



COMUNE DI BIBBIANO
Provincia di Reggio Emilia

Piazza Damiano Chiesa n.2, 42021 Bibbiano (Reggio Emilia)
Tel. 0522 253221, Fax 0522 883505
www.comune.bibbiano.re.it - e.mail lavori.pubblici@comune.bibbiano.re.it



**Finanziato
dall'Unione europea**
NextGenerationEU

**REALIZZAZIONE DI LOCALI PER LA MENSA
DELLA SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO "DANTE
ALIGHIERI" DEL COMUNE DI BIBBIANO (RE)**
CUP C65E22000320006

INTERVENTO FINANZIATO CON FONDI PNRR -
NEXT GENERATION EU - ITALIA - MISSIONE 4, COMPONENTE 1, INVESTIMENTO 1.2

Committenza:

Comune di Bibbiano (RE)

Responsabile Unico del Procedimento: Ing. Iunior Ivan Tamagnini
Responsabile del Servizio 3 A "Gestione del Patrimonio - Espropri" del Comune di Bibbiano (RE)

PROGETTISTA

Gasparini Associati

studio di ingegneria e architettura

di Piero A. Gasparini e Ilaria Gasparini

Via E. Petrolini n.14/A 42122 REGGIO EMILIA

TEL: 0522/557508 FAX: 0522/557556

E-MAIL: edilizia@gaspariniassociati.it

P.IVA: 02532680358

COORDINATORE GRUPPO DI PROGETTAZIONE
Arch. Ilaria Gasparini

PROGETTO ARCHITETTONICO E STRUTTURALE
Arch. Stefano Fascini
Arch. Martina Marmioli
Ing. Martina Malagoli

PROGETTO IMPIANTI MECCANICI
Ing. Federico Mattioli

PROGETTO IMPIANTI ELETTRICI
Per. Ind. Corrado Bonacini

TIMBRI



TITOLO

RELAZIONE GEOLOGICA

EMISSIONE

DATA

progettazione definitiva - esecutiva

maggio 2023

SCALA

TAVOLA

R.03

ANTONIO INFANTE

CN = INFANTE ANTONIO
O = Ordine dei Geologi
Regione Emilia-Romagna
C = IT

Regione: EMILIA ROMAGNA

Provincia: REGGIO EMILIA

Comune: BIBBIANO

Via: DON PASQUINO BORGHINI N.14

**"MIGLIORAMENTO SISMICO DELLA SCUOLA
SECONDARIA DI PRIMO GRADO DANTE
ALIGHIERI. VARIANTE PER ADEGUAMENTO
AI SENSI DELL'ARTICOLO 8.4.3 NTC2018"**

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.2193 del 21/12/2015 - Risposta sismica locale con analisi di terzo livello di approfondimento;
- D.G.R.E.R. n.630 del 29/04/2019 - Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49 - L.R. n.24/2017);

COMMITTENTE

**AMMINISTRAZIONE COMUNALE
BIBBIANO**

DATA

GIUGNO 2019

TECNICO

**GEOLOGO
ANTONIO INFANTE**



PREMESSA

Il sottoscritto Dott. Antonio Infante, registrato all'Ordine dei Geologi dell'Emilia Romagna con il numero d'ordine n.1160 sezione A, ha ricevuto incarico dall'Amministrazione Comunale di Bibbiano di redigere una relazione geologico - sismica ai sensi degli articoli 3.2 e 6.2.1 del D.M. 17/01/2018 e della Circolare 21/01/2019 n.7 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018). Tutto ciò viene eseguito, nel presente studio, riprendendo i dati della precedente campagna di indagini geognostiche, eseguita nel mese di ottobre 2016, e rimodulando la passata relazione geologico - sismica (datata ottobre 2016) secondo NTC2018. Il presente studio è finalizzato a supportare un progetto di *"Miglioramento sismico della scuola secondaria di primo grado Dante Alighieri di Bibbiano. Variante per adeguamento ai sensi dell'articolo 8.4.3 NTC2018"*.

Per quanto riguarda l'edificio scolastico, in cemento armato precompresso, in base al valore d = spostamento laterale elastico del punto più alto dell'edificio, espresso in metri, dovuto alla combinazione di carico sismica, il periodo di vibrazione fondamentale del fabbricato, per l'analisi statica lineare, sarà dato da $T_1 = 2 \times \sqrt{d}$ (7.3.3.2 - N.T.C. 2018). Per un valore di stimato $d = 0,0625$ m si ha $T_1 = 2 \times \sqrt{d} \approx 0,50$ secondi da cui deriva una frequenza di vibrazione propria della struttura pari ad $f \approx 2,0$ Hertz; il fattore di comportamento dell'edificio (stimato in direzione orizzontale) è pari a $q_{xy} = 2,25$ mentre il medesimo fattore di comportamento (stimato in direzione verticale) è pari a $q_z = 1,50$.

Per quanto riguarda invece la palestra, anch'essa in cemento armato precompresso, in base al valore d = spostamento laterale elastico del punto più alto dell'edificio, espresso in metri, dovuto alla combinazione di carico sismica, il periodo di vibrazione fondamentale del fabbricato, per l'analisi statica lineare, sarà dato da $T_1 = 2 \times \sqrt{d}$ (7.3.3.2 - N.T.C. 2018). Per un valore di stimato $d = 0,0930$ m si ha $T_1 = 2 \times \sqrt{d} \approx 0,61$ secondi da cui deriva una frequenza di vibrazione propria della struttura pari ad $f \approx 1,6$ Hertz; il fattore di comportamento dell'edificio (stimato in direzione orizzontale) è pari a $q_{xy} = 2,25$ mentre il medesimo fattore di comportamento (stimato in direzione verticale) è pari a $q_z = 1,50$.

Il presente lavoro è redatto ai sensi del D.M. LL. PP. 11/03/1988 n.47 e del D.M. 17/01/2018 (aggiornamento *norme tecniche per le costruzioni*) e successive integrazioni e modificazioni (Circolare 21/01/2019 n.7 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici).

Per facilità di esposizione la trattazione seguente sarà suddivisa nei seguenti paragrafi:

PREMESSA

UBICAZIONE DELL'AREA

MORFOLOGIA, PEDOLOGIA E CARATTERISTICHE CLIMATICHE

INQUADRAMENTO GEOLOGICO, TETTONICO E IDROGEOLOGICO

SISMICITA' E RISCHIO SISMICO DELL'AREA

LE INDAGINI GEOGNOSTICHE

CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA: PARAMETRI NOMINALI E PARAMETRI CARATTERISTICI DEL SOTTOSUOLO

RISPOSTA SISMICA LOCALE ED EFFETTI LOCALI ATTESI

PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE E DI SITO SECONDO NTC2018

SPETTRI DI PROGETTO SECONDO NTC2018

MICROZONAZIONE SISMICA DI III LIVELLO AI SENSI DEL D.G.R.E.R. n.2193 del 21/12/2015 E DEL D.G.R.E.R. n.630 del 29/04/2019

VALUTAZIONE DEL RISCHIO LIQUEFAZIONE E DELLA STABILITA' DEI FRONTI DI SCAVO

RISCHIO IDRAULICO

SUBSIDENZA

CHIMISMO ACQUE DI SATURAZIONE DEL SOTTOSUOLO

RISCHIO EMISSIONE GAS RADON

CONCLUSIONI

Allegati:

- Stralcio della carta tecnica regionale in scala 1:5.000 (figura n.1);

- Stralcio della carta dei suoli della Regione Emilia Romagna derivata in scala 1:100.000 (figura n.2);
- Estratto di mappa catastale comunale in scala 1:2.000 (figura n.3);
- Stralcio di R.U.E. in scala 1:5.000 - Tavola P4.2 (figura n.4);
- Stralcio della carta geologica regionale dell'Emilia Romagna progetto C.A.R.G. in scala 1:10.000 (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 F_{aPGA} , F_{aIS} da 0,1 a 0,5 secondi, F_{aIS} 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);
- Distribuzione delle unità idrogeologiche della pianura reggiana (figura n.11);
- Schema tettonico dell'area appenninico - padana (figura n.12);
- Classificazione sismica della Regione Emilia Romagna - O.P.C.M. n.3274/2003 (Allegato 1, punto 3 - "prima applicazione") [figura n.13];
- 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.14];
- 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.15];
- Tabella n.1 riportante 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/).
- 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.16);
- Nuova mappa di pericolosità sismica dell'area dell'Appennino Settentrionale - Margine Appenninico - Pianura Padana, in termini di P.G.A. [Peak Ground Acceleration] (Servizio Geologico Sismico Regione Emilia Romagna - C.N.R. Firenze - Università di Firenze - 2017 - figura n.17);
- Planimetria fuori scala dell'area di cantiere con ubicazione delle indagini geognostiche;
- Certificati e relazione dell'indagine sismica di analisi multicanale delle onde di superficie (M.A.S.W.):
 - Tabella A riportante i valori delle velocità delle onde di taglio nel primo sottosuolo della Scuola Secondaria di primo grado a Bibbiano (RE) per i differenti spessori indicati;
 - Tabella B riportante le caratteristiche fisico-meccaniche ricavate dalla prova M.A.S.W. eseguita sul sito progettuale della Scuola Secondaria di primo grado a Bibbiano (RE);
 - Tabella C riportante la classificazione sismica del sottosuolo secondo la tabella 3.2.II del D.M. 14/01/2008;
 - Figura I – Grafico della generazione delle onde S;
 - Figura II – Spettro delle velocità delle onde S;
 - Figura III – Andamento delle velocità delle onde S nel sottosuolo;
 - Figura IV – Stratigrafia sismica del primo sottosuolo;
- Certificati delle indagini geognostiche (prove HVSR – Stratigrafie sismiche passive a stazione singola):

- Stratigrafia sismica del sottosuolo del sito di progetto (Tabella D - H.V.S.R.1);
- Curva dei rapporti spettrali H/V (figura V - H.V.S.R.1);
- Profilo dell'andamento delle velocità delle onde di taglio nel sottosuolo (figura VI - H.V.S.R.1);
- Tabella riassuntiva dei caratteri fisico - meccanici del sottosuolo ricavati dalla prova H.V.S.R.1 (Tabella E - H.V.S.R.1);
- Classificazione del tipo di suolo secondo NTC2008 (Tabella F);
- Curve velocità/frequenza delle onde sismiche da microtremore (figura VII - H.V.S.R.1);
- Stratigrafia sismica del sottosuolo (figura VIII - H.V.S.R.1);
- Parametri di impostazione della prova H.V.S.R.1 (Tabella G);
- Stratigrafia sismica del sottosuolo del sito di progetto (Tabella H - H.V.S.R.2);
- Curva dei rapporti spettrali H/V (figura IX - H.V.S.R.2);
- Profilo dell'andamento delle velocità delle onde di taglio nel sottosuolo (figura X - H.V.S.R.2);
- Tabella riassuntiva dei caratteri fisico - meccanici del sottosuolo ricavati dalla prova H.V.S.R. 2 (Tabella I - H.V.S.R.2);
- Classificazione del tipo di suolo secondo NTC2008 (Tabella L);
- Curve velocità/frequenza delle onde sismiche da microtremore (figura XI - H.V.S.R.2);
- Stratigrafia sismica del sottosuolo (figura XII - H.V.S.R.2);
- Parametri di impostazione della prova H.V.S.R.2 (Tabella M);
- Certificati delle indagini geognostiche (prove penetrometriche dinamiche medie):
 - ☐ Diagrammi di resistenza;
 - ☐ Tabelle dei valori della resistenza;
 - ☐ Tabelle dei parametri geotecnici;
 - ☐ Elaborazione statistica dei parametri del terreno;
- Figura B Diagrammi di resistenza alla punta (qc), dell'attrito frizionale (fs) e del rapporto resistenza alla punta/attrito frizionale (qc/fs) relativi alla prova statica CPT1.
- Figura C Diagrammi delle valutazioni litologiche, della pressione litostatica efficace, dell'angolo di attrito interno e della coesione non drenata della prova CPT1.
- Figura A riportante la relazione tra numero dei colpi N, carico ammissibile Q_{amm} e profondità D del piano di posa delle fondazioni, per il penetrometro dinamico medio DM030;
- Tabelle I e II riportanti la relazione tra numero dei colpi, stato di consistenza e/o addensamento e alcuni parametri geotecnici del sottosuolo rispettivamente per terreni coesivi (limi e argille) e per terreni granulari (sabbie e ghiaie);

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;
- 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 dell'Aggiornamento delle 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 in studio è ubicata in via Don Pasquino Borghi n.14, in posizione centrale dell'area urbana dell'abitato di Bibbiano (RE); essa ricade nell'elemento n.200102 "*Bibbiano*" della Carta Tecnica Regionale in scala 1:5.000 (figura n.1). Il sito è classificato come "*DTC Sub ambiti per attrezzature e spazi collettivi di livello comunale (art. 41.2)*" (stralcio di R.U.E. in scala 1:5.000 - tavola P4.2 - figura n.4) infatti gli edifici della scuola secondaria di primo grado si collocano al centro di un parco verde di uso pubblico. Nella carta delle criticità in scala 1:10.000 (Quadro conoscitivo - Tavola A23 - PSC Bibbiano - 2013 - figura n.7) il sito progettuale ricade in *aree storicamente inondate* (P.T.C.P. - Quadro Conoscitivo allegato 6 - tavola 6) ed in *Settore B - aree caratterizzate da ricarica indiretta della falda acquifera*.

Per quanto riguarda l'inquadramento geologico l'area ricade nel foglio n.74 "*Reggio nell'Emilia*" della carta geologica d'Italia in scala 1:100.000 e nel foglio n.200 "*Reggio nell'Emilia*" della carta geologica d'Italia in scala 1:50.000.

Le coordinate geografiche del sito di progetto sono (figura n.1):

- LATITUDINE: 44°39'39" Nord (WGS84: 44,660 [°] Nord);
- LONGITUDINE: 10°28'24" Est (WGS84: 10,473 [°] Est);
- QUOTA ALTIMETRICA: 127,00 m s.l.m.

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 che si riferiscono all'antico tracciato del torrente Enza; essi sono posti a differenti altezze sulle aree circostanti, alle quali si raccordano con scarpate più o meno ripide (terrazzi fluviali di Bibbiano, del Ghiardo e di Barco). In particolare il sito in studio si trova nell'ambito del terrazzo fluviale di Bibbiano che si sviluppa in direzione circa Nord - Sud ed è delimitato verso Ovest da una piccola scarpata di faglia che si sviluppa parallelamente al tracciato ferroviario Reggio - Ciano (figura n.5).

Il suolo originario è pianeggiante, con pendenze che variano tipicamente da 1,0% a 3,0%; molto profondo; a tessitura sabbiosa o tendenzialmente argillosa in profondità; localmente può essere a tessitura sabbioso - ghiaiosa oltre il metro di profondità dal piano di campagna. Si presenta con moderata disponibilità di ossigeno; non calcareo; da neutro a moderatamente alcalino. Si è formato in sedimenti fluviali a tessitura sabbiosa. Rientra negli Haplic *Luvisols* e localmente nei *Ferric Luvisols*, secondo la legenda FAO. È contraddistinto con la sigla 4Aa nella carta dei suoli dell'Emilia Romagna derivata in scala 1:100.000 (figura n.2).

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

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

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* (Peronacchi 1974, Sacchi 1979), con profondità di 30 km - 40 km (Caloi et Alii, 1956).

Nell'ambito dell'area in esame si ritrova il terrazzo fluvioglaciale 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, forma un sistema di alture tabulari con evidenti scarpate occidentali, disposte in direzione Sud Ovest - Nord Est.

A livello locale una faglia, con direzione Nord Est - Sud Ovest, borda i terrazzi di Bibbiano e Barco, lungo il tracciato della ferrovia Reggio - Ciano, mettendo a contatto i terreni riferibili al Subsistema di Ravenna (AES8) con quelli riferibili all'Unità di Niviano (AES7a). Il contatto è chiaramente visibile sullo stralcio della carta geologica riportata in figura n.5.

La litologia di superficie è rappresentata da paleosuoli sabbiosi a matrice argillosa, di colore rosso - giallastro per la presenza di ossidi di Ferro e Manganese, che costituiscono la copertura delle superfici terrazzate.

Il primo sottosuolo, fino a circa -5,00 m dalla quota del piano di campagna, è formato da uno strato di limi argillosi e/o sabbie argillose, con lenti di ghiaie in subordine, appartenenti all'Unità di Niviano (AES7a) riferibile al Pleistocene superiore (figura n.5); si tratta di un deposito terrazzato del torrente Enza. Tale Unità costituisce l'ossatura del terrazzo alto di Barco - Bibbiano.

Le indagini geognostiche eseguite hanno avallato tali classificazioni infatti hanno evidenziato un deposito superficiale di sabbie argillose e/o limi argillosi, potente circa 5,00 m, con grado di consistenza variabile; al di sotto di questo strato è stato rinvenuto un deposito basale di ghiaie sabbiose e/o di sabbie ghiaiose, molto addensato, in matrice sabbioso - argillosa.

Dal punto di vista idrogeologico l'area ricade nell'*Unità idrogeologica del torrente Enza* (figura n.11). La conoide dell'Enza si sviluppa a partire dallo sbocco vallivo in prossimità di San Polo sino oltre all'asse della via Emilia; quale limite Nord può definirsi l'allineamento costituito dagli abitati di Gattatico, Castelnovo di Sotto e Cadelbosco di Sopra. I depositi sono tipicamente ghiaiosi e indifferenziati all'apice della conoide, passando a varie alternanze di ghiaie e sabbie con limi e argille verso Nord. In corrispondenza dell'allineamento Monticelli Terme - Montecchio Emilia - Barco lo spessore della conoide diminuisce sino a 40,00 m, per effetto della presenza della struttura anticlinale sepolta di Montecchio Emilia, per poi aumentare nuovamente verso l'asse della pianura. L'alimentazione delle falde sotterranee avviene per infiltrazione nelle aree ghiaiose e/o con ghiaie subaffioranti (fascia orientale del territorio comunale) e per dispersione di alveo e/o di subalveo nelle aree più a monte della conoide. Altre aliquote di ricarica, anche se in misura minore, avvengono per infiltrazione e dispersione dagli alvei del reticolo idrografico minore.

Il sito di progetto si trova nei pressi di un tratto tombato del *Rio Enzola* (figura n.6) che ha un andamento quasi parallelo al *Canale di Bibbiano* il cui tracciato si sviluppa più ad Ovest. Questi modesti canali, fossi e corsi d'acqua costituiscono il reticolo idrografico minore che in parte si sviluppa sul paleoalveo del Torrente Enza (che era spostato più ad Est rispetto all'alveo attuale).

La superficie piezometrica dell'acquifero superficiale si trova ad una quota compresa tra i 110,00 m s.l.m. ed i 115,00 m s.l.m. (figura n.6) con escursioni stagionali di $\pm 2 \text{ m} \div 3 \text{ m}$ (quindi la soggiacenza del primo livello della falda acquifera superficiale è compresa tra i -15,00 m ed i -20,00 m dalla quota del piano di campagna); il flusso sotterraneo è diretto verso Nord Est. In accordo

con questi dati le indagini geognostiche ed il rilievo geologico hanno confermato l'assenza di presenza idrica almeno nei primi 15,00 m di profondità del sottosuolo.

