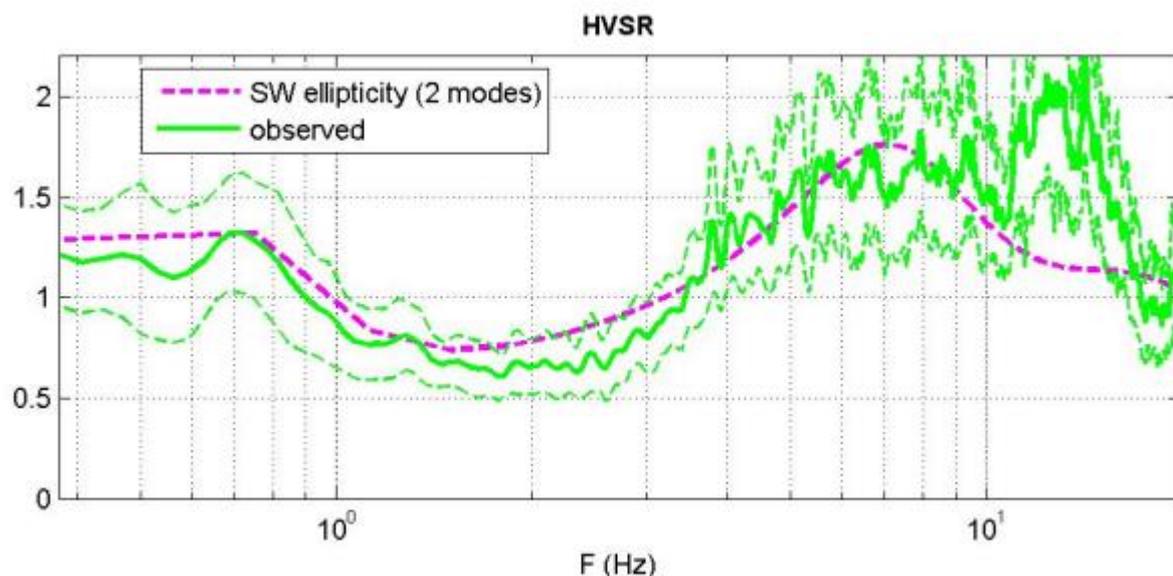


Figura V - Curva H/V registrata sul sito di progetto di via San Giovanni Bosco n.2/F a Bibbiano (RE) in corrispondenza di HVSr2.

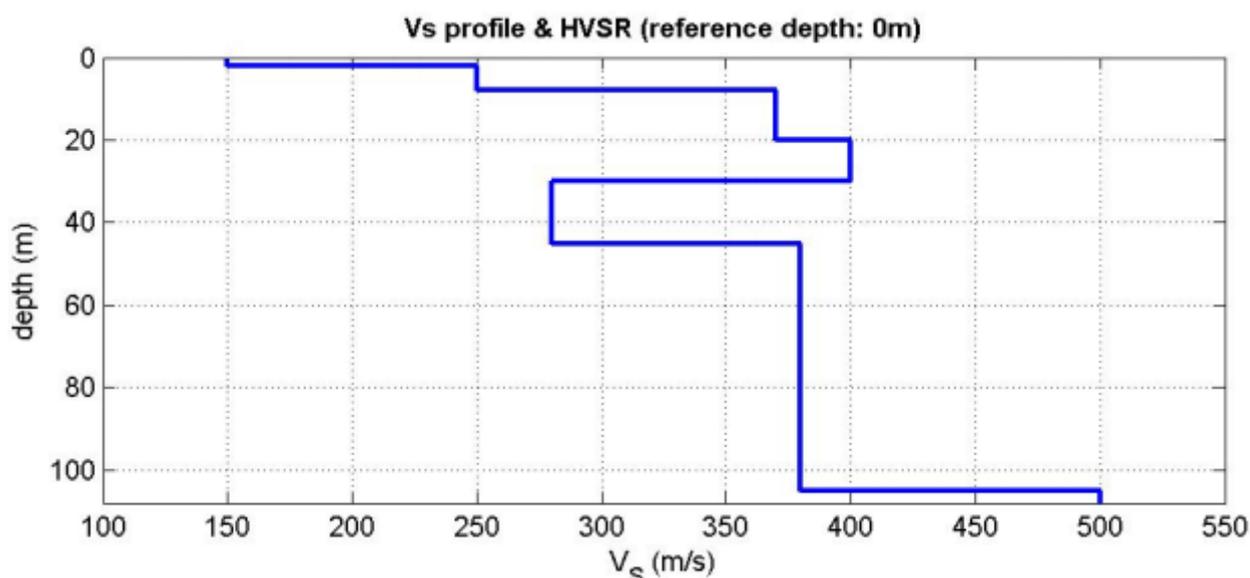


Figura VI - Profilo dell'andamento delle velocità delle onde di taglio con la profondità nel sottosuolo di via San Giovanni Bosco n.2/F a Bibbiano (RE) in corrispondenza di HVSr2.

V_s (m/s): 150; 250; 370; 400; 280; 380; 500; (valori delle onde di taglio)
Strati (m): 2.0; 6.0; 12.0; 10.0; 15.0; 60.0; (spessore dei sismostrati)
Densità (g/cm^3) (valori approssimati): 1.77; 1.90; 1.99; 2.01; 1.92; 2.00; 2.06;
Modulo di taglio (MPa) (valori approssimati): 40; 119; 273; 322; 151; 288; 516;
V_p (m/s): 312; 522; 771; 834; 582; 791; 1041 (valori delle onde di compressione)
Coefficiente di Poisson: 0.35; 0.35; 0.35; 0.35; 0.35; 0.35; 0.35;
V_{s30} (m/s): 317

Tabella F riassuntiva delle velocità delle onde di taglio, delle velocità delle onde di compressione, di alcuni parametri elastici e del V_{s30} del sottosuolo del sito di progetto di via San Giovanni Bosco n.2/F a Bibbiano (RE) relativa all'indagine HVSr2.

- 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 di 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 /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 superiore 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 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 m/s 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;

Tabella G - Classificazione del tipo di suolo secondo le “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni” D.M. 17/01/2018 (G.U. n.42 del 20/02/2018). Tabella 3.2.II (categorie di sottosuolo che permettono l’utilizzo dell’approccio semplificato).

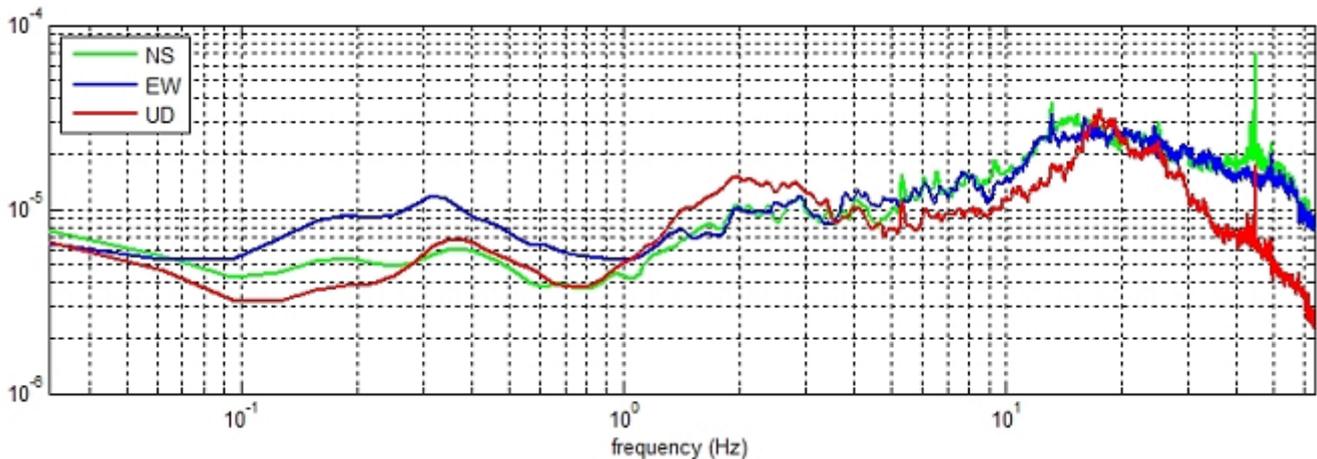


Figura VII - Curve velocità/frequenze delle onde sismiche da microtremore, secondo le tre componenti tra loro ortogonali, registrate sul sito di progetto di via San Giovanni Bosco n.2/F a Bibbiano (RE) in corrispondenza dell’indagine HVSR2.

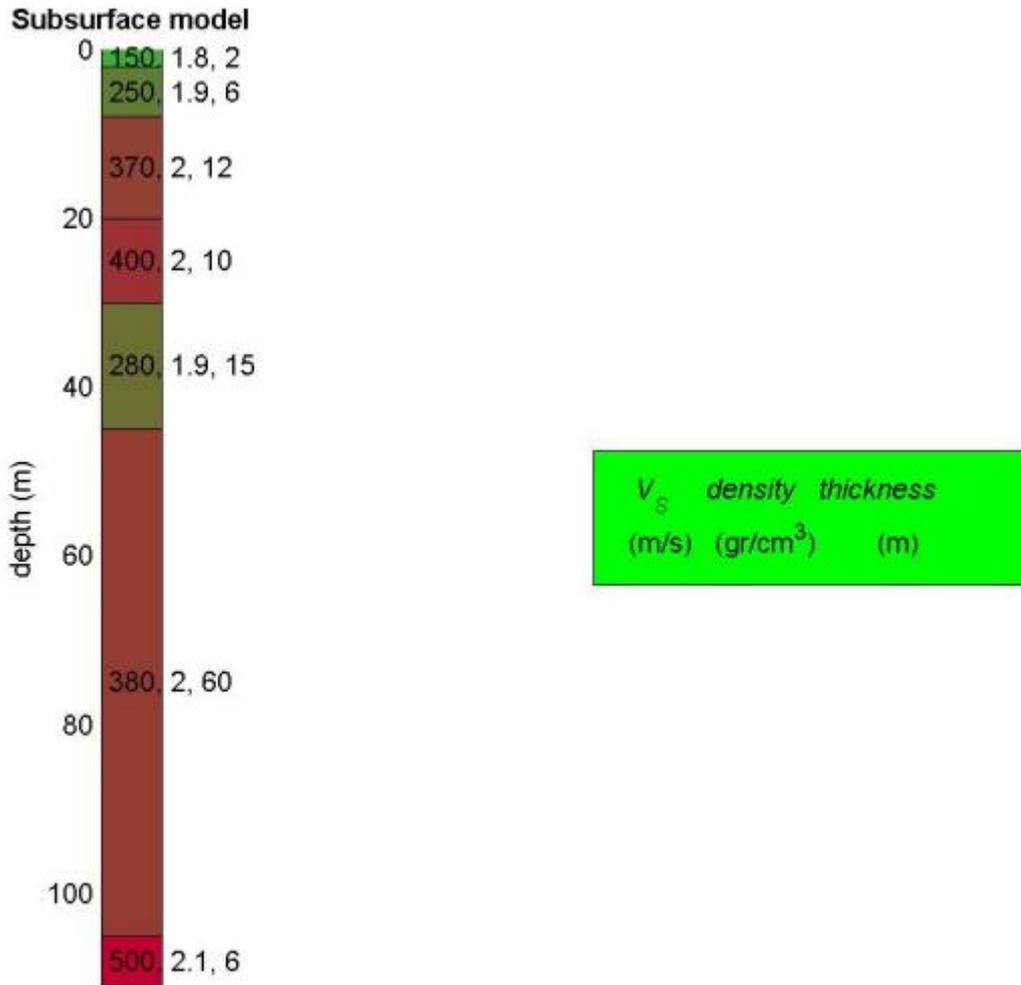


Figura VIII - Stratigrafia sismica del sottosuolo di via San Giovanni Bosco n.2/F a Bibbiano (RE) in corrispondenza dell'indagine sismica passiva a stazione singola HVSR2.

Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio

www.winmasw.com

Date: 15 11 2021

Time: 18:40

Dataset: SITE_20211115_1035 Bibbiano2.SAF

Sampling frequency (Hz): 128

Window length (sec): 20

Length of analysed temporal sequence (min): 20.0

Tapering (%): 10

=====
In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 9.2

Peak HVSR value: 2.0

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

#1. [f0 > 10/Lw]: 14.2 > 0.5 (OK)

#2. [nc > 200]: 33573 > 200 (OK)

#3. [f0 > 0.5Hz; sigmaA(f) < 2 for 0.5f0 < f < 2f0] (OK)

==== **Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled)** =====

#1. [exists f- in the range [f0/4, f0] | AH/V(f-) < A0/2]: yes, at frequency 3.7Hz (OK)

#2. [exists f+ in the range [f0, 4f0] | AH/V(f+) < A0/2]: yes, at frequency 16.8Hz (OK)

#3. [A0 > 2]: 2.2 > 2 (OK)

#4. [fpeak[Ah/v(f) ± sigmaA(f)] = f0 ± 5%]: (NO)

#5. [sigmaf < epsilon(f0)]: 4.119 > 0.711 (NO)

#6. [sigmaA(f0) < theta(f0)]: 0.475 < 1.58 (OK)

Tabella H - Parametri di impostazione dell'indagine sismica passiva a stazione singola HVSR2.

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE PESANTI

Committente: IMMOBILIARE VENTURI s.r.l.
Descrizione: SUBCOMPARTO A - AIR5
Località: VIA SAN GIOVANNI BOSCO N.2/F -
BIBBIANO (RE)

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPSH TG 63-200 PAGANI

Rif. Norme: DIN 4094
Peso Massa battente: 63.5 Kg
Altezza di caduta libera: 0.75 m
Peso sistema di battuta: 0.63 Kg
Diametro punta conica: 51.00 mm
Area di base punta: 20.43 cm²
Lunghezza delle aste: 1 m
Peso aste a metro: 6.31 Kg/m
Profondità giunzione prima asta: 0.40 m
Avanzamento punta: 0.20 m
Numero colpi per punta: N(20)
Coeff. Correlazione: 1.47
Rivestimento/fanghi: No
Angolo di apertura punta: 90°

PROVA DPSH1

Strumento utilizzato: DPSH TG 63-200 PAGANI

Prova eseguita in data: 18-11-2021

Profondità prova: -10,00 m da quota piano area cortiliva

Falda acquifera rilevata: -8,00 m da quota piano area cortiliva

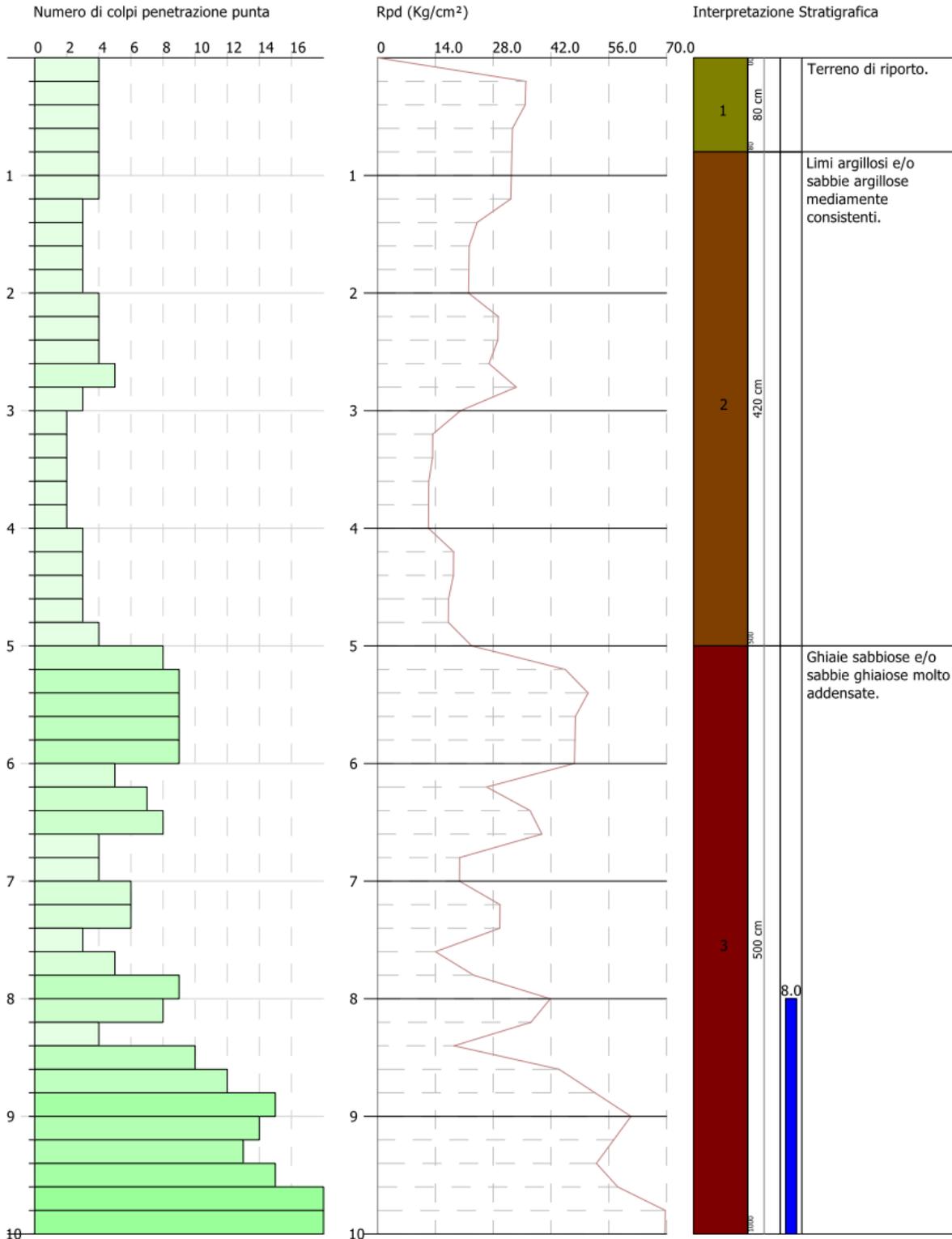
Tipo elaborazione: Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.20	4	0.855	35.92	42.03	1.80	2.10
0.40	4	0.851	35.76	42.03	1.79	2.10
0.60	4	0.847	32.67	38.57	1.63	1.93
0.80	4	0.843	32.53	38.57	1.63	1.93
1.00	4	0.840	32.39	38.57	1.62	1.93
1.20	4	0.836	32.26	38.57	1.61	1.93
1.40	3	0.833	24.10	28.93	1.20	1.45
1.60	3	0.830	22.18	26.73	1.11	1.34
1.80	3	0.826	22.09	26.73	1.10	1.34
2.00	3	0.823	22.01	26.73	1.10	1.34
2.20	4	0.820	29.23	35.64	1.46	1.78
2.40	4	0.817	29.13	35.64	1.46	1.78
2.60	4	0.814	26.97	33.13	1.35	1.66
2.80	5	0.811	33.60	41.41	1.68	2.07
3.00	3	0.809	20.09	24.85	1.00	1.24
3.20	2	0.806	13.35	16.56	0.67	0.83
3.40	2	0.803	13.31	16.56	0.67	0.83
3.60	2	0.801	12.39	15.47	0.62	0.77
3.80	2	0.798	12.35	15.47	0.62	0.77
4.00	2	0.796	12.32	15.47	0.62	0.77
4.20	3	0.794	18.42	23.21	0.92	1.16
4.40	3	0.791	18.37	23.21	0.92	1.16
4.60	3	0.789	17.18	21.77	0.86	1.09
4.80	3	0.787	17.14	21.77	0.86	1.09
5.00	4	0.785	22.79	29.03	1.14	1.45
5.20	8	0.783	45.46	58.06	2.27	2.90
5.40	9	0.781	51.01	65.31	2.55	3.27
5.60	9	0.779	47.92	61.51	2.40	3.08
5.80	9	0.777	47.81	61.51	2.39	3.08
6.00	9	0.775	47.70	61.51	2.38	3.08
6.20	5	0.774	26.44	34.17	1.32	1.71
6.40	7	0.772	36.93	47.84	1.85	2.39
6.60	8	0.770	39.80	51.66	1.99	2.58
6.80	4	0.769	19.86	25.83	0.99	1.29
7.00	4	0.767	19.82	25.83	0.99	1.29
7.20	6	0.766	29.67	38.75	1.48	1.94
7.40	6	0.764	29.61	38.75	1.48	1.94
7.60	3	0.763	14.01	18.36	0.70	0.92
7.80	5	0.761	23.30	30.60	1.16	1.53
8.00	9	0.760	41.86	55.09	2.09	2.75
8.20	8	0.759	37.14	48.97	1.86	2.45
8.40	4	0.757	18.54	24.48	0.93	1.22
8.60	10	0.756	43.98	58.17	2.20	2.91
8.80	12	0.755	52.68	69.81	2.63	3.49
9.00	15	0.703	61.39	87.26	3.07	4.36
9.20	14	0.702	57.20	81.44	2.86	4.07
9.40	13	0.701	53.02	75.62	2.65	3.78
9.60	15	0.700	58.19	83.14	2.91	4.16
9.80	18	0.699	69.72	99.76	3.49	4.99
10.00	18	0.698	69.60	99.76	3.48	4.99