Per quanto riguarda il deflusso delle acque superficiali è da segnalare come il sito progettuale ricade in *aree storicamente inondate* (P.T.C.P. - Quadro Conoscitivo allegato 6 - tavola 6) nella carta delle criticità in scala 1:10.000 [Quadro conoscitivo - Tavola A23 - PSC Bibbiano - 2013 - figura n.7]. Tuttavia la zona risulta drenata da una rete scolante naturale e/o artificiale, avente andamento e sviluppo a maglia poligonale; essa risulta alquanto gerarchizzata e recapita nei cavi e nei canali di ordine superiore della zona.

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.

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.13). 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 l'O.P.C.M. n.3274/2003.

In linea generale la sismicità della Pianura Padana è stata registrata in diminuzione negli ultimi secoli e decrescente procedendo da Est verso Ovest. 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.15). 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.14) mentre la nuova proposta di zonazione sismica del territorio nazionale (figura n.16 - Servizio Geologico Sismico Regione Emilia Romagna - C.N.R. Firenze - Università di Firenze - 2017) fa rientrare il territorio comunale di Bibbiano (RE) nella nuova zona sismogenetica 2 (n.513 Taro - Enza) che è caratterizzata da una tettonica principalmente tipo strike slip (reverse) con direzioni ed immersione delle faglie inverse principali Nord Est - Sud Ovest (Sud 45°/60°), profondità ipocentrale prevalentemente compresa tra 5 km - 30 km e **magnitudo massima attesa pari a Mw = 5,5**.

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**. Secondo gli studi più recenti (post sisma maggio 2012) il territorio comunale si colloca in un areale in cui si possono verificare terremoti caratterizzati da un'accelerazione massima del suolo pari a **0,250g ÷ 0,300g**, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni ($T_r \approx 475$ anni), ovvero terremoti di intensità elevata (nuova mappa di pericolosità sismica dell'area dell'Appennino Settentrionale - Margine - Pianura Padana, in termini di accelerazione a cura del Servizio Geologico Sismico Regione Emilia Romagna - C.N.R. Firenze - Università di Firenze - 2017 - nella quale i valori, riportati in termini di accelerazione sismica, sono stati calcolati tenendo conto della legge di attenuazione sismica di Cauzzi & Faccioli - 2018 - considerando superfici di faglia piane, differenziate per meccanismo di faglia - figura n.17). Nella figura n.19 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 Mw = 5,6**) e nella tabella n.5 (Z.S. **ITCS046 - Langhirano/Sassuolo - Magnitudo massima Mw = 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		
<i>Parametric information</i>			
	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.

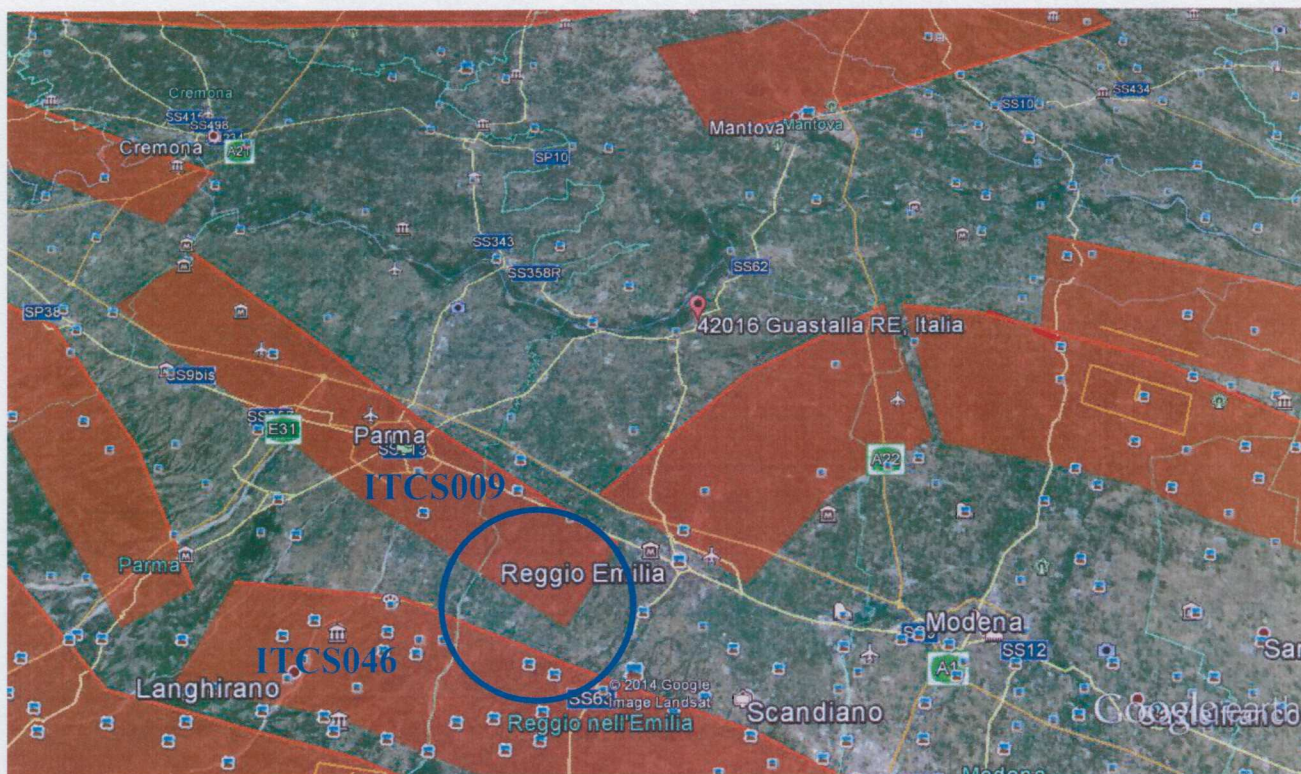


Figura n.19 Aree di faglia attive nell'area della pianura emiliano - romagnola e del Margine Appenninico (D.I.S.S. - Database of Individual Seismogenetic Sources - Istituto Nazionale di Geofisica). Il territorio comunale di Bibbiano (RE) si trova compreso tra la zona sorgente sismogenetica ITCS046 - 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, nel mese di ottobre 2016, una campagna di indagini geognostiche che è stata così articolata:

- N.1 (una) indagine sismica di tipo M.A.S.W. (Analisi multicanale delle onde di superficie);
- N.2 (due) indagini di sismica passiva a stazione singola tipo HVSR o tipo Nakamura;
- N.3 (tre) prove penetrometriche dinamiche medie DM030;
- Inoltre ci si è avvalsi delle risultanze di n.1 (una) prova penetrometrica statica (denominata CPT1) eseguita, nel settembre 2004, in occasione di un progetto di ampliamento di un'ala dell'edificio scolastico. L'indagine penetrometrica è stata eseguita dalla società GEOLOG (Società Cooperativa a.r.l. - sedi di Bologna e Reggio Emilia).

La campagna di indagini geognostiche è stata ubicata in modo da coprire adeguatamente l'intera area progettuale (figura n.18) infatti le indagini sismiche e le prove penetrometriche sono state posizionate nelle immediate vicinanze dei fabbricati d'interesse ingegneristico.

Indagine sismica di tipo M.A.S.W. (Analisi multicanale delle onde di superficie)

Per la classificazione sismica del terreno di fondazione degli edifici della Scuola Media Secondaria di primo grado di Bibbiano (identificazione della categoria di suolo sismico secondo NTC2018) si è eseguita una un'indagine sismica di tipo M.A.S.W. (analisi multicanale delle onde di superficie). L'indagine è stata eseguita parallelamente al lato più lungo dell'edificio della palestra (figura n.18) in corrispondenza di uno stendimento sismico, lungo 46,00 m lineari con un offset di 10,00 m lineari per un totale di 56,00 m lineari, formato da 24 geofoni ricevitori, posti ad un intervallo di 2,00 m ciascuno, capaci di misurare il campo di moto nella direzione verticale e di trasmetterlo ad un acquisitore digitale multicanale PASI modello 16SG24-N (24 bit - 24 canali - 24 geofoni da 4,5 Hertz). L'analisi dei dati misurati è stata sviluppata con il software WinMASW®, prodotto dalla Società EliaSoft. La sorgente sismica impulsiva è stata rappresentata da una mazza del peso di 8,00 kg. La lunghezza dello stendimento ha permesso di stimare l'andamento delle velocità delle onde di taglio (onde di tipo S) fino ad una profondità di circa 45,00 m dalla quota del piano dell'area cortiliva. Dall'esame della figura IV si evince la seguente stratigrafia sismica:

- Da 0,0 m dal p.c. a -1,80 m dal p.c. $V_s = 176$ m/s; $\gamma_n = 2,07$ t/m³, $H_1 = 1,80$ m;
- Da -1,80 m dal p.c. a -5,50 m dal p.c. $V_s = 369$ m/s; $\gamma_n = 2,05$ t/m³, $H_2 = 3,70$ m;
- Da -5,50 m dal p.c. a -16,90 m dal p.c. $V_s = 386$ m/s; $\gamma_n = 1,99$ t/m³, $H_3 = 11,40$ m;
- Da -16,90 m dal p.c. a -24,80 m dal p.c. $V_s = 178$ m/s; $\gamma_n = 1,91$ t/m³, $H_4 = 7,90$ m;
- Da -24,80 m dal p.c. a -38,30 m dal p.c. $V_s = 413$ m/s; $\gamma_n = 2,14$ t/m³, $H_5 = 13,50$ m;
- Da -38,30 m dal p.c. a -45,00 m dal p.c. $V_s = 535$ m/s; $\gamma_n = 2,19$ t/m³, $H_6 = 6,70$ m;

Nei primi 5 m di profondità dal p.c. la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio è stata $V_{s5} = 265$ m/s. Nei primi 20 m di profondità dal p.c. si è avuto un valore equivalente $V_{s20} = 297$ m/s mentre nei primi 30 m di sottosuolo si è registrato un valore equivalente $V_{s30} = 281$ m/s (tabella A). In base al valore di velocità equivalente delle onde S pari a $V_{s30} = 281$ m/s il primo sottosuolo ricade nella categoria **C** (tabella 3.2.II del D.M. 17/01/2018 - tabella C). Nella tabella B sono riportati i principali parametri fisico-meccanici, la velocità equivalente delle onde S e la classificazione sismica per una profondità d'investigazione di circa 30 m dal presunto piano di fondazione.

$V_{s30} = 281$ m/s dal presunto piano di fondazione - Categoria suolo di fondazione: 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.

Indagine di stratigrafia sismica passiva a stazione singola H.V.S.R. o tipo Nakamura

La tecnica di stratigrafia sismica passiva dei rapporti spettrali delle componenti orizzontali e di quelle verticali delle onde sismiche superficiali (H.V.S.R.) è capace di:

- 1) Rilevare le frequenze di risonanza degli strati sedimentari superficiali;
- 2) Stimare in maniera rapida, attraverso un'opportuna inversione del segnale sismico, la stratigrafia superficiale e il V_{s30} ;

Per l'identificazione della risposta di sito sono state eseguite n.2 (due) indagini di sismica passiva a stazione singola in corrispondenza dell'area d'interesse progettuale (figura n.18) rispettivamente denominate HVSR1 e HVSR2.

INDAGINE: HVSR1 - VIA: DON PASQUINO BORGHI N.14 - 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 VI), la stratigrafia sismica del primo sottosuolo (tabella D - figura VIII) e la tabella riassuntiva dei parametri ricavati dall'indagine sismica eseguita (tabella E). 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 G).

La registrazione (figura V) mostra un chiaro picco di frequenza (f) a circa $f_2 \approx 7,3$ Hertz (2° sismostrato) che corrisponde ad un periodo di oscillazione caratteristico del sito desumibile dallo spettro HVSR pari a $T \approx 0,14$ secondi. Questo picco può essere messo in relazione ad un contrasto litologico che si individua ad una profondità di circa $\approx -6,00$ 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, nel quale la velocità delle onde di taglio risulta essere pari a circa $V_s \approx 180$ m/s. Altri picchi secondari sono presenti rispettivamente alle frequenze di circa $f_3 \approx 4,1$ Hertz (3° sismostrato), $f_4 \approx 3,0$ Hertz (4° sismostrato), $f_5 \approx 1,8$ Hertz (5° sismostrato) e $f_6 \approx 0,9$ Hertz (6° sismostrato) nell'ambito di un sottosuolo nel quale le velocità delle onde di taglio aumentano, più o meno gradualmente, con la profondità ad eccezione del 5° sismostrato dove è stato riscontrato un'inversione delle velocità delle onde di taglio. L'ampiezza del picco di frequenza fondamentale del sottosuolo, che è risultata essere pari ad $A = 2,6$, è una stima dell'intensità del contrasto di impedenza del sottosuolo (si tratta di un contrasto di moderata intensità).

1° SISMOSTRATO	2° SISMOSTRATO	3° SISMOSTRATO	4° SISMOSTRATO	5° SISMOSTRATO	6° SISMOSTRATO	7° SISMOSTRATO
$V_s = 170$ m/s	$V_s = 180$ m/s	$V_s = 380$ m/s	$V_s = 450$ m/s	$V_s = 300$ m/s	$V_s = 420$ m/s	$V_s = 500$ m/s
$d = 2,00$ m	$d = 4,00$ m	$d = 10,00$ m	$d = 10,00$ m	$d = 15,00$ m	$d = 60,00$ m	<i>bedrock sismico locale di base</i>

Tabella n.6 - Stratigrafia sismica del sottosuolo del sito di progetto di via Don Pasquini Borghi n.14 a Bibbiano (RE) in corrispondenza dell'indagine di 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 iesimo espresso in metri;

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

Ottenendo:

$$V_{s30} \approx 313 \text{ m/s}$$

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 3.2.II del D.M. 17/01/2018 - tabella 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.**

INDAGINE: HVS2 - VIA: DON PASQUINO BORGHI N.14 - COMUNE: BIBBIANO (RE)

Il risultato dell'elaborazione è la curva dei rapporti spettrali della componente orizzontale su quella verticale delle onde di superficie (figura IX), il profilo dell'andamento delle velocità delle onde di taglio con la profondità (figura X), la stratigrafia sismica del primo sottosuolo (tabella H - figura XII) e la tabella riassuntiva dei parametri ricavati dall'indagine sismica eseguita (tabella I). Nella figura XI 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 M).

La registrazione (figura IX) 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 HVS2 pari a $T \approx 0,11$ secondi. Questo picco può essere messo in relazione ad un contrasto litologico che si individua ad una profondità di circa $\approx -8,00$ 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, nel quale la velocità delle onde di taglio risulta essere pari a circa $V_s \approx 250$ m/s. Altri picchi secondari sono presenti rispettivamente alle frequenze di circa $f_3 \approx 4,2$ Hertz (3° sismostrato), $f_4 \approx 2,9$ Hertz (4° sismostrato), $f_5 \approx 0,9$ Hertz (5° sismostrato) e $f_6 \approx 0,8$ Hertz (6° sismostrato) nell'ambito di un sottosuolo nel quale le velocità delle onde di taglio aumentano, più o meno gradualmente, con la profondità ad eccezione del 5° sismostrato dove è stato riscontrato un'inversione delle velocità delle onde di taglio. L'ampiezza del picco di frequenza fondamentale del sottosuolo, che è risultata essere pari ad $A = 2,0$, è una stima dell'intensità del contrasto di impedenza del sottosuolo (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 n.7 - Stratigrafia sismica del sottosuolo del sito di progetto di via Don Pasquini Borghi n.14 a Bibbiano (RE) in corrispondenza dell'indagine di sismica passiva a stazione singola HVS2.

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 ascrivito alla categoria **C** (tabella 3.2.II del D.M. 17/01/2018 - tabella 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.**

I picchi principali di frequenza ($f_2 \approx 7,3 \text{ Hertz} \div 9,2 \text{ Hertz}$), riscontrati nell'analisi sismica, possono essere messi in relazione ad un contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo, alquanto superficiale ($H \approx 6,0 \text{ m} \div 8,0 \text{ m}$ dalla quota del p.c.) dovuto al contrasto di rigidità tra la copertura alluvionale sabbioso - argillosa e lo strato basale locale più rigido formato dalle sabbie ghiaiose e/o da dalle ghiaie sabbiose (struttura del terrazzo di Bibbiano - Barco).

Le risultanze delle indagini sismiche sono in sostanziale accordo con quanto riportato nella cartografia specialistica dello studio di microzonazione sismica comunale (Barani D. e Barani S. - 2013) sia per quanto riguarda la profondità del tetto delle ghiaie (prevista ad una quota compresa tra i -5,00 m ed i -10,00 m dal p.c. - figura n.8) e sia per quanto riguarda la velocità delle onde di taglio nel sottosuolo (sito progettuale ricadente in un'area che prevede $240 \text{ m/s} < V_s < 300 \text{ m/s}$ - figura n.9).

È fondamentale che le frequenze stimate delle strutture di progetto ($f \approx 1,6 \text{ Hertz} \div 2,0 \text{ Hertz}$) non sia confrontabile con quella fondamentale, propria del sottosuolo ($f_2 \approx 7,3 \text{ Hertz} \div 9,2 \text{ Hertz}$) 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).

Prove penetrometriche dinamiche medie DM030

Per 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 medie DM030, denominate rispettivamente DIN1, DIN2 e DIN3, posizionate nelle immediate vicinanze dell'area di sedime dei fabbricati progettuali (figura n.18).

L'indagine è stata effettuata utilizzando un penetrometro dinamico medio DM030 multifunzione, modello *Deep Drill*. 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:

$$R_{pd} = M^2 h : [A \times e \times (M + P)]$$

Nel DM030 si ha:

- M = peso del maglio = 30 Kg;

- h = altezza di caduta costante di $M = 20$ cm;
- A = sezione della punta = 10 cm^2 ;
- e = con N corrispondente al numero di colpi per ogni approfondimento di $10 \text{ cm} = 10/N$;
- P = peso delle aste = $2,93 \text{ Kg/ml}$.

Tale formula viene qui modificata mediante l'introduzione del coefficiente CHI caratteristico del penetrometro DM030, tabulato in funzione della profondità ed il cui valore medio è $0,766$, introducendo tale valore si ha quindi:

$$R_{pd} \text{ CHI} = M^2 h : [A \times e \times (M + P)]$$

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 delle elaborazioni dei dati della prova penetrometrica è stata poi effettuata una verifica geotecnica che è consistita in:

- ✓ N.207 analisi di resistenza dinamica alla punta (R_{pd});
- ✓ N.207 analisi di carico ammissibile (q_{ad});

La quota d'inizio delle prove è riferita all'area cortiliva circostante gli edifici scolastici (costituendo il cosiddetto piano di campagna); esse sono state sospese in corrispondenza delle profondità alle quali si è riscontrato il rifiuto all'infissione dinamica della punta da parte del terreno (*condizione di rifiuto $N > 50$ colpi*). La condizione di rifiuto si è avuta rispettivamente alle quote di $-6,90 \text{ m}$ dal p.c. per la prova DIN1, di $-6,80 \text{ m}$ dal p.c. per la prova DIN2 e di $-7,00 \text{ m}$ dal p.c. per la prova DIN3, in corrispondenza di uno strato basale locale, di ghiaie sabbiose e/o sabbie ghiaiose, molto addensato. Questo strato è stato riconosciuto anche tramite le indagini di sismica passiva, dando origine ad una frequenza di risonanza principale del primo sottosuolo pari a circa $f_2 \approx 7,3 \text{ Hertz} \div 9,2 \text{ Hertz}$. Il grado di consistenza e/o addensamento del terreno aumenta generalmente con la profondità, in funzione anche dell'aumento della pressione geostatica efficace. Durante l'esecuzione delle penetrometrie, nei fori di sondaggio, non è stata rilevata alcuna presenza idrica (le carte specialistiche del P.S.C. segnalano infatti una soggiacenza minima della falda acquifera superficiale a profondità variabili tra i $-15,00 \text{ m}$ ed i $-20,00 \text{ m}$ dalla superficie del piano di campagna). Il secondo acquifero è segnalato ad una profondità di circa $43,00 \text{ m}$ dalla quota del piano di campagna (Banca Dati Geognostici - Regione Emilia Romagna - 2019).