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH1
 Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente:
 Descrizione:
 Località:

Scala 1:1



Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Tipo	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Tensione efficace (Kg/cm ²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
0.8	4	40.3	Incoerente	1.58	1.89	0.06	1.47	6	Terreno di riporto.
5	3.14	26.45	Coesivo	1.76	1.88	0.5	1.47	5	Limi argillosi e/o sabbie argillose mediamente consistenti.
10	9.12	56.13	Incoerente	1.82	1.94	1.32	1.47	13	Ghiaie sabbiose e/o sabbie ghiaiose molto addensate.

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH1

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Terzaghi -Peck	Sanglera t	Terzaghi -Peck (1948)	U.S.D. M.S.M	Schmert mann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begema nn	De Beer
[2] - Limi argillosi e/o sabbie argillose mediamente consistenti.	5	5.00	0.31	0.63	0.00	0.20	0.49	0.79	0.45	0.81	0.25	0.26	0.63

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
[2] - Limi argillosi e/o sabbie argillose mediamente consistenti.	5	5.00	22.94	75.00	52.79	62.50

Modulo di Young (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
[2] - Limi argillosi e/o sabbie argillose mediamente consistenti.	5	5.00	37.10	50.00

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[2] - Limi argillosi e/o sabbie argillose mediamente consistenti.	5	5.00	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
[2] - Limi argillosi e/o sabbie argillose mediamente consistenti.	5	5.00	Meyerhof	1.76

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
[2] - Limi argillosi e/o sabbie argillose mediamente consistenti.	5	5.00	Meyerhof	1.88

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] - Terreno di riporto.	6	0.80	29.19	58.88	83.09	23.45
[3] - Ghiaie sabbiose e/o sabbie ghiaiose molto addensate.	13	10.00	26.58	53.27	54.23	39.24

Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza a falda	Peck-Hanson - Thornburn-Meyerhof of 1956	Meyerhof of (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof of (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[1] - Terreno di riporto.	6	0.80	6	28.71	21.71	29.68	33.9	32.09	0	<30	24.49	28.8	34.4	25.95
[3] - Ghiaie sabbiose e/o sabbie ghiaiose e molto addensate.	13	10.00	13	30.71	23.71	31.64	28.55	34.77	35.46	30-32	28.96	30.9	36.37	31.12

Modulo di Young (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] - Terreno di riporto.	6	0.80	6	---	48.00	---	---	---
[3] - Ghiaie sabbiose e/o sabbie ghiaiose molto addensate.	13	10.00	13	257.36	104.00	154.10	277.50	140.00

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[1] - Terreno di riporto.	6	0.80	6	---	39.79	42.60	64.76
[3] - Ghiaie sabbiose e/o sabbie ghiaiose molto addensate.	13	10.00	13	78.00	54.17	92.30	95.98

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Terreno di riporto.	6	0.80		6 Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
[3] - Ghiaie sabbiose e/o sabbie ghiaiose molto addensate.	13	10.00		13 Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m ³)
[1] - Terreno di riporto.	6	0.80		6 Terzaghi-Peck 1948	1.43
[3] - Ghiaie sabbiose e/o sabbie ghiaiose molto addensate.	13	10.00		13 Terzaghi-Peck 1948	1.51

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m ³)
[1] - Terreno di riporto.	6	0.80		6 Terzaghi-Peck 1948	1.89
[3] - Ghiaie sabbiose e/o sabbie ghiaiose molto addensate.	13	10.00		13 Terzaghi-Peck 1948	1.94

Modulo di Poisson

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - Terreno di riporto.	6	0.80		6 (A.G.I.)	0.34
[3] - Ghiaie sabbiose e/o sabbie ghiaiose molto addensate.	13	10.00		13 (A.G.I.)	0.33

PROVA DPSH2

Strumento utilizzato: DPSH TG 63-200 PAGANI

Prova eseguita in data: 18-11-2021

Profondità prova: -9,00 m da quota piano area cortiliva

Falda acquifera rilevata: -8,00 m da quota piano area cortiliva

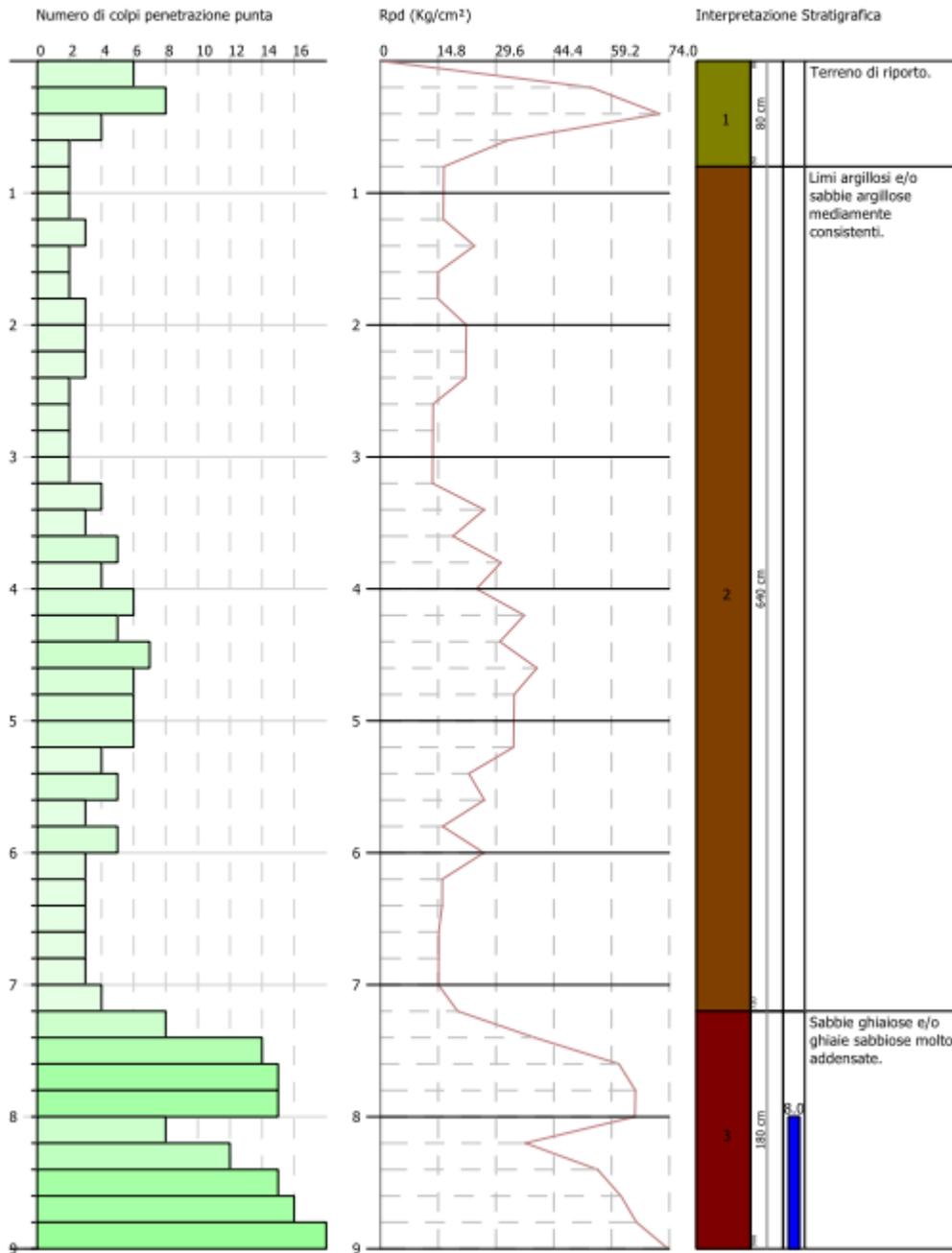
Tipo elaborazione: Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.20	6	0.855	53.88	63.04	2.69	3.15
0.40	8	0.851	71.51	84.06	3.58	4.20
0.60	4	0.847	32.67	38.57	1.63	1.93
0.80	2	0.843	16.27	19.29	0.81	0.96
1.00	2	0.840	16.20	19.29	0.81	0.96
1.20	2	0.836	16.13	19.29	0.81	0.96
1.40	3	0.833	24.10	28.93	1.20	1.45
1.60	2	0.830	14.78	17.82	0.74	0.89
1.80	2	0.826	14.73	17.82	0.74	0.89
2.00	3	0.823	22.01	26.73	1.10	1.34
2.20	3	0.820	21.92	26.73	1.10	1.34
2.40	3	0.817	21.84	26.73	1.09	1.34
2.60	2	0.814	13.49	16.56	0.67	0.83
2.80	2	0.811	13.44	16.56	0.67	0.83
3.00	2	0.809	13.39	16.56	0.67	0.83
3.20	2	0.806	13.35	16.56	0.67	0.83
3.40	4	0.803	26.61	33.13	1.33	1.66
3.60	3	0.801	18.59	23.21	0.93	1.16
3.80	5	0.798	30.88	38.68	1.54	1.93
4.00	4	0.796	24.63	30.94	1.23	1.55
4.20	6	0.794	36.84	46.41	1.84	2.32
4.40	5	0.791	30.61	38.68	1.53	1.93
4.60	7	0.789	40.09	50.80	2.00	2.54
4.80	6	0.787	34.27	43.54	1.71	2.18
5.00	6	0.785	34.18	43.54	1.71	2.18
5.20	6	0.783	34.09	43.54	1.70	2.18
5.40	4	0.781	22.67	29.03	1.13	1.45
5.60	5	0.779	26.62	34.17	1.33	1.71
5.80	3	0.777	15.94	20.50	0.80	1.03
6.00	5	0.775	26.50	34.17	1.32	1.71
6.20	3	0.774	15.86	20.50	0.79	1.03
6.40	3	0.772	15.83	20.50	0.79	1.03
6.60	3	0.770	14.92	19.37	0.75	0.97
6.80	3	0.769	14.89	19.37	0.74	0.97
7.00	3	0.767	14.86	19.37	0.74	0.97
7.20	4	0.766	19.78	25.83	0.99	1.29
7.40	8	0.764	39.48	51.66	1.97	2.58
7.60	14	0.713	61.07	85.69	3.05	4.28
7.80	15	0.711	65.31	91.81	3.27	4.59
8.00	15	0.710	65.18	91.81	3.26	4.59
8.20	8	0.759	37.14	48.97	1.86	2.45
8.40	12	0.757	55.62	73.45	2.78	3.67
8.60	15	0.706	61.60	87.26	3.08	4.36
8.80	16	0.705	65.59	93.08	3.28	4.65
9.00	18	0.703	73.66	104.71	3.68	5.24