In base alle evidenze riscontrate dalle penetrometrie, la stratigrafia del primo sottosuolo è risultata essere la seguente (dove N = numero di colpi per 10 cm di avanzamento della punta meccanica nel sottosuolo - tabelle I e II - in appendice I):

- $0,00 \text{ m} \div 1,90 \text{ m}$ = limi argillosi e/o sabbie argillose, consistenti, suolo continentale, di colore rossastro per presenza diffusa di ossidi metallici (Fe e Mn). Presenta un certo grado di sovraconsolidazione. $N = 14$ colpi (strato 1);
- $1,90 \text{ m} \div 4,60 \text{ m}$ = limi argillosi e/o sabbie argillose, moderatamente consistenti, suolo continentale, di colore rossastro per presenza diffusa di ossidi metallici (Fe e Mn). Si presenta normalconsolidato. $N = 6$ colpi (strato 2);
- $4,60 \text{ m} \div 15,00 \text{ m}$ = sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose in matrice sabbioso argillosa, molto addensate, ferrettizzato, di colore rossastro per presenza diffusa di ossidi metallici (Fe e Mn) che formano incrostazioni sui ciottoli ghiaiosi. Presenti anche livelli centimetrici di concrezioni carbonatiche, formati per dissoluzione e precipitazione dei carbonati. $N = 18$ colpi (strato 3);

La potenza dello strato 3 è stata estrapolata fino a $-15,00 \text{ m}$ dalla quota del piano campagna in base a dati stratigrafici del sottosuolo desunti dallo studio di microzonazione sismica del territorio comunale (Barani D., 2013) e da stratigrafie del terreno di pozzi idrici presenti in zona (Banca Dati Geognostici - Regione Emilia Romagna - 2019).

Stratigrafia prova DIN1 (presenza idrica non rilevata):

- $-0,00 \text{ m} \div -2,00 \text{ m dal p.c.}$ = limi argillosi e/o sabbie argillose, consistenti, $N_{spt} = 15$, $\gamma_n = 19,30 \text{ kN/m}^3$, $E_u = 7.425 \text{ kPa}$, $C_u = 75 \text{ kPa}$, $G = 11.025 \text{ kPa}$, $\phi = 22^\circ$, $E' = 8.055 \text{ kPa}$;
- $-2,00 \text{ m} \div -4,70 \text{ m dal p.c.}$ = limi argillosi e/o sabbie argillose, moderatamente consistenti, $N_{spt} = 6$, $\gamma_n = 19,00 \text{ kN/m}^3$, $E_u = 6.425 \text{ kPa}$, $C_u = 60 \text{ kPa}$, $G = 10.700 \text{ kPa}$, $\phi = 20^\circ$, $E' = 7.755 \text{ kPa}$;

- -4,70 m ÷ -6,80 m dal p.c. = sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose, in matrice sabbioso argillosa, molto addensate, $N_{spt} = 20$, $\gamma_n = 20,00 \text{ kN/m}^3$, $E' = 12.625 \text{ kPa}$, $E_u = 10.050 \text{ kPa}$, $\Phi = 35^\circ$, $C_u = 70 \text{ kPa}$, $G = 14.025 \text{ kPa}$;

Stratigrafia prova DIN2 (presenza idrica a non rilevata):

- -0,00 m ÷ -2,00 m dal p.c. = limi argillosi e/o sabbie argillose, consistenti, $N_{spt} = 13$, $\gamma_n = 19,30 \text{ kN/m}^3$, $E_u = 7.625 \text{ kPa}$, $C_u = 75 \text{ kPa}$, $G = 11.685 \text{ kPa}$, $\phi = 22^\circ$, $E' = 8.850 \text{ kPa}$;
- -2,00 m ÷ -4,40 m dal p.c. = limi argillosi e/o sabbie argillose, moderatamente consistenti, $N_{spt} = 6$, $\gamma_n = 19,00 \text{ kN/m}^3$, $E_u = 6.625 \text{ kPa}$, $C_u = 60 \text{ kPa}$, $G = 10.685 \text{ kPa}$, $\phi = 20^\circ$, $E' = 7.850 \text{ kPa}$;
- -4,40 m ÷ -6,70 m dal p.c. = sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose, in matrice sabbioso argillosa, molto addensate, $N_{spt} = 18$, $\gamma_n = 20,00 \text{ kN/m}^3$, $E' = 12.850 \text{ kPa}$, $E_u = 10.500 \text{ kPa}$, $\Phi = 35^\circ$, $C_u = 70 \text{ kPa}$, $G = 14.500 \text{ kPa}$;

Stratigrafia prova DIN3 (presenza idrica a non rilevata):

- -0,00 m ÷ -1,70 m dal p.c. = limi argillosi e/o sabbie argillose, consistenti, $N_{spt} = 13$, $\gamma_n = 19,30 \text{ kN/m}^3$, $E_u = 7.625 \text{ kPa}$, $C_u = 75 \text{ kPa}$, $G = 11.685 \text{ kPa}$, $\phi = 22^\circ$, $E' = 8.850 \text{ kPa}$;
- -1,70 m ÷ -4,70 m dal p.c. = limi argillosi e/o sabbie argillose, moderatamente consistenti, $N_{spt} = 7$, $\gamma_n = 19,00 \text{ kN/m}^3$, $E_u = 6.625 \text{ kPa}$, $C_u = 60 \text{ kPa}$, $G = 10.555 \text{ kPa}$, $\phi = 20^\circ$, $E' = 7.850 \text{ kPa}$;
- -4,70 m ÷ -6,90 m dal p.c. = sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose, in matrice sabbioso argillosa, molto addensate, $N_{spt} = 18$, $\gamma_n = 20,00 \text{ kN/m}^3$, $E' = 12.850 \text{ kPa}$, $E_u = 10.475 \text{ kPa}$, $\Phi = 35^\circ$, $C_u = 70 \text{ kPa}$, $G = 14.400 \text{ kPa}$;

Confrontando il valore del numero dei colpi delle penetrometrie con il diagramma riportato in figura A (appendice I) e con i valori di N delle tabelle I e II (appendice I) si evincono in via preliminare i valori delle resistenze del primo sottosuolo in corrispondenza delle verticali investigate. I dati riepilogativi sono riportati nella tabella n.8.

Profondità D dal piano campagna	DIN1	DIN2	DIN3
-1,0 m	0,900 kg/cm ²	0,900 kg/cm ²	0,900 kg/cm ²
-2,0 m	1,000 kg/cm ²	1,000 kg/cm ²	1,000 kg/cm ²
-3,0 m	1,100 kg/cm ²	1,100 kg/cm ²	1,100 kg/cm ²
-4,0 m	1,200 kg/cm ²	1,200 kg/cm ²	1,200 kg/cm ²
-5,0 m	1,250 kg/cm ²	1,250 kg/cm ²	1,250 kg/cm ²
-6,0 m	1,300 kg/cm ²	1,300 kg/cm ²	1,300 kg/cm ²

Tabella n.8 - Valori caratteristici delle resistenze del primo sottosuolo in corrispondenza delle tre verticali penetrometriche dinamiche investigate.

Per terreni sabbioso - argillosi in genere il valore del modulo di Winkler risulta $K_b \approx 18,0 \text{ MN/m}^3 \approx 1,8 \text{ kg/cm}^3$ (valore consigliato dal Terzaghi, 1956 - pp.369 - *Geotecnica* – Colombo- III edizione). K_b è fortemente influenzato dalla geometria e dalla larghezza B della fondazione.

Prova penetrometrica statica

Nel settembre 2004 la società GEOLOG (Società Cooperativa a.r.l. - sedi di Bologna e Reggio Emilia) eseguiva una prova penetrometrica statica CPT1, ad integrazione delle indagini geognostiche per un progetto di ampliamento di un'ala dell'edificio scolastico (figura n.18), mediante un penetrometro statico - dinamico "DINASTAR" (le cui caratteristiche sono riportate negli allegati delle indagini geognostiche unitamente ai diagrammi delle resistenze (figura B), delle valutazioni litologiche e di alcuni parametri geotecnici del terreno (figura C).

Questa prova è stata spinta fino a -6,60 m dalla quota del piano di campagna; profondità alla quale poi è stata sospesa poiché il primo sottosuolo aveva offerto una forte resistenza all'infissione statica della punta nel terreno stesso. La stratigrafia di dettaglio ricavata da questa prova è la seguente (modificata ed elaborata dallo scrivente):

- 0,00 m ÷ 5,50 m = limi argillosi e/o sabbie argillose, da moderatamente consistenti a consistenti; con una resistenza statica alla punta pari a $q_c \approx 20 \text{ kg/cm}^2 - 90 \text{ kg/cm}^2$, coesione non drenata $C_u \approx 0,700 \text{ kg/cm}^2$, angolo di attrito interno $\phi \approx 25^\circ$ (strato 1);
- 5,50 m ÷ 6,60 m = sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose in matrice sabbioso argillosa, molto addensate, con una resistenza statica alla punta pari a $q_c \approx 50 \text{ kg/cm}^2 - 120 \text{ kg/cm}^2$, coesione non drenata $C_u \approx 1,000 \text{ kg/cm}^2$, angolo di attrito interno $\phi \approx 35^\circ$ (strato 2);

Durante l'esecuzione di questa prova penetrometrica non fu rilevata alcuna presenza idrica nel foro di sondaggio.

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 ÷ -1,90 m dal p.c. = limi argillosi e/o sabbie argillose, consistenti, peso di volume naturale $\gamma_n = 19,30 \text{ kN/m}^3$, coesione non drenata $C_u = 75 \text{ kPa}$, angolo di resistenza al taglio drenato $\phi = 22^\circ$, coesione drenata $C' = 15 \text{ kPa}$, modulo di Young $E' = 8.585 \text{ kPa}$, modulo di deformazione non drenato $E_u = 7.558 \text{ kPa}$, modulo di taglio $G = 11.465 \text{ kPa}$, coefficiente di poisson $\nu = 0,22$; [STRATO N.1]
- -1,90 m ÷ -4,60 m dal p.c. = limi argillosi e/o sabbie argillose, moderatamente consistenti, peso di volume naturale $\gamma_n = 19,00 \text{ kN/m}^3$, coesione non drenata $C_u = 60 \text{ kPa}$, angolo di resistenza al taglio drenato $\phi = 20^\circ$, coesione drenata $C' = 15 \text{ kPa}$, modulo di Young $E' = 7.818 \text{ kPa}$, modulo di deformazione non drenato $E_u = 6.558 \text{ kPa}$, modulo di taglio $G = 10.646 \text{ kPa}$, coefficiente di poisson $\nu = 0,22$; [STRATO N.2]
- -4,60 m ÷ -15,00 m dal p.c. = sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose, in matrice sabbioso argillosa, molto addensate, peso di volume naturale $\gamma_n = 20,00 \text{ kN/m}^3$, coesione non drenata $C_u = 70 \text{ kPa}$, angolo di resistenza al taglio drenato $\phi' = 35^\circ$, coesione drenata $C' = 22 \text{ kPa}$, modulo di deformazione non drenato $E_u = 10.341 \text{ kPa}$, modulo di deformazione drenato $E' = 12.775 \text{ kPa}$, coefficiente di poisson $\nu = 0,35$, modulo di taglio statico $G = 14.308 \text{ kPa}$; [STRATO N.3]

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 dinamiche denominato *WINDIN – 2010*.

Parametri di resistenza non drenati caratteristici del sottosuolo (condizioni a breve termine - angolo di resistenza al taglio non drenato $\phi_u = 0^\circ$):

- -0,00 m ÷ -1,90 m dal p.c. = limi argillosi e/o sabbie argillose, consistenti, peso di volume naturale $\gamma_{nk} = 19,30 \text{ kN/m}^3$, coesione non drenata $C_{uk} = 66 \text{ kPa}$, modulo di deformazione non drenato $E_{uk} = 6.750 \text{ kPa}$, modulo di taglio $G_k = 10.405 \text{ kPa}$, coefficiente di poisson $\nu_k = 0,22$; [STRATO N.1]
- -1,90 m ÷ -4,60 m dal p.c. = limi argillosi e/o sabbie argillose, moderatamente consistenti, peso di volume naturale $\gamma_{nk} = 19,00 \text{ kN/m}^3$, coesione non drenata $C_{uk} = 56 \text{ kPa}$, modulo di deformazione non drenato $E_{uk} = 6.125 \text{ kPa}$, modulo di taglio $G_k = 9.905 \text{ kPa}$, coefficiente di poisson $\nu_k = 0,22$; [STRATO N.2]
- -4,60 m ÷ -15,00 m dal p.c. = sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose, in matrice sabbioso argillosa, molto addensate, peso di volume naturale $\gamma_{nk} = 20,00 \text{ kN/m}^3$, coesione non drenata $C_{uk} = 60 \text{ kPa}$, modulo di deformazione non drenato $E_{uk} = 8.645 \text{ kPa}$, coefficiente di poisson $\nu_k = 0,35$, modulo di taglio statico $G_k = 12.095 \text{ kPa}$; [STRATO N.3]

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

- -0,00 m ÷ -1,90 m dal p.c. = limi argillosi e/o sabbie argillose, consistenti, peso di volume naturale $\gamma_{ntk} = 19,30 \text{ kN/m}^3$, angolo di resistenza al taglio drenato $\phi'_k = 20^\circ$, coesione drenata $C'_k = 12 \text{ kPa}$, modulo di Young $E'_k = 8.025 \text{ kPa}$; [STRATO N.1]

- -1,90 m ÷ -4,60 m dal p.c. = limi argillosi e/o sabbie argillose, moderatamente consistenti, peso di volume naturale $\gamma_{nk} = 19,00 \text{ kN/m}^3$, angolo di resistenza al taglio drenato $\phi'_k = 19^\circ$, coesione drenata $C'_k = 12 \text{ kPa}$, modulo di Young $E'_k = 7.450 \text{ kPa}$; [STRATO N.2]
- -4,60 m ÷ -15,00 m dal p.c. = sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose, in matrice sabbioso argillosa, molto addensate, peso di volume naturale $\gamma_{nk} = 20,00 \text{ kN/m}^3$, angolo di resistenza al taglio drenato $\phi'_k = 33^\circ$, coesione drenata $C'_k = 18 \text{ kPa}$, modulo di deformazione drenato $E'_k = 10.525 \text{ kPa}$; [STRATO N.3]

(I dati dei parametri di resistenza caratteristici sono rappresentativi dell'insieme dei valori riferibili al quinto percentile della distribuzione statistica dei parametri stessi. Resistenze non compensate da misure estrapolate).

La potenza del terzo strato, cioè di quello ghiaioso, è stata estrapolata fino a -15,00 m dalla quota del piano campagna in base a dati stratigrafici del sottosuolo desunti dallo studio di microzonazione sismica del territorio comunale (Barani D., 2013) e da stratigrafie del terreno di pozzi idrici presenti in zona (Banca Dati Geognostici - Regione Emilia Romagna - 2019).

RISPOSTA SISMICA LOCALE ED EFFETTI LOCALI ATTESI

In base a quanto prescritto dalla tabella 3.2.II del D.M. 17/01/2018 si procede alla caratterizzazione del sottosuolo al fine di definire l'azione sismica di progetto.

- 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 n.9 - 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).

Il primo sottosuolo, in base alle risultanze avutesi con le indagini sismiche ha una velocità equivalente delle onde di taglio (fino a - 30,00 m dalla quota del piano di fondazione presunto delle strutture progettuali) di $V_{s30} \approx 281 \text{ m/s} \div 317 \text{ m/s}$.

**$V_{s30} \approx 281 \text{ m/s} \div 317 \text{ m/s}$ dalla quota del piano di fondazione presunto delle strutture progettuali
Categoria suolo di fondazione: C**

Il fattore di amplificazione stratigrafica corrispondente alla categoria di suolo C rientra nel seguente intervallo di valori **$1,00 < S_s < 1,50$** . Le caratteristiche della superficie di 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 **$S_t = 1,0$** .

I valori dei principali parametri sismici (ag, Fo, Tc*) esplicitati e riferiti all'area in studio, con un Tempo di Ritorno TR = 712 anni allo Stato Limite Ultimo (S.L.U.) di Salvaguardia della Vita sono i seguenti: $ag/g = 1,79/9,81 = 0,182$; $F_o = 2,427$; $Tc^* = 0,288$. In ottemperanza al D.M. 17/01/2018 è possibile valutare l'accelerazione massima attesa al sito mediante la relazione: $a_{max} = S_s \times S_t \times ag$. Dove: S_s = coefficiente che tiene conto dell'effetto dell'amplificazione stratigrafica; S_t = coefficiente che tiene conto dell'effetto dell'amplificazione topografica; ag = accelerazione orizzontale massima sul suolo di categoria A.

Nel caso in esame si assume, per le strutture progettuali, vita nominale = 50 anni, classe d'uso = III, Stato Limite S.L.V. e Tempo di Ritorno Tr = 712 anni (paragrafo 2.4 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: $S_s = 1,70 - 0,60 \times F_o \times a_g/g = 1,70 - 0,60 \times 2,427 \times 0,182 = 1,70 - 0,23 \approx 1,43$.

Sulla base dei dati sopra riportati risulta pertanto che:

$$a_{max} = S_s \times S_t \times a_g = 1,43 \times 1,0 \times 0,182 \approx 0,260g$$

La classificazione sismica del terreno, determinata dal presente studio, è in sostanziale accordo con quanto riportato dalla cartografia specialistica dello studio di microzonazione sismica del territorio comunale di Bibbiano così come i valori delle onde di taglio ottenuti dalle indagini geofisiche eseguite ($V_{s30} \approx 281 \text{ m/s} \div 317 \text{ m/s}$ con terreno di tipo C - figura n.7 - Barani D. & Barani S. - 2013).

In ottemperanza alla Delibera dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia Romagna n.112/2007 e al Decreto di Giunta Regionale n.2193/2015 il sito progettuale si trova in una zona con $FaPGA = 1,5$; con $FaLS$ da 0,1 a 0,5 secondi = $1,7 \div 1,8$ secondi e con $FaLS$ da 0,5 a 1,0 secondi = 2,3 secondi (rispettivamente valore del fattore di amplificazione dell'accelerazione sismica di picco al suolo e dell'intensità di Housnier per differenti valori del periodo T - figura n.10 - Barani D. - 2013).

La carta del tetto delle ghiaie in scala 1:10.000 (figura n.8 - Barani D. - 2013) riporta l'area di interesse in *"zona con profondità del tetto delle ghiaie e/o delle ghiaie in matrice argilloso - limosa da -5,00 m dalla quota del p.c. a -10,00 m dalla quota del p.c."* in sostanziale accordo con quanto riscontrato con le prove penetrometriche che hanno rinvenuto lo strato basale ghiaioso ad una profondità di circa -4,60 m dalla quota del piano di campagna (coincidente con l'area cortiliva dell'area di progetto).

In base al fattore di amplificazione del segnale sismico in termini di accelerazione massima al suolo, determinato dallo studio di microzonazione sismica di secondo livello per il Comune di Bibbiano (microzonazione sismica di secondo livello stimata con gli abachi del D.G.R.E.R. n.2193 del 21/12/2015) si ha un valore di a_{max} pari ad: $a_{max} = S_s \times S_t \times a_g = 1,60 \times 1,0 \times 0,158 \approx 0,253g$ [MARGINE DI TIPO A: settore di alta pianura caratterizzato da spessori di terreni fini (limoso - argillosi) sovrastanti gli orizzonti grossolani (sabbioso - ghiaiosi) inferiore a 30,00 m; gli strati grossolani sovrastano direttamente il substrato geologico - abachi del D.G.R.E.R. n.2193 del 21/12/2015].

Riassumendo si riportano i valori di accelerazione orizzontale massima di ancoraggio dello spettro di risposta elastico, secondo le varie normative intervenute nel tempo, per il sito progettuale ricadente nel territorio comunale di Bibbiano (RE):

$a_{max} = 0,150g$ (zona sismica 3 secondo l'O.P.C.M. n.3274 del 20/03/2003).

$a_{max} = S_s \times S_t \times a_g = 1,43 \times 1,0 \times 0,182 \approx 0,260g$ (analisi semplificata secondo il D.M. 17/01/2018).

$a_{max} = S_s \times S_t \times a_g = 1,50 \times 1,0 \times 0,156 \approx 0,234g$ (Allegato A4 del D.A.R.E.R. n.112/2007 - figura n.10 - Barani D. - 2013).

$a_{max} = S_s \times S_t \times a_g = 1,60 \times 1,0 \times 0,158 \approx 0,253g$ (microzonazione sismica di secondo livello stimata con gli abachi del D.G.R.E.R. n.2193 del 21/12/2015).

PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE E DI SITO SECONDO NTC2018**PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE**

Vita nominale (Vn): 50 [anni]
 Classe d'uso: III
 Coefficiente d'uso (Cu): 1,5
 Periodo di riferimento (Vr): 75 [anni]
 Periodo di ritorno (Tr) SLO: 45 [anni]
 Periodo di ritorno (Tr) SLD: 75 [anni]
 Periodo di ritorno (Tr) SLV: 712 [anni]
 Periodo di ritorno (Tr) SLC: 1462 [anni]
 Tipo di interpolazione: Media ponderata
 Coordinate geografiche del punto
 Latitudine (WGS84): 44,6609400 [°]
 Longitudine (WGS84): 10,4735300 [°]
 Latitudine (ED50): 44,6618800 [°]
 Longitudine (ED50): 10,4745500 [°]

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	1746,88
2	16053	44,648310	10,539860	5382,15
3	15831	44,698290	10,537390	6409,32
4	15830	44,696530	10,467170	3896,73

Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC08, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento:

Punto 1

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
	30	0,051	2,473	0,246
SLO	45	0,061	2,486	0,257
	50	0,064	2,489	0,260
	72	0,074	2,475	0,267
SLD	75	0,076	2,473	0,268
	101	0,086	2,465	0,272
	140	0,098	2,462	0,275
	201	0,114	2,454	0,277
	475	0,158	2,444	0,283
SLV	712	0,180	2,446	0,288
	975	0,199	2,447	0,292
SLC	1462	0,223	2,468	0,298
	2475	0,259	2,494	0,307

Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
	30	0,050	2,472	0,247
SLO	45	0,060	2,487	0,258
	50	0,063	2,491	0,261
	72	0,074	2,471	0,268
SLD	75	0,075	2,470	0,269
	101	0,085	2,462	0,273
	140	0,097	2,462	0,275
	201	0,114	2,437	0,277
	475	0,159	2,411	0,284
SLV	712	0,181	2,411	0,289
	975	0,201	2,411	0,293
SLC	1462	0,226	2,431	0,300
	2475	0,263	2,457	0,309

Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
	30	0,048	2,471	0,247
SLO	45	0,057	2,498	0,259
	50	0,060	2,505	0,262
	72	0,070	2,476	0,269
SLD	75	0,072	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
	475	0,154	2,391	0,286
SLV	712	0,177	2,383	0,291
	975	0,197	2,378	0,295
SLC	1462	0,223	2,398	0,302
	2475	0,261	2,425	0,312

Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
	30	0,049	2,470	0,244
SLO	45	0,058	2,494	0,257
	50	0,061	2,500	0,261
	72	0,072	2,474	0,267
SLD	75	0,073	2,473	0,268
	101	0,083	2,471	0,273
	140	0,095	2,454	0,277
	201	0,111	2,450	0,277
	475	0,154	2,424	0,283
SLV	712	0,176	2,423	0,288
	975	0,196	2,422	0,291
SLC	1462	0,220	2,440	0,298
	2475	0,257	2,463	0,307

Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	45	0,060	2,489	0,258
SLD	75	0,074	2,473	0,268
SLV	712	0,179	2,427	0,288
SLC	1462	0,223	2,446	0,299

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°.

Coefficienti sismici per muri di sostegno NTC2008

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,016	0,020	0,062	0,095
kv	0,008	0,010	0,031	0,047
amax [m/s ²]	0,877	1,096	2,526	2,994
Beta	0,180	0,180	0,240	0,310

Coefficienti sismici per muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,089	0,112	0,258	0,305
kv	0,045	0,056	0,129	0,153
amax [m/s ²]	0,877	1,096	2,526	2,994
Beta	1,000	1,000	1,000	1,000

Coefficienti sismici per muri di sostegno NTC2018

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0,044	0,087	--
kv	--	0,022	0,044	--
amax [m/s ²]	0,734	0,913	2,253	2,740
Beta	--	0,470	0,380	--

Coefficienti sismici per paratie

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

Spostamento ammissibile us: 0,015 [m]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,058	0,073	0,167	0,198
kv	--	--	--	--
amax [m/s ²]	0,877	1,096	2,526	2,994
Beta	0,650	0,650	0,650	0,650

Coefficienti sismici stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,018	0,022	0,062	0,086
kv	0,009	0,011	0,031	0,043
amax [m/s ²]	0,877	1,096	2,526	2,994
Beta	0,200	0,200	0,240	0,280

Fronti di scavo e rilevati

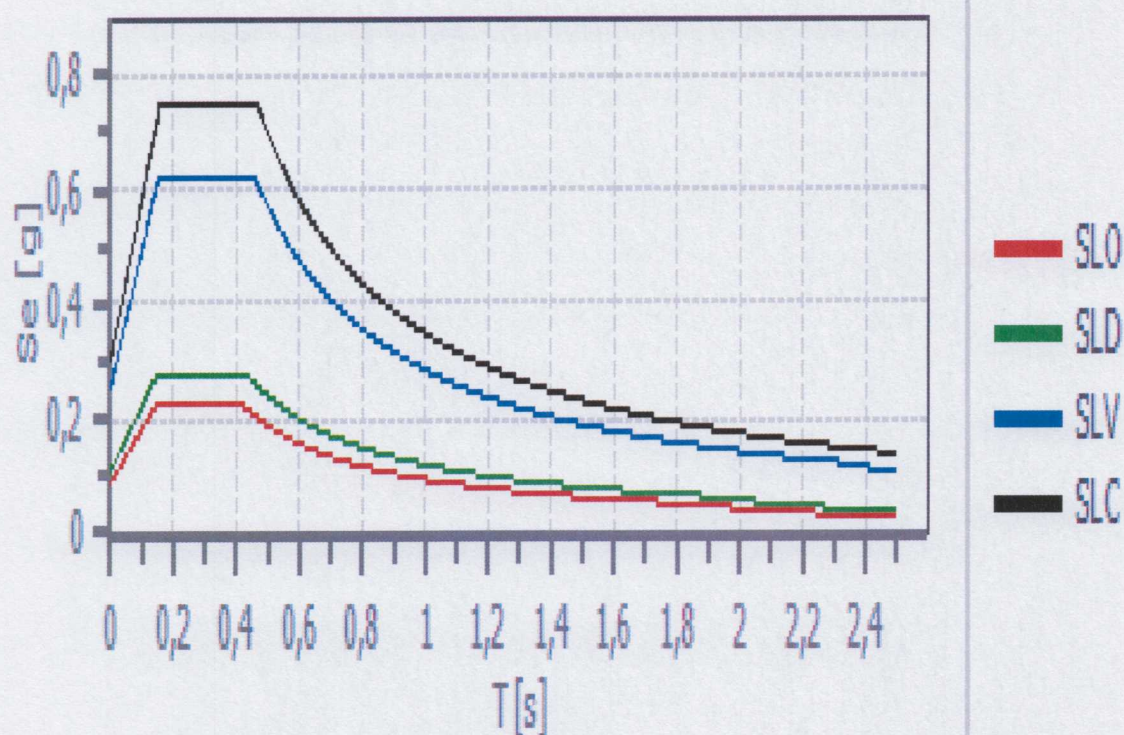
Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0,044	0,087	--
kv	--	0,022	0,044	--
amax [m/s ²]	0,734	0,913	2,253	2,740
Beta	--	0,470	0,380	--

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

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

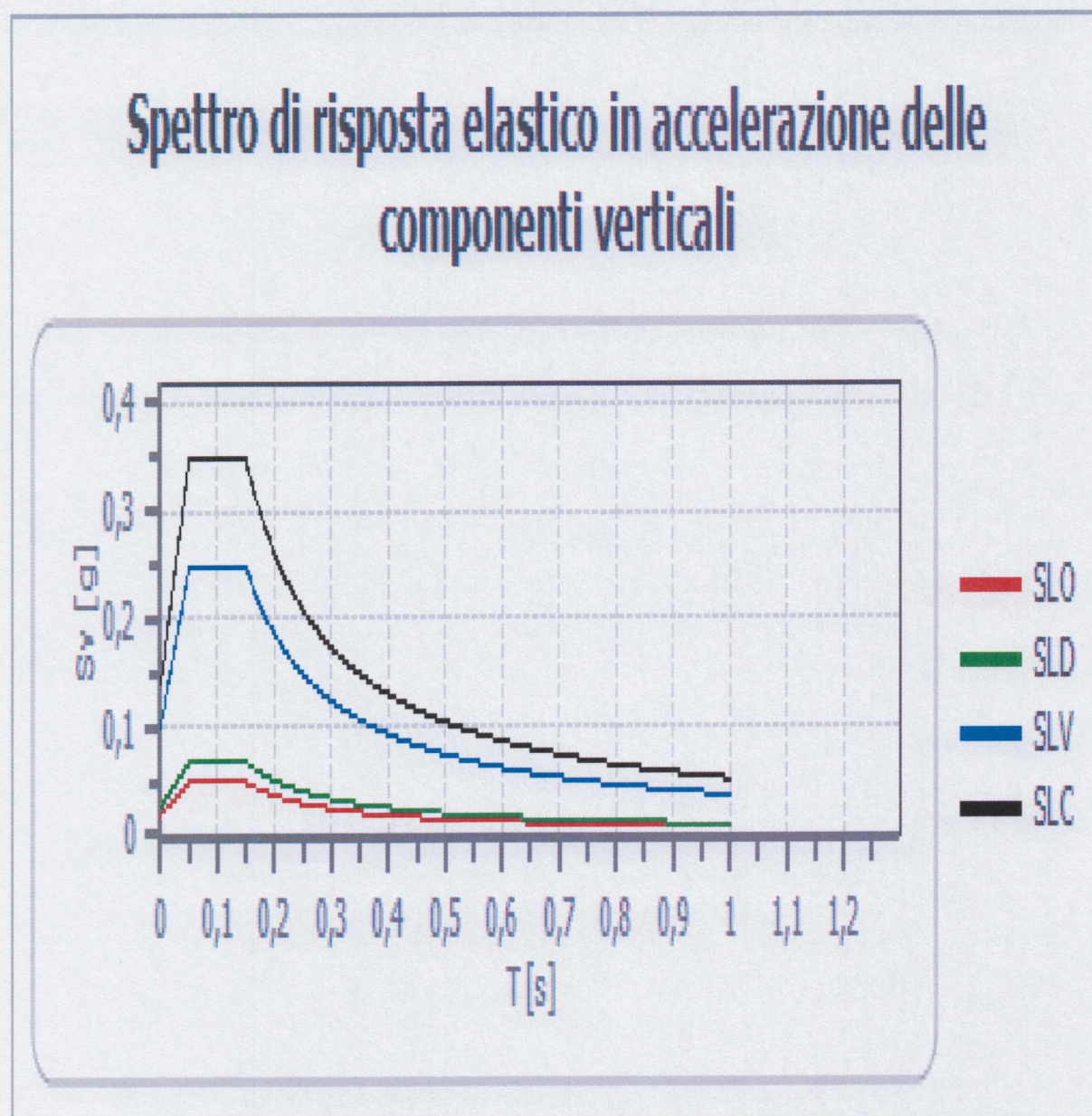


	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,5	0,060	2,489	0,258	1,500	1,640	1,000	1,500	1,000	0,141	0,422	1,839	0,089	0,223
SLD	1,5	0,074	2,473	0,268	1,500	1,620	1,000	1,500	1,000	0,145	0,434	1,898	0,112	0,276
SLV	1,5	0,179	2,427	0,288	1,440	1,580	1,000	1,440	1,000	0,152	0,456	2,315	0,258	0,625
SLC	1,5	0,223	2,446	0,299	1,370	1,560	1,000	1,370	1,000	0,155	0,466	2,491	0,305	0,747

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



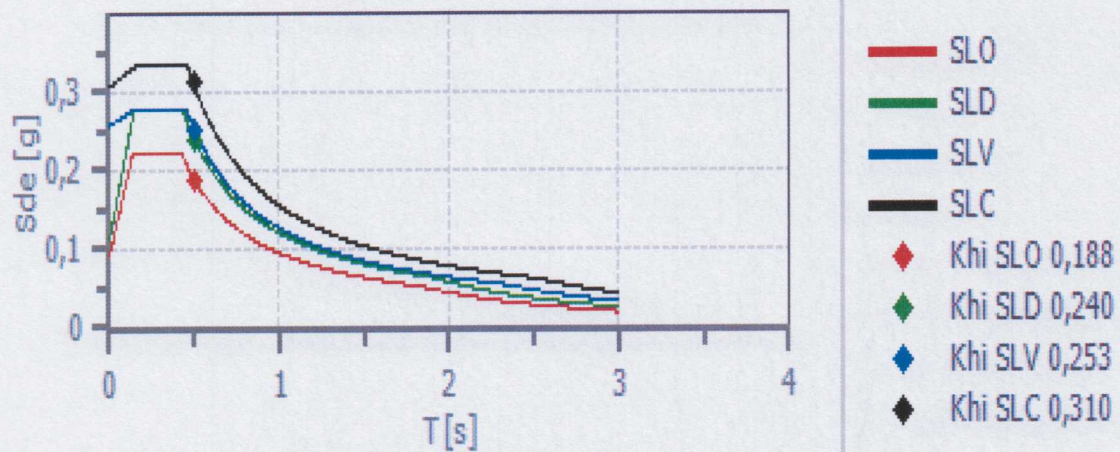
	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,5	0,060	2,489	0,258	1	1,640	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,020	0,049
SLD	1,5	0,074	2,473	0,268	1	1,620	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,027	0,068
SLV	1,5	0,179	2,427	0,288	1	1,580	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,102	0,248
SLC	1,5	0,223	2,446	0,299	1	1,560	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,142	0,348

SPETTRI DI PROGETTO SECONDO NTC2018**Spettro di progetto edificio scolastico**Fattore di struttura spettro orizzontale stimato: $q = 2,25$ Fattore di struttura spettro verticale stimato $q = 1,50$ Periodo fondamentale stimato: $T \approx 0,50$ secondiFrequenza fondamentale stimata: $f \approx 2,0$ Hertz

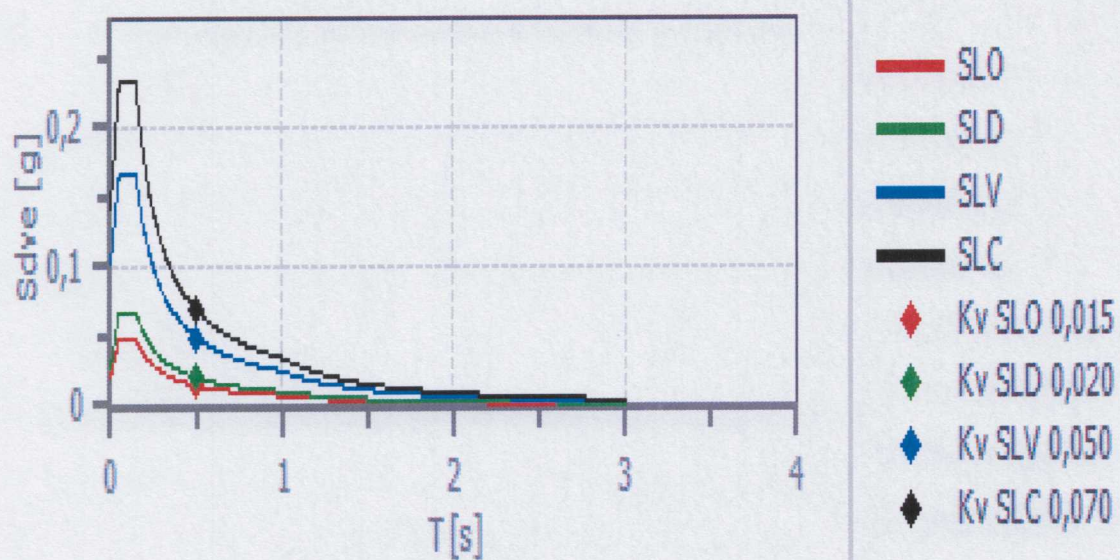
	SLO	SLD	SLV	SLC
khi = Sde(T) Orizzontale [g]	0,188	0,240	0,253	0,310
kv = Sdve(T) Verticale [g]	0,015	0,020	0,050	0,070

	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	q [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Sd(0) [g]	Sd(TB) [g]
SLO orizzontale	1,5	0,060	2,489	0,258	1,500	1,640	1,000	1,500	1,000	0,141	0,422	1,839	0,089	0,223
SLO verticale	1,5	0,060	2,489	0,258	1,500	1,640	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,020	0,049
SLD orizzontale	1,5	0,074	2,473	0,268	1,500	1,620	1,000	1,500	1,000	0,145	0,434	1,898	0,112	0,276
SLD verticale	1,5	0,074	2,473	0,268	1,500	1,620	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,027	0,068
SLV orizzontale	1,5	0,179	2,427	0,288	1,440	1,580	1,000	1,440	2,250	0,152	0,456	2,315	0,258	0,278
SLV verticale	1,5	0,179	2,427	0,288	1,440	1,580	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000	0,102	0,165
SLC orizzontale	1,5	0,223	2,446	0,299	1,370	1,560	1,000	1,370	2,250	0,155	0,466	2,491	0,305	0,332
SLC verticale	1,5	0,223	2,446	0,299	1,370	1,560	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000	0,142	0,232