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH2
 Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente:
 Descrizione:
 Località:

Scala 1:41



Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Tipo	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Tensione efficace (Kg/cm ²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
0.8	5	51.24	Incoerente	1.62	1.9	0.06	1.47	7	Terreno di riporto.
7.2	3.62	27.65	Coesivo	1.76	1.88	0.69	1.47	5	Limi argillosi e/o sabbie argillose mediamente consistenti.
9	13.44	80.94	Incoerente	1.99	1.98	1.43	1.47	20	Sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose molto addensate.

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH2

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Terzaghi-Peck	Sanglerat	U.S.D.M.S.M	Schmertmann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	De Beer
[2] - Limi argillosi e/o sabbie argillose mediamente consistenti.	5	7.20	0.31	0.63	0.20	0.49	0.83	0.45	0.81	0.25	0.63

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat	
[2] - Limi argillosi e/o sabbie argillose mediamente consistenti.		5	7.20	22.94	75.00	52.79	62.50

Modulo di Young (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia	
[2] - Limi argillosi e/o sabbie argillose mediamente consistenti.		5	7.20	37.10	50.00

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione	
[2] - Limi argillosi e/o sabbie argillose mediamente consistenti.		5	7.20	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
[2] - Limi argillosi e/o sabbie argillose mediamente consistenti.	5	7.20	Meyerhof	1.76

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
[2] - Limi argillosi e/o sabbie argillose mediamente consistenti.	5	7.20	Meyerhof	1.88

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] - Terreno di riporto.	7	0.80	32.26	63.53	88.86	25.97
[3] - Sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose molto addensate.	20	9.00	34.2	64.43	65.31	51.23

Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza a falda	Peck-Hanson - Thornburn-Meyerhof of 1956	Meyerhof of (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof of (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[1] - Terreno di riporto.	7	0.80	7	29	22	29.96	34.09	32.49	0	<30	25.25	29.1	35.74	26.83
[3] - Sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose e molto addensate.	20	9.00	20	32.71	25.71	33.6	29.08	37.07	37.02	30-32	32.32	33	39.74	35

Modulo di Young (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] - Terreno di riporto.	7	0.80	7	---	56.00	---	---	---
[3] - Sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose molto addensate.	20	9.00	20	319.22	160.00	236.70	330.00	175.00

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[1] - Terreno di riporto.	7	0.80	7	---	41.84	49.70	69.22
[3] - Sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose molto addensate.	20	9.00	20	120.00	68.55	142.00	127.20

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Terreno di riporto.	7	0.80	7	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
[3] - Sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose molto addensate.	20	9.00	20	Classificazione A.G.I	MODERATAMENT E ADDENSATO

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m ³)
[1] - Terreno di riporto.	7	0.80	7	Terzaghi-Peck 1948	1.44
[3] - Sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose molto addensate.	20	9.00	20	Terzaghi-Peck 1948	1.60

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m ³)
[1] - Terreno di riporto.	7	0.80	7	Terzaghi-Peck 1948	1.90
[3] - Sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose molto addensate.	20	9.00	20	Terzaghi-Peck 1948	1.99

Modulo di Poisson

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - Terreno di riporto.	7	0.80	7	(A.G.I.)	0.34
[3] - Sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose molto addensate.	20	9.00	20	(A.G.I.)	0.31

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[1] - Terreno di riporto.	7	0.80	7	404.86	410.45
[3] - Sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose molto addensate.	20	9.00	20	1086.13	779.54