Spettro di progetto delle componenti orizzontali



Spettro di progetto delle componenti verticali

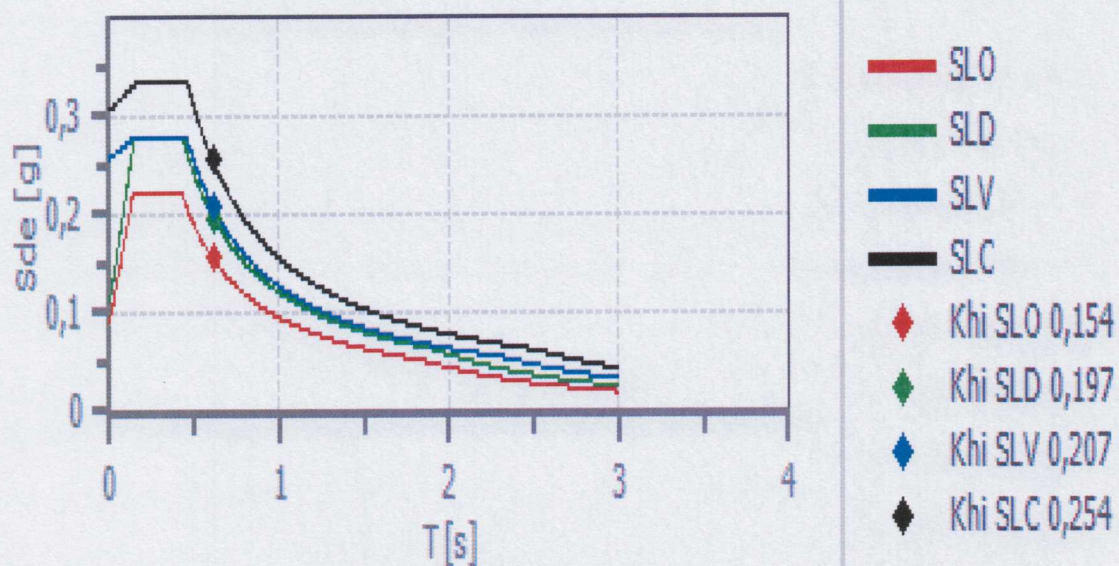


Spettro di progetto edificio palestraFattore di struttura spettro orizzontale stimato: $q = 2,25$ Fattore di struttura spettro verticale stimato $q = 1,50$ Periodo fondamentale stimato: $T \approx 0,61$ secondiFrequenza fondamentale stimata: $f \approx 1,6$ Hertz

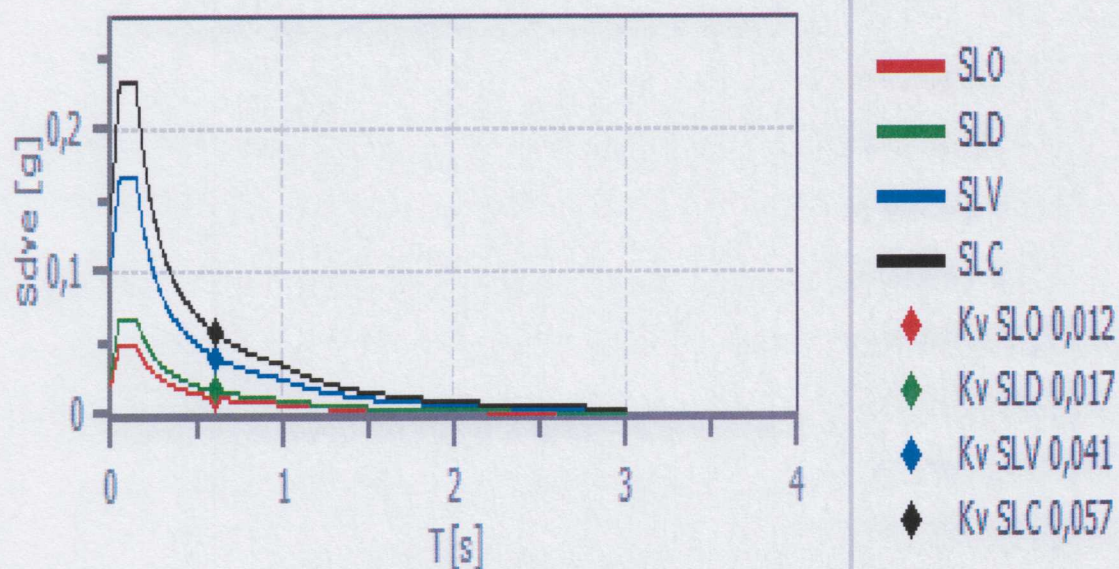
	SLO	SLD	SLV	SLC
khi = Sde(T) Orizzontale [g]	0,154	0,197	0,207	0,254
kv = Sdve(T) Verticale [g]	0,012	0,017	0,041	0,057

	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	q [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Sd(0) [g]	Sd(TB) [g]
SLO orizzontale	1,5	0,060	2,489	0,258	1,500	1,640	1,000	1,500	1,000	0,141	0,422	1,839	0,089	0,223
SLO verticale	1,5	0,060	2,489	0,258	1,500	1,640	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,020	0,049
SLD orizzontale	1,5	0,074	2,473	0,268	1,500	1,620	1,000	1,500	1,000	0,145	0,434	1,898	0,112	0,276
SLD verticale	1,5	0,074	2,473	0,268	1,500	1,620	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,027	0,068
SLV orizzontale	1,5	0,179	2,427	0,288	1,440	1,580	1,000	1,440	2,250	0,152	0,456	2,315	0,258	0,278
SLV verticale	1,5	0,179	2,427	0,288	1,440	1,580	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000	0,102	0,165
SLC orizzontale	1,5	0,223	2,446	0,299	1,370	1,560	1,000	1,370	2,250	0,155	0,466	2,491	0,305	0,332
SLC verticale	1,5	0,223	2,446	0,299	1,370	1,560	1,000	1,000	1,500	0,050	0,150	1,000	0,142	0,232

Spettro di progetto delle componenti orizzontali



Spettro di progetto delle componenti verticali



Si esegue un'analisi di risposta sismica locale (RSL) di terzo livello di approfondimento in base alle modalità raccomandate dalla Delibera di Giunta Regionale n. 2193/2015 – *"Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica di cui alla deliberazione dell'Assemblea Legislativa n.112 del 02/05/2007"* e della Delibera di Giunta Regionale n. 630/2019 – *"Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49 – L.R. n.24/2017)"* (<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/sismica/>)

- 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 estratto dal sito web del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale www.regione.emilia-romagna.it/geologia/sismica relativo al sito progettuale. Tali accelerogrammi risultano selezionati dalla banca dati accelerometrica "European Strong Motion database" (ISESD) – <http://www.isesd.cv.ic.ac.uk/ESD/>.

I files con i segnali di riferimento normalizzati sono disponibili nel sito web del Servizio geologico, Sismico e dei Suoli dell'Emilia Romagna, tema "Sismica - Microzonazione Sismica". Si tratta di tre files:

- 00046xa.xy (durata traccia: 19,810 s; accelerazione massima: 0,139 g; periodo con accelerazione massima: 2,410 s) [figura n.20];
- 00126xa.xy (durata traccia: 11,985 s; accelerazione massima: 0,154 g; periodo con accelerazione massima: 9,820 s) [figura n.21];
- 000354xa.xy (durata traccia: 32,672 s; accelerazione massima: 0,139 g; periodo con accelerazione massima: 7,650 s) [figura n.22];

Il nome dei files corrisponde al codice identificativo ISESD delle registrazioni accelerometriche. Ogni file contiene due colonne: la prima colonna corrisponde al tempo, espresso in secondi, la seconda contiene il valore di accelerazione normalizzata.

Il moto sismico (periodo di ritorno 712 anni) in termini di accelerogrammi relativi al sito analizzato è ottenuto moltiplicando le accelerazioni normalizzate dei segnali di riferimento (seconda colonna dei files) per il valore di a_{refg} per l'area urbana di Bibbiano ($a_{refg} \approx 0,158$). Si tratta di un gruppo di 3 accelerogrammi normalizzati affinché la loro ampiezza massima assoluta sia unitaria, scalati per il valore di $a_{refg} \approx 0,158$ relativo al sito progettuale ottenuto dalla griglia, con passo 0,05°, disponibile sul sito web del Servizio geologico, Sismico e dei Suoli dell'Emilia Romagna (elaborazione: I.N.G.V.). Si riportano di seguito gli accelerogrammi utilizzati come input, amplificati sulla base della RSL del sito.

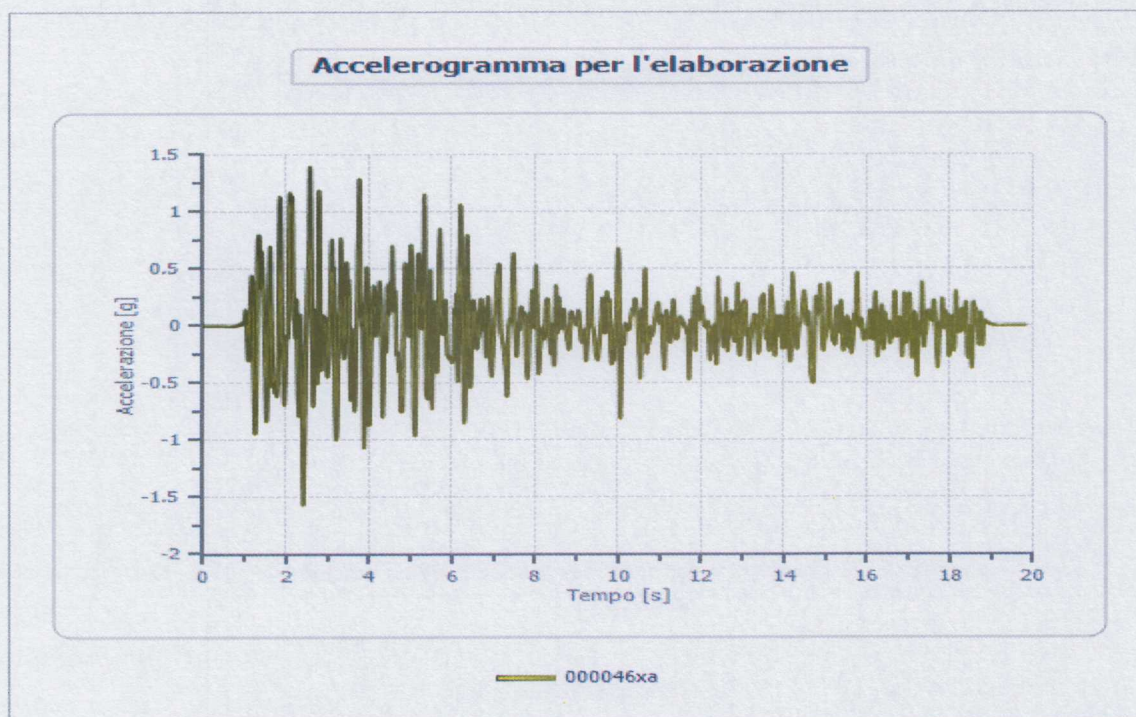


Figura n.20 - 000046xa.xy - Bibbiano

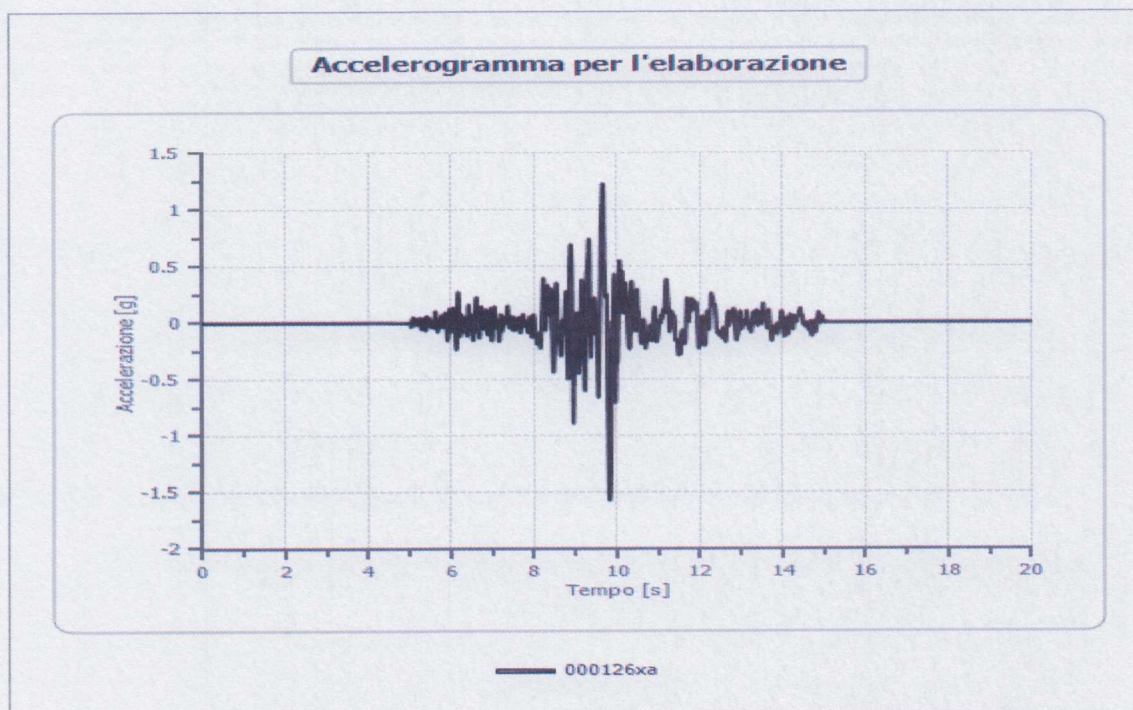


Figura n.21 - 000126xa.xy - Bibbiano

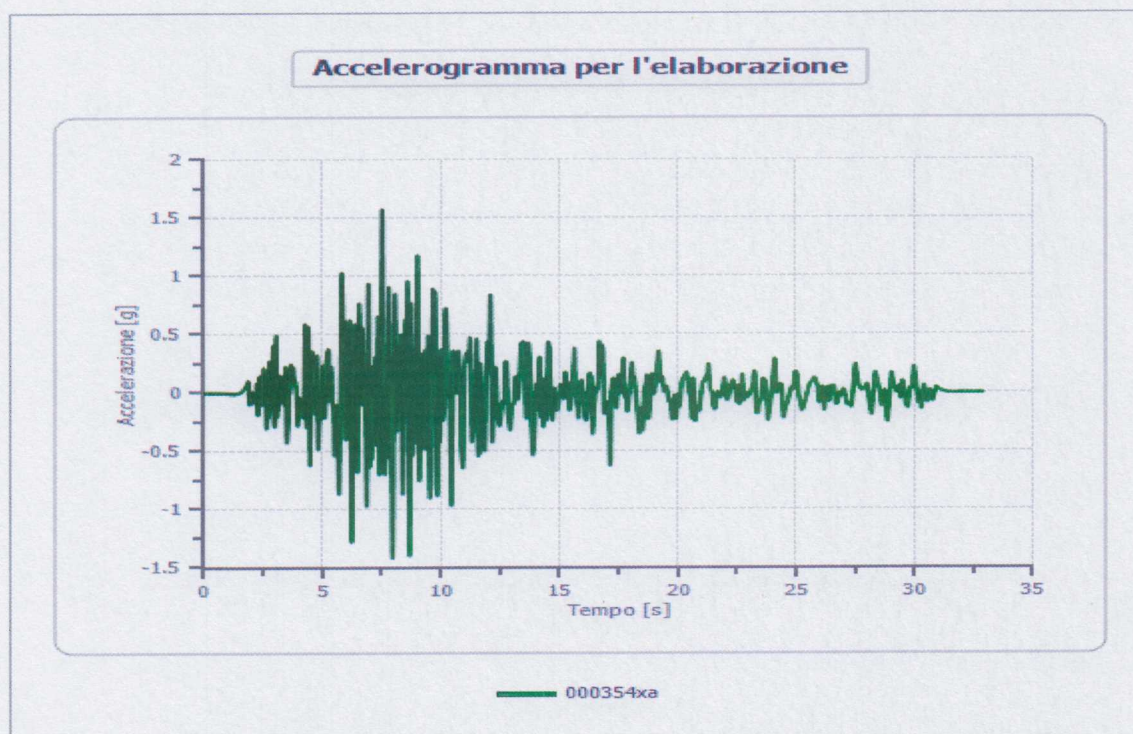


Figura n.22 - 000354xa.xy - Bibbiano

- Modello geosismico del sottosuolo del sito progettuale

Nella tabella n.10 si riporta di seguito il modello sismostratigrafico del terreno dell'area progettuale, utilizzato nella simulazione numerica effettuata per la valutazione delle condizioni di amplificazione locale del moto del suolo nella microzona di progetto. Questo modello è una sintesi dei dati geosismici ottenuti dalle indagini sismiche passive ed attive eseguite in situ.

Sismostrato	Natura terreno	Profondità (m)	Vs (m/s)	γ (kN/m ³)	G/G _{0max} - D/D _{0max} Model
1	Sabbie argillose	0,00 – 1,80	176	20,30	Curve Regione Lombardia Litologia sabbioso-argillosa
2	Ghiaie sabbiose	1,80 – 5,50	369	20,10	Curve Regione Lombardia Litologia ghiaiosa
3	Ghiaie sabbiose	5,50 – 16,90	386	19,51	Curve Regione Lombardia Litologia ghiaiosa
4	Sabbie argillose	16,90 – 24,80	178	21,00	Curve Regione Lombardia Litologia sabbioso-argillosa
5	Ghiaie sabbiose	24,80 – 38,30	413	21,00	Curve Regione Lombardia Litologia ghiaiosa
6	Ghiaie sabbiose	38,30 - 45,00	535	21,47	Curve Regione Lombardia Litologia ghiaiosa

Tabella n.10 Modello geosismico del sottosuolo del sito progettuale di via Don Pasquino Borghi n.14 a Bibbiano (RE).

Grado di attendibilità del Modello sismostratigrafico

Come indicato nel modello geosismico locale del sito progettuale, 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) del modulo di taglio (G/G_0) e del fattore di smorzamento (D/D_0) in funzione del livello di deformazione tangenziale del terreno.

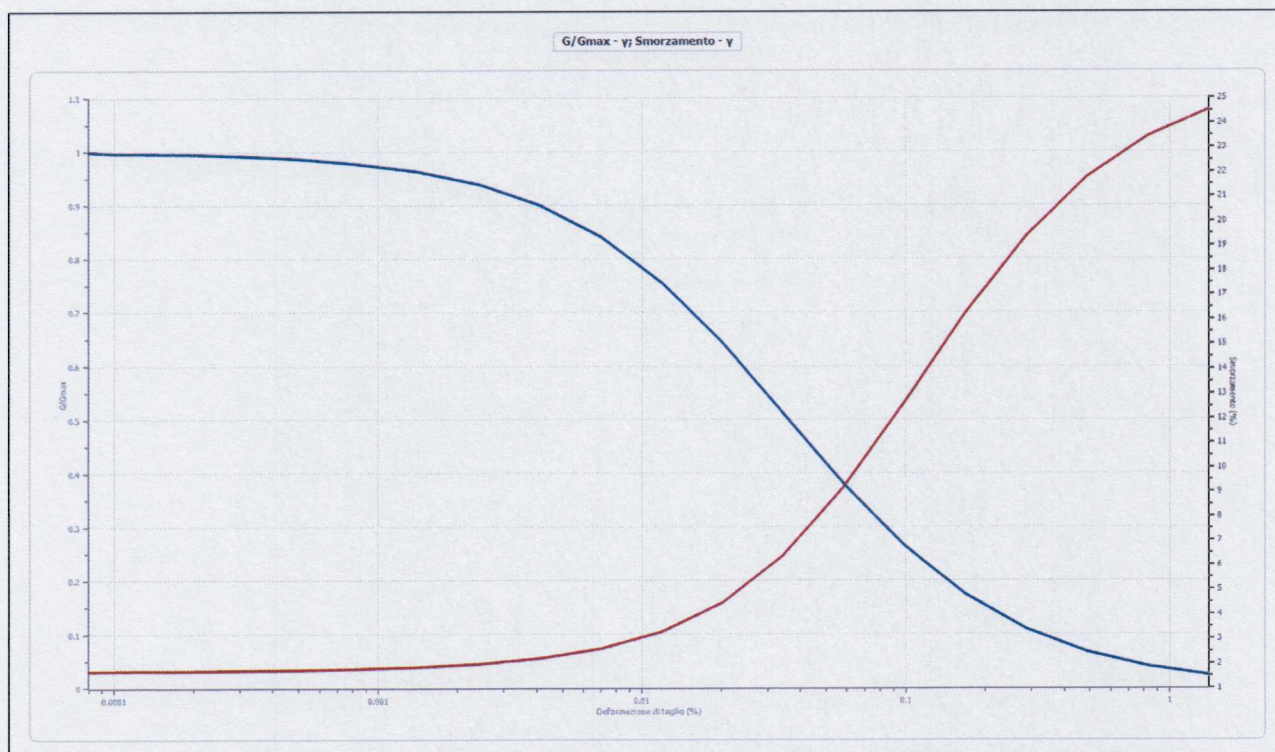


Figura n.23 - Curve di decadimento dei parametri dinamici deformazione e smorzamento (Lombardia - litologia: sabbioso - argillosa).

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.00008	1.000	0.00008	1.665475
0.0001	0.9974	0.0001	1.67745
0.0002	0.995575	0.0002	1.685925
0.0003	0.992475	0.0003	1.700375
0.0005	0.9872	0.0005	1.725175
0.0008	0.978325	0.0008	1.767775
0.0014	0.963575	0.0014	1.841375
0.0024	0.939225	0.0024	1.96895
0.0041	0.900325	0.0041	2.191675
0.007	0.8407	0.007	2.583075
0.0119	0.755075	0.0119	3.270475
0.0202	0.64305	0.0202	4.454025
0.0343	0.512875	0.0343	6.375775
0.0583	0.381	0.0583	9.167875
0.099	0.2647	0.099	12.63128
0.1684	0.173975	0.1684	16.22277
0.2862	0.109725	0.2862	19.36967
0.4866	0.0673	0.4866	21.77518
0.8272	0.040525	0.8272	23.44093
1.4063	0.024175	1.4063	24.52093

Tabella n.11 - Valori dei parametri dinamici deformazione e smorzamento (Lombardia - litologia: sabbioso - argillosa).

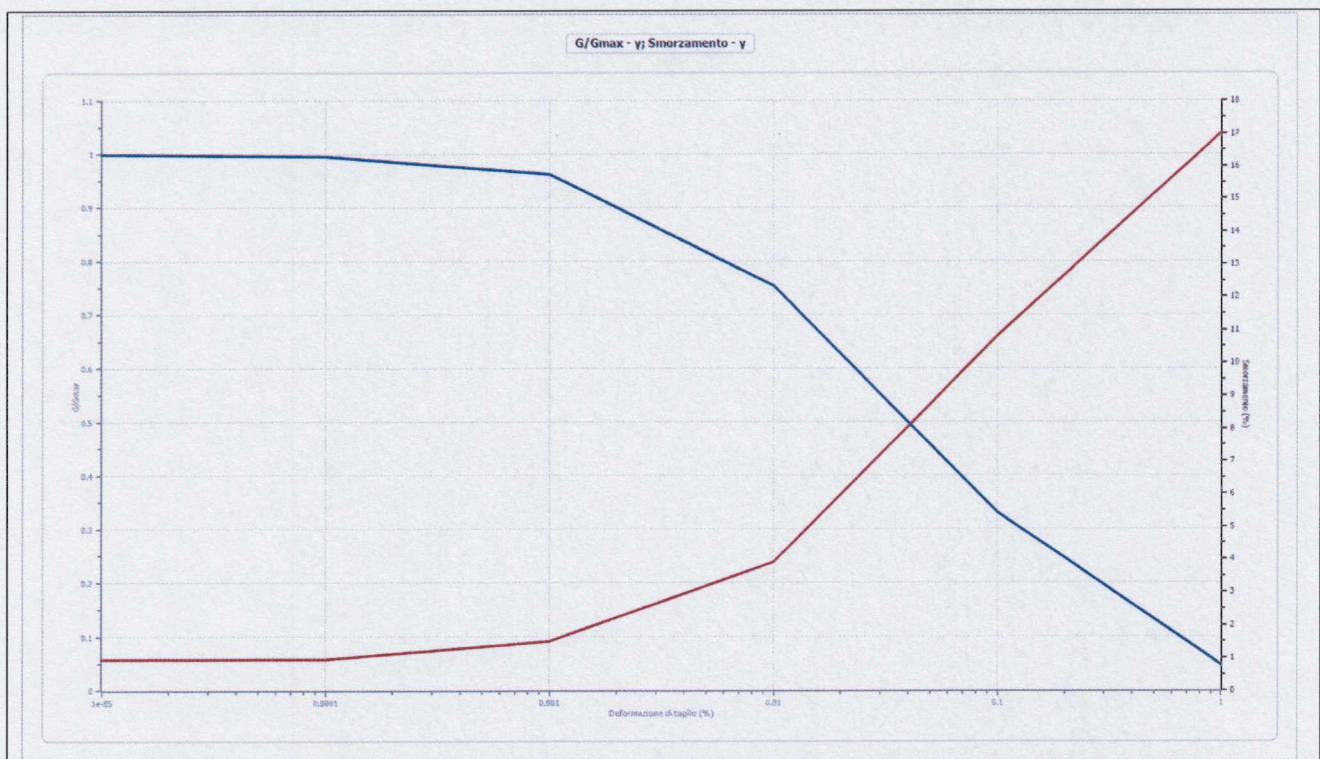


Figura n.24 - Curve di decadimento dei parametri dinamici deformazione e smorzamento (Lombardia - litologia: ghiaiosa).

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.00001	1.000	0.00001	0.9488
0.0001	0.996	0.0001	0.9488
0.001	0.9624	0.001	1.4981
0.010	0.754	0.010	3.8938
0.100	0.3311	0.100	10.7935
1.000	0.0476	1.000	17.0087

Tabella n.12 - Valori dei parametri dinamici deformazione e smorzamento (Lombardia - litologia: ghiaiosa).

- 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 RSL.

In particolare, nel paragrafo *"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 - per studi di MS normalmente assunto pari a 475 anni) con il corrispondente spettro di risposta elastico assegnato dall'approccio semplificato di NTC2018 (nel caso specifico - sottosuolo di tipo C).

Lo spettro di risposta elastico calcolato tramite simulazione numerica verrà "normalizzato" (secondo le indicazioni fornite dal Gruppo di lavoro della MS, 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).

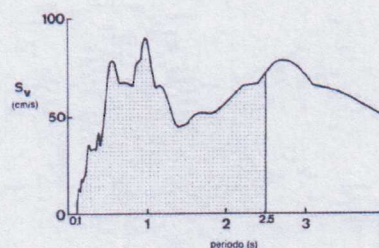
Il confronto sarà eseguito in termini di valori spettrali e si riterrà accettabile lo spettro proposto da NTC2018 qualora lo spettro calcolato presenti differenze inferiori al 10% (Supplemento alla rivista *"Ingegneria sismica"* – anno XXVIII – n. 2 – 2011 - Colombi A., Compagnoni M. e Pergalani F. - *"Risposta sismica locale: La MS come strumento discriminante per l'utilizzo di approcci semplificati o di specifiche analisi per la progettazione"*).

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_{maxr}) e la massima ampiezza dell'accelerazione alla superficie del deposito (a_{maxs}) 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 due diversi intervalli di periodo ($T = 0,1-0,5$ s e $T = 0,5-1,0$ s).

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



- FA = (fattore di amplificazione per gli effetti stratigrafici a basso periodo determinato intorno al periodo proprio $TA - TA_i$ per l'input e TA_o 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.

$$SA_m = \frac{1}{TA} \int_{0.5 \cdot TA}^{1.5 \cdot TA} SA(T) dT$$

$$FA = SA_{m0} / SA_{mi}$$

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

$$SV_m = \frac{1}{0.4 \cdot TV} \int_{0.8 \cdot TV}^{1.2 \cdot TV} SV(T) dT$$

$$FA = SV_{m0} / SV_{mi}$$

- Analisi dei risultati

Si riporta di seguito (figura n.25) lo spettro elastico desunto tramite le simulazioni numeriche effettuate sul modello sismostratigrafico riportato nella tabella n.10, i parametri degli spettri di normativa rispettivamente per terreni di categoria sismica

A e C (tabella n.14) e i parametri dello spettro normalizzato per come calcolato secondo le simulazioni numeriche dell'algoritmo di calcolo SHAKE – 1991 (tabella n.13). Nella tabella n.15 sono riportati, invece, i fattori di amplificazione (ICMS 2008) del sito progettuale.

Il valore di accelerazione orizzontale massima di ancoraggio dello spettro di risposta elastico, mediante analisi con terzo livello di approfondimento è pari ad $a_{max} = PGA = 0,205g$ considerando che $a_g = 0,137g$ (tabella n.13) valido per il sito progettuale di via Don Pasquino Borghi n.14 a Bibbiano (RE) è stato moltiplicato per un fattore di amplificazione pari a $FA_{(PGA/PGA0)} = 1,5$ per come determinato dal presente studio (tabella n.15).

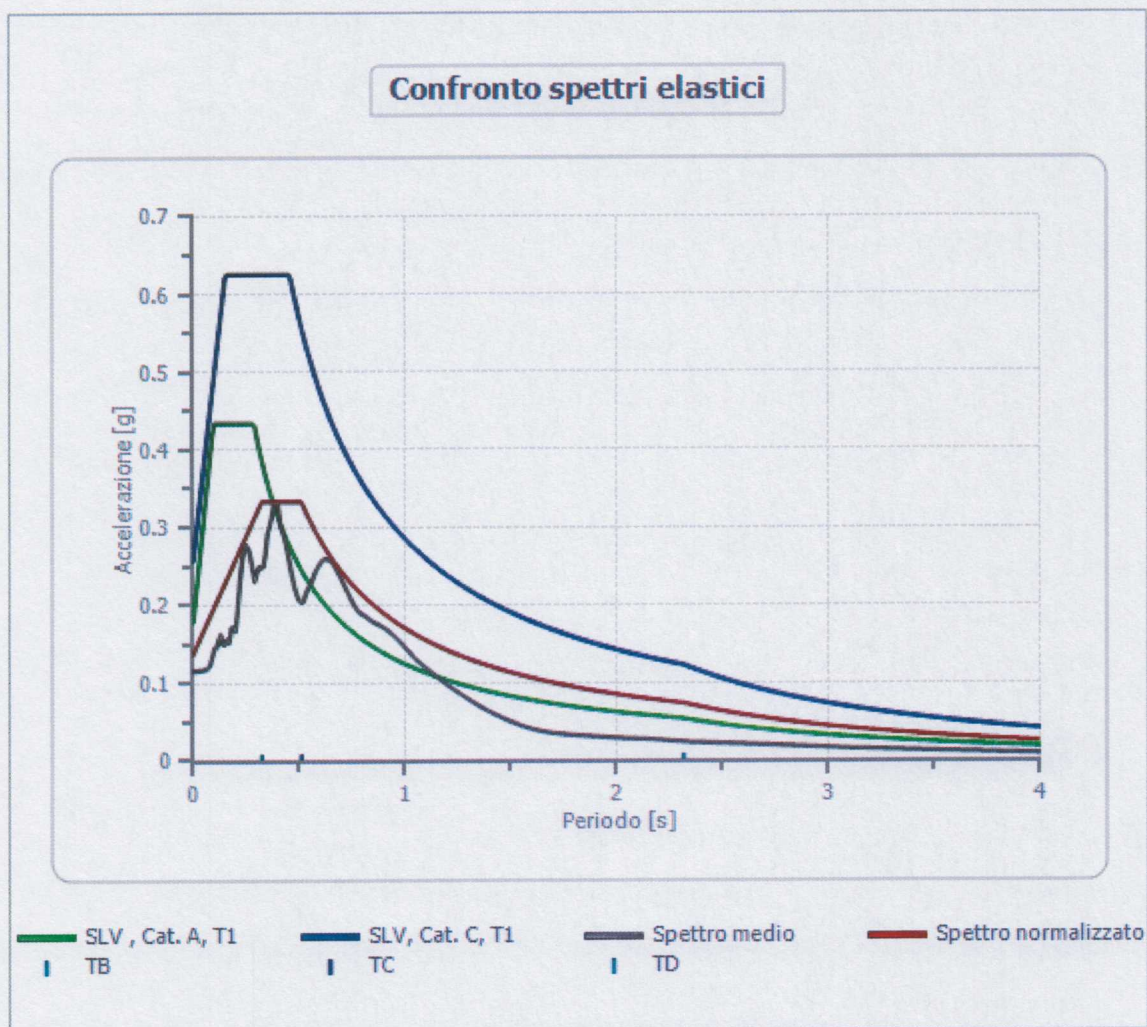


Figura n.25 - Spettro elastico in superficie del sito progettuale di via Don Pasquino Borghi n.14 a Bibbiano (RE).

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
0.137	2.427	0.511	0.324	0.511	2.316	0.137	0.333

Tabella n.13 Parametri dello spettro normalizzato riportato in figura n.25.

	Operatività SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvaguardia vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A	Operatività SLO Cat. C	Danno SLD Cat. C	Salvaguardia vita SLV Cat. C	Prev. collasso SLC Cat. C
Tr [anni]	45	75	712	1462	45	75	712	1462
ag [g]	0.060	0.074	0.179	0.223	0.060	0.074	0.179	0.223
Fo	2.489	2.473	2.427	2.446	2.489	2.473	2.427	2.446
Tc* [s]	0.258	0.268	0.288	0.299	0.258	0.268	0.288	0.299
Ss	1.00	1.00	1.00	1.00	1.50	1.50	1.44	1.37
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	1.64	1.62	1.58	1.56
TB [s]	0.086	0.089	0.096	0.100	0.141	0.145	0.152	0.156
TC [s]	0.258	0.268	0.288	0.299	0.424	0.435	0.456	0.468
TD [s]	1.840	1.896	2.316	2.492	1.840	1.896	2.316	2.492
Se(0) [g]	0.060	0.074	0.179	0.223	0.090	0.111	0.258	0.306
Se(TB) [g]	0.149	0.183	0.434	0.545	0.224	0.275	0.625	0.749

Tabella n.14 Parametri degli spettri di normativa rispettivamente per terreni di categoria sismica A e C.

FATTORI DI AMPLIFICAZIONE					
FA _(PGA/PGA0)	FH _(0.1-0.5 s)	FH _(0.5-1.0 s)	FA	FV	Informazioni sulla zona stabile suscettibile di amplificazioni locali
1,5	1,7	2,3	2,1	2,6	Margine di tipo A: "settore di transizione tra la zona collinare (Appennino) e la Pianura caratterizzato da spessore dei terreni fini (sabbie, limi, argille) sovrastanti gli orizzonti grossolani (ghiaie, sabbie ghiaiose, ghiaie sabbiose) inferiore ai 30,00 m; gli strati grossolani sovrastano direttamente il substrato geologico (bedrock sismico locale con una velocità delle onde di taglio $V_s \approx 450 \text{ m/s} \div 500 \text{ m/s}$). Frequenza di risonanza del terreno $f \approx 7,3 \div 9,2$ Hertz. Spettri di risposta elastici da determinare tramite analisi di terzo livello di approfondimento.

Tabella n.15 Fattori di amplificazione del sito progettuale di Don Pasquino Borghi n.14 a Bibbiano (RE).

Effetti di amplificazione topografica

Le caratteristiche morfologiche dell'area oggetto di studio (superficie pianeggiante con inclinazione media minore di 15°) fanno sì che la stessa sia assimilabile alla categoria topografica T1 (coefficiente di amplificazione topografica $S_T = 1,0$).

Risultati

Al fine di discriminare, per la fase esecutiva degli interventi, tra l'utilizzo degli spettri derivanti dall'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 determinato livello di pericolosità sismica (712 anni - Classe III - Vita nominale = 50) con il corrispondente spettro di risposta elastico assegnato dall'approccio semplificato di NTC2018 (figura n.25).

In particolare l'analisi effettuata evidenzia che l'ordinata spettrale di normativa risulta superiore rispetto 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 712 anni - Classe III - Vita nominale = 50), l'utilizzo dello spettro desumibile da analisi semplificate secondo quanto indicato dalle NTC2018.

VALUTAZIONE RISCHIO LIQUEFAZIONE E DELLA STABILITA' DEI FRONTI DI SCAVO

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'innescare 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 mai manifestati o segnalati fenomeni di liquefazione. Tuttavia si procede ad una valutazione della suscettività alla liquefazione del primo sottosuolo con il *criterio empirico modificato di Youd e Perkins (1978)*. Esso basa la valutazione della propensione alla liquefazione dei depositi su alcune caratteristiche geologiche e stratigrafiche dei terreni. 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.16:

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

Tabella n.16

Dati generali

Numero di strati = 3

Profondità della falda = non rilevata, comunque segnalata tra i -15,00 m ed i -20,00 m dalla quota del piano campagna.

Strato Nr.	Descrizione (-)	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Indice di plasticità (%)
1	Sabbie argillose consistenti	0,00	1,90	22
2	Sabbie argillose moderatamente consistenti	1,90	4,60	20
3	Ghiaie sabbiose molto addensate in matrice sabbioso - argillosa	4,60	15,00	13

Tabella n.17

Risultati

Verifica Nr.	Tipo di deposito sedimentario	Prof. della falda (m)	Età del deposito	Punteggio	Suscettibilità alla liquefazione
1	Deposito di terrazzo fluviale del torrente Enza	tra i -15,00 m ed i -20,00 m dalla quota del p.c.	Pleistocene superiore - Olocene	3	Molto bassa

Tabella n.18

Il grado di suscettibilità alla liquefazione del terreno sotto sisma è da ritenersi *molto basso* per i seguenti motivi:

1. La frazione argillosa degli strati n.1 e n.2 di terreno è non trascurabile rispetto alle altre frazioni granulometriche;
2. Il primo livello della falda acquifera non è superficiale è comunque segnalato tra i -15,00 m ed i -20,00 m dalla quota del piano campagna;

3. La frazione sabbiosa e ghiaiosa dello strato n.3 del terreno è preponderante;
4. I valori delle resistenze penetrometriche sono molto elevati;

Valutazione della stabilità dei fronti di scavo

Gli interventi di progetto potranno prevedere un'eventuale scavo di fondazione pertanto è necessario eseguire una valutazione dell'altezza critica H^*_c dello scavo che si andrà ad eseguire in relazione alla stabilità delle pareti dello scavo stesso.

Considerando che le pareti delle trincee di fondazione sono subverticali, al fine di evitare il franamento del fronte di scavo e l'inagibilità del piano di posa delle fondazioni per eventuali allagamenti (dovuti principalmente ad acque dilavanti superficiali e/o di battente) si raccomanda la messa a punto di idonee opere di drenaggio (canali drenanti, fossi di guardia e/o pozzi drenanti); queste saranno collegate in modo da conferire nella rete di scolo dei fossi vicini e/o nella rete di raccolta delle acque bianche. Si raccomanda inoltre di contenere le pareti di scavo con strutture di sostegno in legno formate da tavole, travetti e puntelli oppure con paratie controventate con travi metalliche.