PROVA DPSH3

Strumento utilizzato: DPSH TG 63-200 PAGANI

Prova eseguita in data: 18-11-2021

Profondità prova: -9,00 m da quota piano area cortiliva

Falda acquifera rilevata: -8,00 m da quota piano area cortiliva

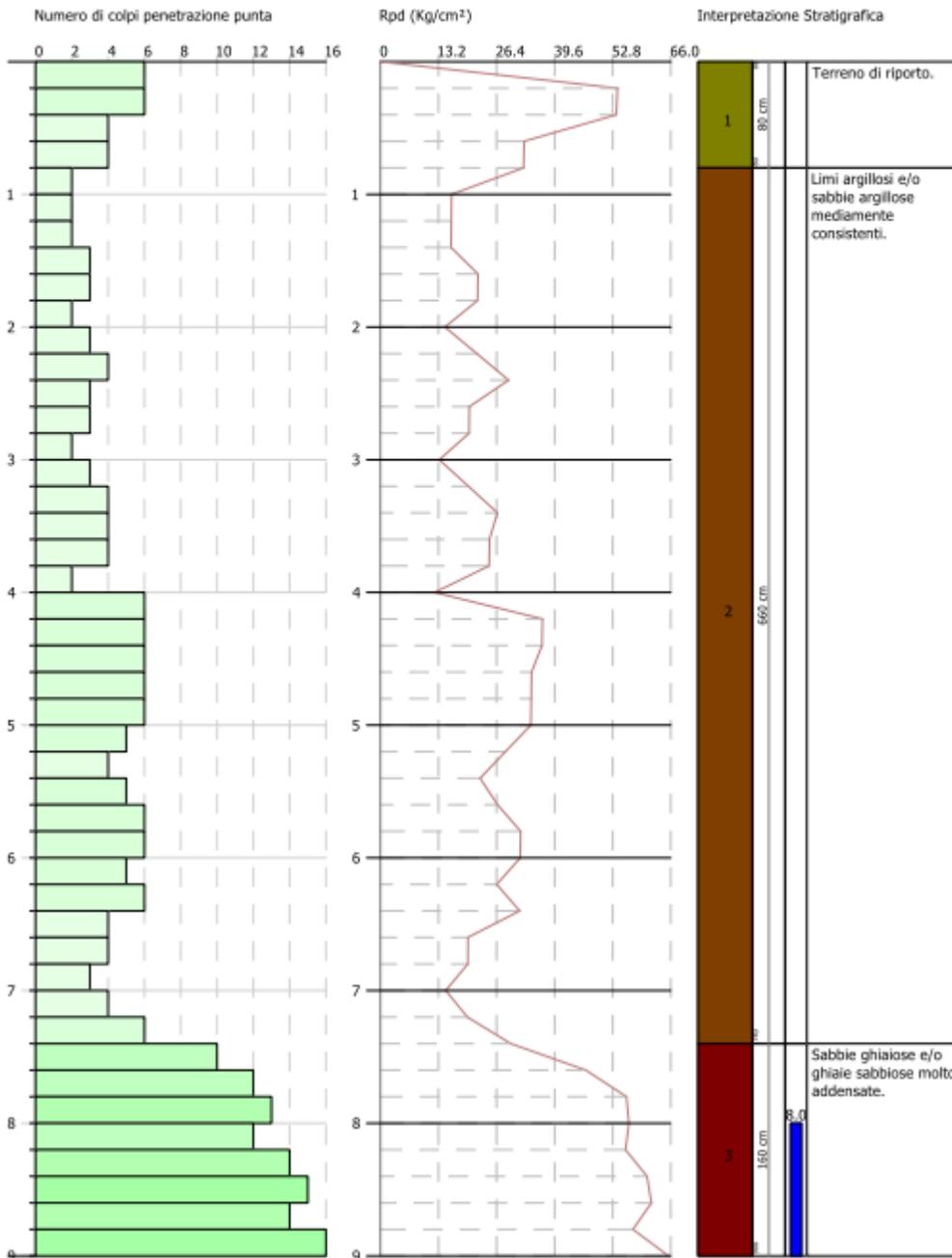
Tipo elaborazione: Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.20	6	0.855	53.88	63.04	2.69	3.15
0.40	6	0.851	53.64	63.04	2.68	3.15
0.60	4	0.847	32.67	38.57	1.63	1.93
0.80	4	0.843	32.53	38.57	1.63	1.93
1.00	2	0.840	16.20	19.29	0.81	0.96
1.20	2	0.836	16.13	19.29	0.81	0.96
1.40	2	0.833	16.06	19.29	0.80	0.96
1.60	3	0.830	22.18	26.73	1.11	1.34
1.80	3	0.826	22.09	26.73	1.10	1.34
2.00	2	0.823	14.67	17.82	0.73	0.89
2.20	3	0.820	21.92	26.73	1.10	1.34
2.40	4	0.817	29.13	35.64	1.46	1.78
2.60	3	0.814	20.23	24.85	1.01	1.24
2.80	3	0.811	20.16	24.85	1.01	1.24
3.00	2	0.809	13.39	16.56	0.67	0.83
3.20	3	0.806	20.03	24.85	1.00	1.24
3.40	4	0.803	26.61	33.13	1.33	1.66
3.60	4	0.801	24.78	30.94	1.24	1.55
3.80	4	0.798	24.70	30.94	1.24	1.55
4.00	2	0.796	12.32	15.47	0.62	0.77
4.20	6	0.794	36.84	46.41	1.84	2.32
4.40	6	0.791	36.73	46.41	1.84	2.32
4.60	6	0.789	34.36	43.54	1.72	2.18
4.80	6	0.787	34.27	43.54	1.71	2.18
5.00	6	0.785	34.18	43.54	1.71	2.18
5.20	5	0.783	28.41	36.28	1.42	1.81
5.40	4	0.781	22.67	29.03	1.13	1.45
5.60	5	0.779	26.62	34.17	1.33	1.71
5.80	6	0.777	31.87	41.00	1.59	2.05
6.00	6	0.775	31.80	41.00	1.59	2.05
6.20	5	0.774	26.44	34.17	1.32	1.71
6.40	6	0.772	31.66	41.00	1.58	2.05
6.60	4	0.770	19.90	25.83	0.99	1.29
6.80	4	0.769	19.86	25.83	0.99	1.29
7.00	3	0.767	14.86	19.37	0.74	0.97
7.20	4	0.766	19.78	25.83	0.99	1.29
7.40	6	0.764	29.61	38.75	1.48	1.94
7.60	10	0.763	46.68	61.21	2.33	3.06
7.80	12	0.761	55.92	73.45	2.80	3.67
8.00	13	0.710	56.49	79.57	2.82	3.98
8.20	12	0.759	55.72	73.45	2.79	3.67
8.40	14	0.707	60.61	85.69	3.03	4.28
8.60	15	0.706	61.60	87.26	3.08	4.36
8.80	14	0.705	57.39	81.44	2.87	4.07
9.00	16	0.703	65.48	93.08	3.27	4.65

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH3
 Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente:
 Descrizione:
 Località:

Scala 1:41



Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Tipo	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Tensione efficace (Kg/cm ²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
0.8	5	50.81	Incoerente	1.62	1.9	0.06	1.47	7	Terreno di riporto.
7.4	4.06	30.57	Coesivo	1.81	1.89	0.73	1.47	6	Limi argillosi e/o sabbie argillose mediamente consistenti.
9	13.25	79.39	Incoerente	1.97	1.97	1.46	1.47	19	Sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose molto addensate.