L'adozione delle suddette opere di presidio e di sicurezza è giustificata dalle seguenti considerazioni oggettive:

1. La presenza, nei primi metri di terreno, di litologie prevalentemente argillose che, imbibendosi di acque meteoriche e/o di risalita capillare, potrebbero dar luogo a fenomeni di rigonfiamento dei fronti di scavo influenzandone negativamente la stabilità d'insieme;
2. Il detensionamento del terreno prodotto dallo scavo di fondazione induce nel terreno stesso delle fessurazioni per cui l'acqua drena più facilmente. Tutto ciò comporta la perdita di una certa aliquota della coesione (quella apparente dovuta appunto all'acqua) e quindi della resistenza stessa delle pareti di scavo;
3. La durata dei lavori implica che gli scavi possano rimanere aperti per un certo periodo di tempo, ciò si traduce in un'ulteriore perdita di resistenza da parte delle pareti dello scavo in quanto si passerebbe da condizioni non drenate, a breve termine, a condizioni drenate a lungo termine;

In relazione ai fronti di scavo il D.M. 17/01/2018 riporta al paragrafo 6.8.6.2 (IV comma): *Per scavi in trincea a fronte verticale di altezza superiore ai 2 m, nei quali sia prevista la permanenza di operai, e per scavi che ricadano in prossimità di manufatti esistenti, deve essere prevista una armatura di sostegno delle pareti di scavo.*

RISCHIO IDRAULICO

L'area in studio non rientra nelle *aree a rischio idrogeologico molto elevato*, non rappresenta un *nodo di criticità idraulica* né tantomeno rientra nelle *aree storicamente inondate dal 1936 al 2006* secondo le cartografie specialistiche del P.T.C.P. di Reggio Emilia. Per quanto riguarda il deflusso delle acque superficiali, il sito progettuale ricade in *aree storicamente inondate* (carta delle criticità in scala 1:10.000 - Quadro conoscitivo - Tavola A23 - PSC Bibbiano - 2013 - figura n.7) pertanto insisterà sull'area una certa probabilità di rischio idraulico. Inoltre è da segnalare che l'area della Scuola secondaria di primo grado è delimitata ad Est da un tratto tombato del Rio Enzola (figura n.6) e, più in generale, che la zona risulta drenata da una rete scolante naturale e/o artificiale, avente andamento e sviluppo a maglia poligonale; alquanto gerarchizzata, che recapita nei cavi e nei canali di ordine superiore del territorio comunale.

L'area ricade nell'ambito territoriale del reticolo idrografico naturale secondario di alta pianura; con riferimento al 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 Sud Est "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) - strutture strategiche e sedi di attività collettive*" (figura n.26). In relazione, invece, alla classificazione riportata nella Carta del Rischio Potenziale del PGRA (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 di eventi alluvionali” relativamente al reticolo idrografico naturale secondario di alta pianura (figura n.27).



Figura n.26 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). Ambito territoriale: reticolo idrografico naturale secondario di alta pianura.



Figura n.27 Mappa del Rischio Potenziale - Foglio 200 Sud Est “Reggio Nell’Emilia Sud” (PGRA da Autorità di Bacino del fiume Po del 03/03/2016). Ambito territoriale: reticolo idrografico naturale secondario di alta pianura.

Affinché si riduca al massimo la possibilità del rischio idraulico si ritiene quindi opportuno e necessario tenere conto delle seguenti prescrizioni:

- Risagomatura e approfondimento della rete dei fossi e dei canali di scolo di vario ordine che drenano l’area;
- Manutenzione e pulizia periodica della rete di drenaggio 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 corsi d'acqua artificiali con un franco libero del pelo dell'acqua di almeno 1,5 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.

SUBSIDENZA

I fenomeni relativi alla subsidenza, nell'ambito del territorio comunale, sono essenzialmente ascrivibili a quelli naturali delle aree planiziali come quella in studio.

Emungimenti idrici da pozzi, in disequilibrio con le potenzialità idrogeologiche degli acquiferi sotterranei, possono determinare processi di subsidenza differenziata, localizzata al cono d'influenza del pozzo stesso. I raggi di azione dei pozzi si fanno risentire, con effetti non trascurabili, per raggi compresi tra i 10,00 m ed i 30,00 m dall'opera di captazione; nell'area di base di detti coni d'influenza gli abbassamenti del suolo sono, in regime transitorio, dell'ordine dei circa 3 cm.

In linea più generale gli abbassamenti del terreno, per subsidenza naturale (costipamento dei sedimenti per peso proprio, variazioni di salinità delle acque sotterranee) e/o per subsidenza indotta dall'attività umana (estrazioni di acque di falda, prosciugamenti e bonifiche, variazioni di carichi) nell'alta pianura reggiana hanno velocità di movimento verticale inferiore ai 2,5 mm/anno (sono pressoché trascurabili).

CHIMISMO ACQUE DI SATURAZIONE DEL SOTTOSUOLO

Per l'area del territorio comunale di Bibbiano, da studi precedenti eseguiti, sono stati rilevati i seguenti parametri chimico-fisici delle acque di falda:

- Conducibilità elettrica specifica (indicativa della capacità degli ioni in soluzione di trasportare cariche elettriche - espressa in $\mu\text{S}/\text{cm}$ cioè microSiemens/centimetro): $\rho = 1435 \div 1635 \mu\text{S}/\text{cm}$;
- Durezza (indicativa della concentrazione degli ioni Calcio e Magnesio - espressa in °F cioè in gradi francesi - $1^\circ\text{F} = 10 \text{ mg/l}$ di CaCO_3): $D = 46^\circ\text{F} \div 57^\circ\text{F}$;
- Temperatura (espressa in gradi centigradi): $T = 7^\circ\text{C} \div 8^\circ\text{C}$;
- PH (indicativo della concentrazione idrogenionica - $\text{PH} > 7$ basico - $\text{PH} < 7$ acido): $\text{PH} = 7,3 \div 7,5$;

Va posta poi particolare attenzione anche alla composizione chimico-fisica delle 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.19).

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/l nel terreno
Debole	200 – 600	2000 – 3000
Moderato	600 – 3000	3000 – 12000
Forte	> 3000	> 12000

Tabella n.19 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).

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 (^{222}Rn) 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, dei tubi di drenaggio e/o la posa di fogli o 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.20 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.20

CONCLUSIONI

Il primo sottosuolo di via Don Pasquino Borghi n.14 dove è ubicata la scuola secondaria di primo grado “Dante Alighieri”, nell’area urbana del Comune di Bibbiano (RE), è formato da un deposito di limi argillosi e/o di sabbie argillose, piuttosto consistenti, appartenenti all’Unità di Niviano (AES7a) riferibile al Pleistocene superiore; questo strato presenta uno spessore di circa 4,50 m e giace su di uno strato basale di ghiaie sabbiose e/o di sabbie ghiaiose, molto addensate, in matrice sabbioso argillosa. Tali Unità costituiscono l’ossatura del terrazzo alto di Bibbiano - Barco.

Il grado di consistenza e/o addensamento del terreno aumenta generalmente con la profondità, in funzione anche dell’aumento della pressione geostatica efficace; si tratta di terreni da normalconsolidati a leggermente sovraconsolidati con la profondità.

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

Caratterizzazione geotecnica del primo sottosuolo (parametri nominali):

- -0,00 m ÷ -1,90 m dal p.c. = limi argillosi e/o sabbie argillose, consistenti, peso di volume naturale $\gamma_n = 19,30 \text{ kN/m}^3$, coesione non drenata $C_u = 75 \text{ kPa}$, angolo di resistenza al taglio drenato $\phi = 22^\circ$, coesione drenata $C' = 15 \text{ kPa}$, modulo di Young $E' = 8.585 \text{ kPa}$, modulo di deformazione non drenato $E_u = 7.558 \text{ kPa}$, modulo di taglio $G = 11.465 \text{ kPa}$, coefficiente di poisson $\nu = 0,22$; [STRATO N.1]
- -1,90 m ÷ -4,60 m dal p.c. = limi argillosi e/o sabbie argillose, moderatamente consistenti, peso di volume naturale $\gamma_n = 19,00 \text{ kN/m}^3$, coesione non drenata $C_u = 60 \text{ kPa}$, angolo di resistenza al taglio drenato $\phi = 20^\circ$, coesione drenata $C' = 15 \text{ kPa}$, modulo di Young $E' = 7.818 \text{ kPa}$, modulo di deformazione non drenato $E_u = 6.558 \text{ kPa}$, modulo di taglio $G = 10.646 \text{ kPa}$, coefficiente di poisson $\nu = 0,22$; [STRATO N.2]
- -4,60 m ÷ -15,00 m dal p.c. = sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose, in matrice sabbioso argillosa, molto addensate, peso di volume naturale $\gamma_n = 20,00 \text{ kN/m}^3$, coesione non drenata $C_u = 70 \text{ kPa}$, angolo di resistenza al taglio drenato $\phi' = 35^\circ$, coesione drenata $C' = 22 \text{ kPa}$, modulo di deformazione non drenato $E_u = 10.341 \text{ kPa}$, modulo di deformazione drenato $E' = 12.775 \text{ kPa}$, coefficiente di poisson $\nu = 0,35$, modulo di taglio statico $G = 14.308 \text{ kPa}$; [STRATO N.3]

Parametri di resistenza non drenati caratteristici del sottosuolo (condizioni a breve termine - angolo di resistenza al taglio non drenato $\phi_u = 0^\circ$):

- -0,00 m ÷ -1,90 m dal p.c. = limi argillosi e/o sabbie argillose, consistenti, peso di volume naturale $\gamma_{nk} = 19,30 \text{ kN/m}^3$, coesione non drenata $C_{uk} = 66 \text{ kPa}$, modulo di deformazione non drenato $E_{uk} = 6.750 \text{ kPa}$, modulo di taglio $G_k = 10.405 \text{ kPa}$, coefficiente di poisson $\nu_k = 0,22$; [STRATO N.1]
- -1,90 m ÷ -4,60 m dal p.c. = limi argillosi e/o sabbie argillose, moderatamente consistenti, peso di volume naturale $\gamma_{nk} = 19,00 \text{ kN/m}^3$, coesione non drenata $C_{uk} = 56 \text{ kPa}$, modulo di deformazione non drenato $E_{uk} = 6.125 \text{ kPa}$, modulo di taglio $G_k = 9.905 \text{ kPa}$, coefficiente di poisson $\nu_k = 0,22$; [STRATO N.2]
- -4,60 m ÷ -15,00 m dal p.c. = sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose, in matrice sabbioso argillosa, molto addensate, peso di volume naturale $\gamma_{nk} = 20,00 \text{ kN/m}^3$, coesione non drenata $C_{uk} = 60 \text{ kPa}$, modulo di deformazione non drenato $E_{uk} = 8.645 \text{ kPa}$, coefficiente di poisson $\nu_k = 0,35$, modulo di taglio statico $G_k = 12.095 \text{ kPa}$; [STRATO N.3]

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

- -0,00 m ÷ -1,90 m dal p.c. = limi argillosi e/o sabbie argillose, consistenti, peso di volume naturale $\gamma_{ntk} = 19,30 \text{ kN/m}^3$, angolo di resistenza al taglio drenato $\phi'_k = 20^\circ$, coesione drenata $C'_k = 12 \text{ kPa}$, modulo di Young $E'_k = 8.025 \text{ kPa}$; [STRATO N.1]
- -1,90 m ÷ -4,60 m dal p.c. = limi argillosi e/o sabbie argillose, moderatamente consistenti, peso di volume naturale $\gamma_{ntk} = 19,00 \text{ kN/m}^3$, angolo di resistenza al taglio drenato $\phi'_k = 19^\circ$, coesione drenata $C'_k = 12 \text{ kPa}$, modulo di Young $E'_k = 7.450 \text{ kPa}$; [STRATO N.2]

- -4,60 m ÷ -15,00 m dal p.c. = sabbie ghiaiose e/o ghiaie sabbiose, in matrice sabbioso argillosa, molto addensate, peso di volume naturale $\gamma_{nk} = 20,00 \text{ kN/m}^3$, angolo di resistenza al taglio drenato $\phi'_k = 33^\circ$, coesione drenata $C'_k = 18 \text{ kPa}$, modulo di deformazione drenato $E'_k = 10.525 \text{ kPa}$; [STRATO N.3]

Durante l'esecuzione delle penetrometrie, nei fori di sondaggio, non è stata rilevata alcuna presenza idrica (le carte specialistiche del P.S.C. segnalano infatti una soggiacenza minima della falda acquifera superficiale a profondità variabili tra i -15,00 m ed i -20,00 m dalla superficie del piano di campagna).

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 nascoste, di fratturazioni beanti e di lineamenti tettonici su scala locale.

In relazione al piano d'incastro di eventuali 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 la profondità di eventuali opere di fondazione e/o sottofondazione, considerate la tipologia e le dimensioni delle strutture progettuali, dovrà essere posta ad almeno -1,60 m (meno un metro e sessanta centimetri) dalla quota del piano campagna (coincidente con la quota del piano dell'area cortiliva).

La resistenza del terreno, ricavato dall'elaborazione delle prove penetrometriche dinamiche, è pari a $q_{amm} = 1,000 \text{ kg/cm}^2$.

Al fine di allontanare le acque (dilavanti superficiali, di battente e/o d'infiltrazione in genere) dagli scavi di fondazione occorre predisporre le opportune opere di drenaggio tramite 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 dei fossi vicini e/o nella rete di raccolta delle acque bianche.

È fondamentale contenere le pareti di scavo con strutture di sostegno in legno formate da tavole, travetti e puntelli oppure con paratie controventate con travi metalliche soprattutto per quegli scavi in prossimità di altri edifici insistenti nell'area.

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 e/o nella rete di raccolta delle acque bianche. 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 superficiali.

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. 14/01/2008, ricade nella categoria C. Il fattore di amplificazione stratigrafica corrispondente alla categoria di suolo C rientra nel seguente intervallo di valori: $1,00 < S_s < 1,50$. Il fattore di amplificazione topografica risulta essere $St = 1,0$.

La frequenza fondamentale propria di vibrazione del sottosuolo è risultata essere dell'ordine $f \approx 7,3 \text{ Hertz} \div 9,2 \text{ Hertz}$.

Si ritiene accettabile, in fase esecutiva (per tempi di riferimento per l'azione sismica di 712 anni - Classe III - Vita nominale = 50), l'utilizzo dello spettro di risposta desumibile dall'analisi semplificate secondo quanto indicato dalle NTC2018.

Si riportano i valori di accelerazione orizzontale massima di ancoraggio dello spettro di risposta elastico, secondo le varie normative intervenute nel tempo, per il sito progettuale ricadente nel territorio comunale di Bibbiano (RE):

$a_{max} = 0,150g$ (zona sismica 3 secondo l'O.P.C.M. n.3274 del 20/03/2003).

$a_{max} = S_s \times St \times a_g = 1,43 \times 1,0 \times 0,182 \approx 0,260g$ (analisi semplificata secondo il D.M. 17/01/2018).

$a_{max} = S_s \times St \times a_g = 1,50 \times 1,0 \times 0,156 \approx 0,234g$ (Allegato A4 del D.A.R.E.R. n.112/2007 - figura n.10 - Barani D. - 2013).

$a_{max} = S_s \times St \times a_g = 1,60 \times 1,0 \times 0,158 \approx 0,253g$ (microzonazione sismica di secondo livello stimata con gli abachi del D.G.R.E.R. n.2193 del 21/12/2015).

$a_{max} = S_s \times St \times a_g = 1,50 \times 1,0 \times 0,137 \approx 0,205g$ (microzonazione sismica di terzo livello eseguita ai sensi del D.G.R.E.R. n.2193 del 21/12/2015).

La probabilità che si verifichino fenomeni di liquefazione nel sottosuolo sotto un sisma è da ritenersi molto bassa cioè prossima a zero.

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 progettuale risulta essere compatibile con le risultanze determinate da questo studio.

Bibbiano (RE) giugno 2019



ANTONIO INFANTE

CN = INFANTE ANTONIO
O = Ordine dei Geologi
Regione Emilia-Romagna
C = IT

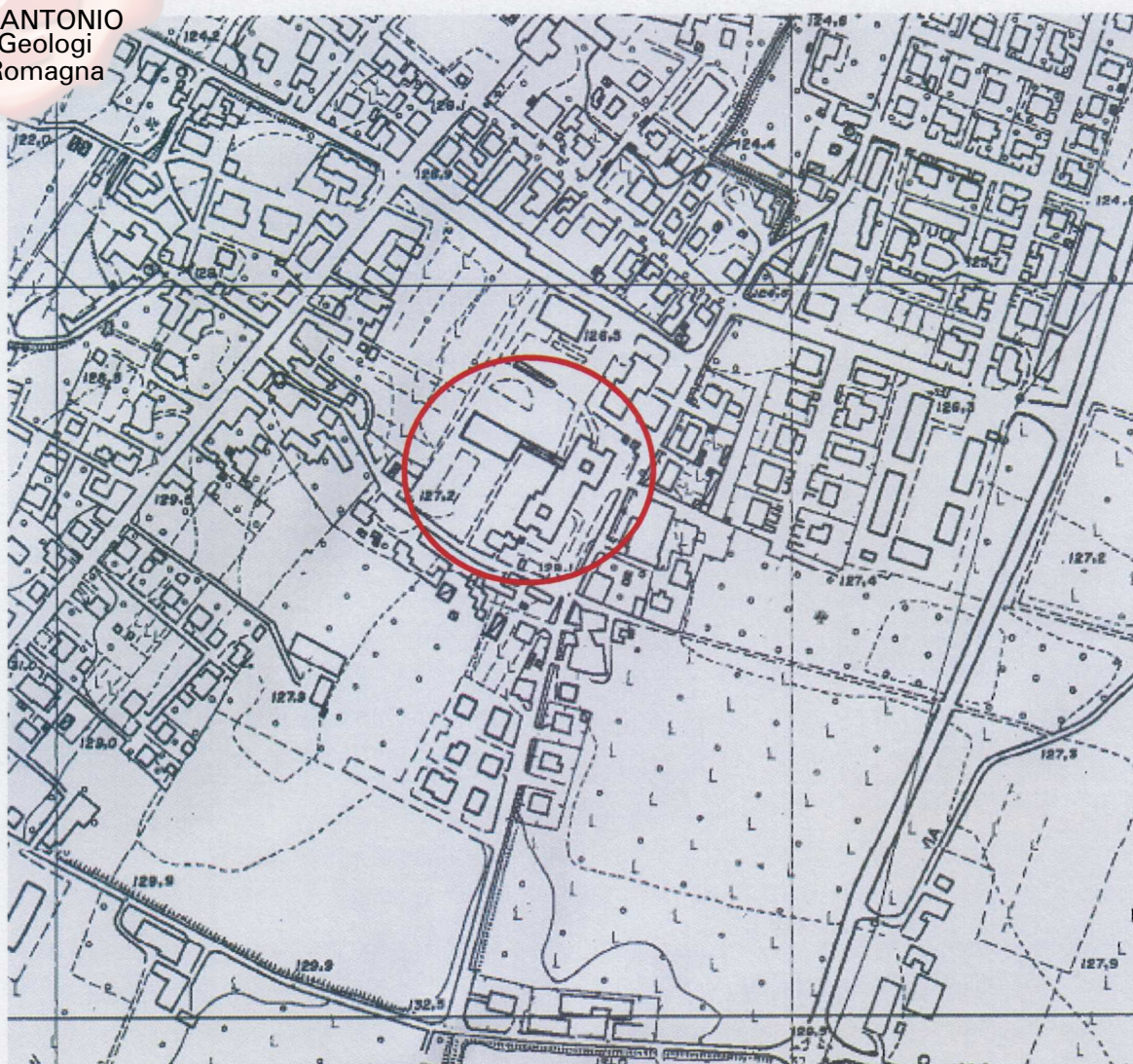


Figura n.1 Regione: Emilia Romagna - Provincia: Reggio Emilia.