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH3

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Terzaghi-Peck	Sanglerat	U.S.D.M.S.M	Schmertmann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begemann	De Beer
[2] - Limi argillosi e/o sabbie argillose mediamente consistenti.	6	7.40	0.38	0.75	0.24	0.59	0.92	0.54	0.88	0.30	0.12	0.75

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
[2] - Limi argillosi e/o sabbie argillose mediamente consistenti.	6	7.40	27.53	62.99	75.00

Modulo di Young (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
[2] - Limi argillosi e/o sabbie argillose mediamente consistenti.	6	7.40	48.60	60.00

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[2] - Limi argillosi e/o sabbie argillose mediamente consistenti.	6	7.40	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
[2] - Limi argillosi e/o sabbie argillose mediamente consistenti.	6	7.40	Meyerhof	1.81

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
[2] - Limi argillosi e/o sabbie argillose mediamente consistenti.	6	7.40	Meyerhof	1.89

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] - Terreno di riporto.	7	0.80	32.26	63.53	88.86	25.97
[3] - Sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose molto addensate.	19	9.00	32.78	62.26	63.31	49.72

Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza a falda	Peck-Hanson - Thornburn-Meyerhof of 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[1] - Terreno di riporto.	7	0.80	7	29	22	29.96	34.09	32.49	0	<30	25.25	29.1	35.74	26.83
[3] - Sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose e molto addensate.	19	9.00	19	32.43	25.43	33.32	28.95	36.77	36.72	30-32	31.88	32.7	39.15	34.49

Modulo di Young (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza a falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] - Terreno di riporto.	7	0.80	7	---	56.00	---	---	---
[3] - Sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose molto addensate.	19	9.00	19	311.13	152.00	224.90	322.50	170.00

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[1] - Terreno di riporto.	7	0.80	7	---	41.84	49.70	69.22
[3] - Sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose molto addensate.	19	9.00	19	114.00	66.49	134.90	122.74

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Terreno di riporto.	7	0.80	7	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
[3] - Sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose molto addensate.	19	9.00	19	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m ³)
[1] - Terreno di riporto.	7	0.80	7	Terzaghi-Peck 1948	1.44
[3] - Sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose molto addensate.	19	9.00	19	Terzaghi-Peck 1948	1.58

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m ³)
[1] - Terreno di riporto.	7	0.80	7	Terzaghi-Peck 1948	1.90
[3] - Sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose molto addensate.	19	9.00	19	Terzaghi-Peck 1948	1.99

Modulo di Poisson

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - Terreno di riporto.	7	0.80	7	(A.G.I.)	0.34
[3] - Sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose molto addensate.	19	9.00	19	(A.G.I.)	0.32

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[1] - Terreno di riporto.	7	0.80	7	404.86	410.45
[3] - Sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose molto addensate.	19	9.00	19	1035.00	755.49

VERIFICA LIQUEFAZIONE DEL TERRENO

Liquefazione DPSH1

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Fs Liquefazione
[1] - Terreno di riporto.	6	0.80	6	Seed e Idriss (1971)	--
[3] - Ghiaie sabbiose e/o sabbie ghiaiose molto addensate.	13	10.00	13	Seed e Idriss (1971)	1,89

Liquefazione DPSH2

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Fs Liquefazione
[1] - Terreno di riporto.	7	0.80	7	Seed e Idriss (1971)	--
[3] - Sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose molto addensate.	20	9.00	20	Seed e Idriss (1971)	2,31

Liquefazione DPSH3

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Fs Liquefazione
[1] - Terreno di riporto.	7	0.80	7	Seed e Idriss (1971)	--
[3] - Sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose molto addensate.	19	9.00	19	Seed e Idriss (1971)	2,22

**RELAZIONE TRA NUMERO DI COLPI N E STATO DI
CONSISTENZA PER TERRENI COESIVI (LIMI E ARGILLE)
PENETROMETRO DINAMICO PESANTE DPSH**

N colpi	Consistenza	Ic (%)	Cu (kg/cm ²)
< 2	inconsistente	circa 0	> 0,1
2 - 4	poco consistente	0 - 25	0,1 - 0,25
4 - 8	moderat. consistente	25 - 50	0,25 - 0,50
8 - 15	consistente	50 - 75	0,50 - 1,0
15 - 30	molto consistente	75 - 100	1,0 - 2,0
> 30	estrem. Consistente	> 100	> 2,0

Tabella I

**RELAZIONE TRA NUMERO DI COLPI N E STATO DI
ADDENSAMENTO PER TERRENI GRANULARI (SABBIE E GHIAIE)
PENETROMETRO DINAMICO PESANTE DPSH**

N colpi	Addensamento	Ic (%)	Dr (%)	Φ (°)
< 4	molto sciolto	circa 0	< 20	< 30
4 - 10	sciolto	0 - 25	20 - 40	30 - 35
10 - 30	moderat. Addensato	25 - 50	40 - 60	35 - 40
30 - 50	addensato	50 - 75	60 - 80	40 - 45
> 50	molto consistente	75 - 100	> 80	> 45

Tabella II

CARATTERISTICHE PENETROMETRO PAGANI TG63-200 KN

Prove eseguibili	CPT/DPSH
DPSH (prove penetrometriche dinamiche super pesanti)	
Peso massa battente	63,5 kg
Altezza di volata	750 mm
Diametro aste	32 mm
Area punta	20 cmq
Angolo punta	90 °
CPT (prove penetrometriche statiche)	
Capacità massima di spinta	150 kN
Capacità massima di estrazione	160 KN
Pressione massima di lavoro	240 bar
Velocità di prova	2 cm/sec
Velocità massima di infissione	10 cm /sec
Velocità massima di estrazione	7,5 cm /sec

Tabella III

Appendice n.1