Comune: Bibbiano - Via: D. P. Borghi n.14.

Latitudine: 44°39'39" Nord - Longitudine: 10°28'24" Est - Quota altimetrica: 127 m s.l.m.

Carta tecnica regionale in scala 1: 5.000 - Elemento n.200102 "Bibbiano".

Ubicazione dell'area di interesse.

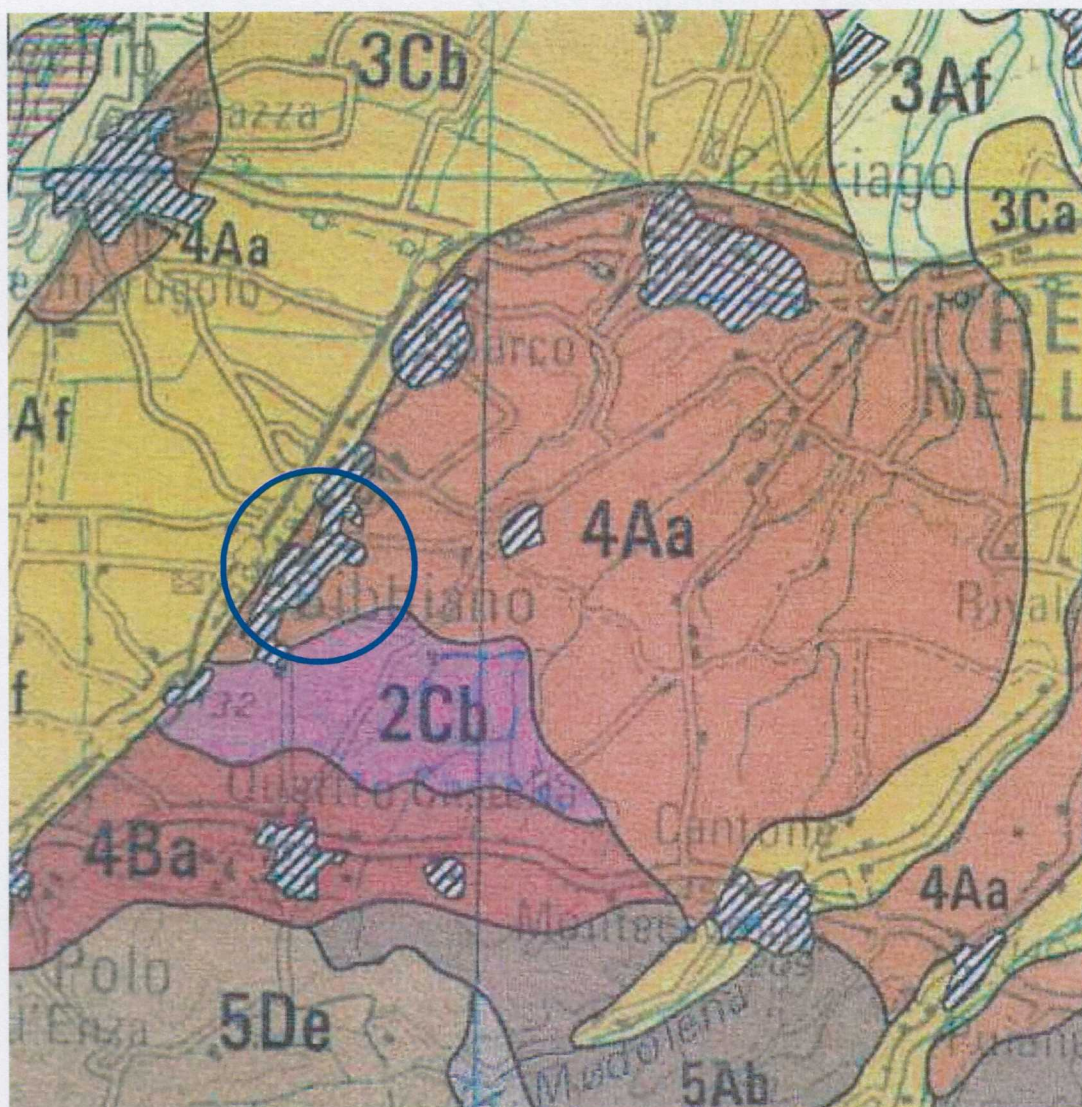


Figura n.2 Regione: Emilia Romagna - Provincia: Reggio Emilia.

Comune: Bibbiano - Via: D. P. Borghi n.14.

Latitudine: 44°39'39" Nord - Longitudine: 10°28'24" Est - Quota altimetrica: 127 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% a 3%; molto profondo; a tessitura sabbiosa o tendenzialmente argillosa in profondità; a moderata disponibilità di ossigeno; non calcareo; moderatamente alcalino. Localmente è a tessitura sabbioso - ghiaiosa oltre il metro di profondità. Si è formato in sedimenti fluviali a tessitura sabbiosa; rientra negli *Haplic Luvisols* e nei *Ferric Luvisols* secondo la legenda FAO. L'uso attuale è prevalentemente di tipo agricolo: vigneti e frutteti.

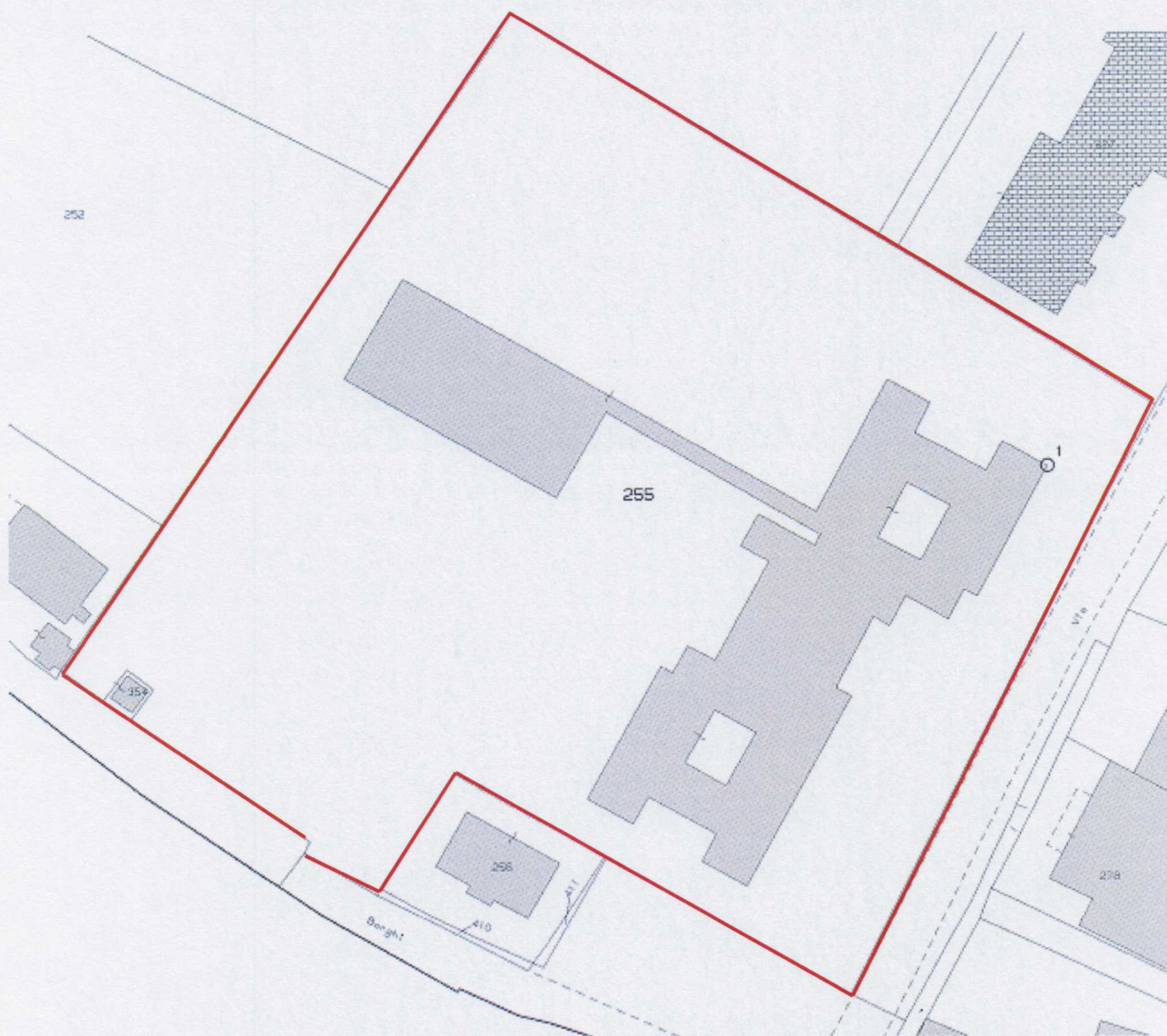


Figura n.3 Regione: Emilia Romagna - Provincia: Reggio Emilia.

Comune: Bibbiano - Via: D. P. Borghi n.14.

Latitudine: 44°39'39" Nord - Longitudine: 10°28'24" Est - Quota altimetrica: 127 m s.l.m.

Estratto di mappa catastale comunale in scala 1: 2.000 - Foglio n.28 - Particella n.255.

Ubicazione dell'area di interesse.

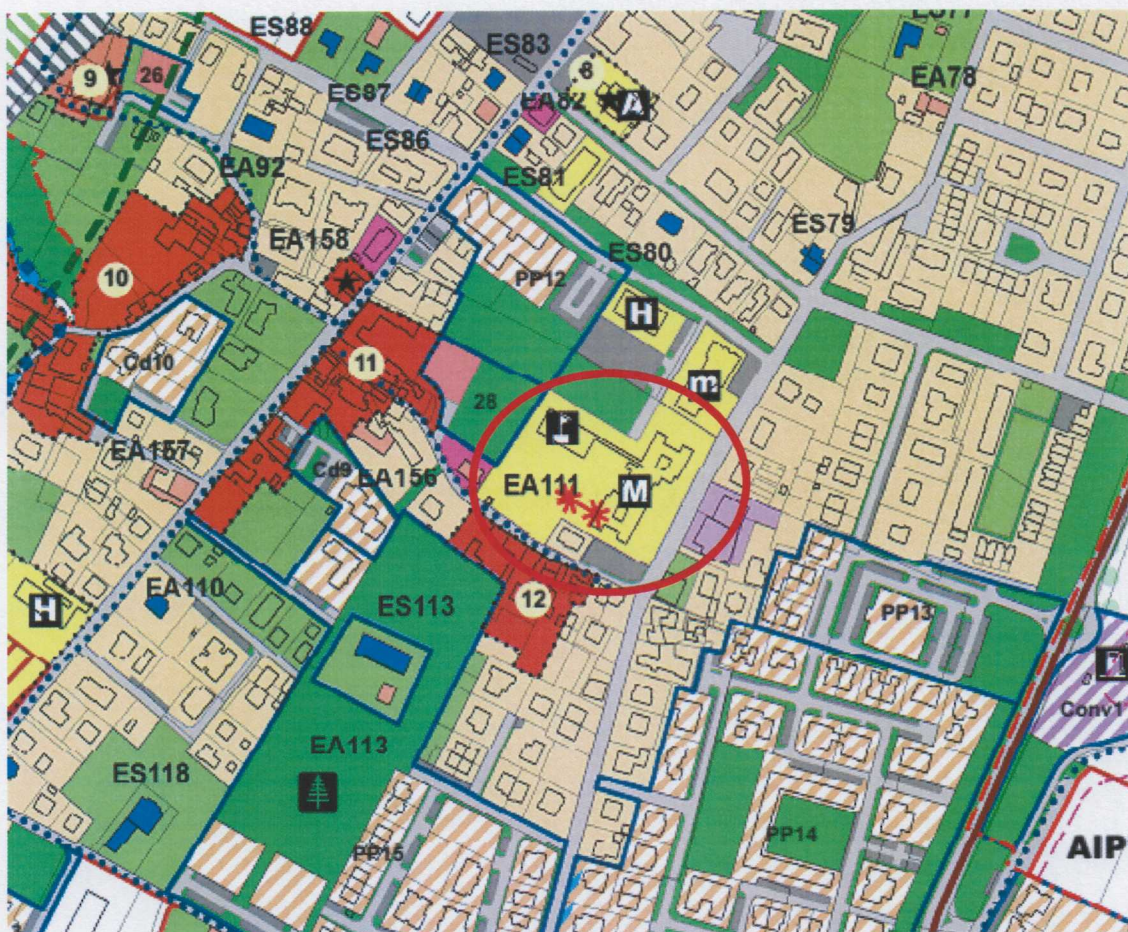


Figura n.4 Regione: Emilia Romagna - Provincia: Reggio Emilia.

Comune: Bibbiano - Via: D. P. Borghi n.14.

Latitudine: 44°39'39" Nord - Longitudine: 10°28'24" Est - Quota altimetrica: 127 m s.l.m.

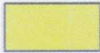
Stralcio di R.U.E. in scala 1: 5.000 - Tavola P4.2

Ubicazione dell'area di interesse che ricade in "DTC Sub ambiti per attrezzature e spazi collettivi di livello comunale (art. 41.2)".

LEGENDA

SISTEMA DELLE DOTAZIONI TERRITORIALI

Sistema delle attrezzature e spazi collettivi

-  DTS Sub ambiti per attrezzature e spazi collettivi di livello sovracomunale (art.41.1)
-  DTC Sub ambiti per attrezzature e spazi collettivi di livello comunale (art.41.2)
-  Sub ambiti per verde pubblico di livello comunale (art.41.2)
-  Sub ambiti per attrezzature sportive di livello comunale (art.41.2)
-  Parcheggi di urbanizzazione (art.23)
-  Scuola media

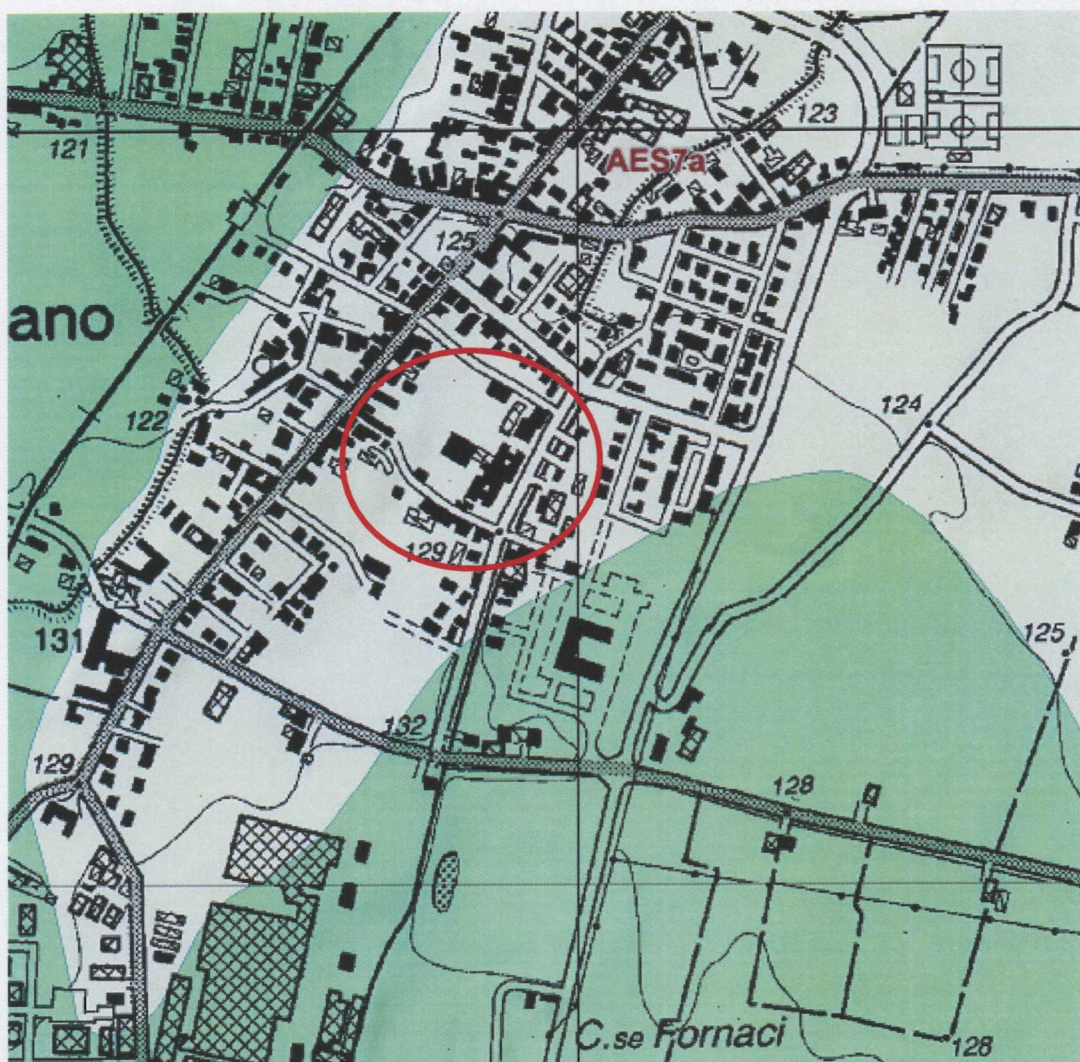


Figura n.5 Regione: Emilia Romagna - Provincia: Reggio Emilia.

Comune: Bibbiano - Via: D. P. Borghi n.14.

Latitudine: 44°39'39" Nord - Longitudine: 10°28'24" Est - Quota altimetrica: 127 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 circa 5,0 m; quest'ultimo ricopre uno strato basale formato da ghiaie sabbiose e/o sabbie ghiaiose. Deposito continentale, di terrazzo fluviale del torrente Enza. Lo spessore massimo dell'Unità è inferiore ai 15 m. Il profilo di alterazione del suolo, decarbonatato, è molto evoluto con presenza di ossidi di Fe e Mn che danno colorazione bruno - rossastra.

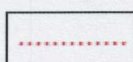
Il grado di consistenza e/o di addensamento del terreno aumenta generalmente con la profondità in funzione anche dell'aumento della pressione geostatica efficace. Si tratta di un terreno leggermente sovraconsolidato.

AES7a è contigua, in zone limitrofe, con **AES8 (Subsistema di Ravenna - 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 - PSC Bibbiano - 2013). Ubicazione dell'area di interesse che si trova compresa tra le isofreatiche 110,0 m e 115,0 m s.l.m. (soggiacenza del primo livello della falda acquifera superficiale tra -15,00 m ed i -20,00 m dalla quota del piano di campagna). L'area della Scuola secondaria di primo grado è delimitata ad Est da un tratto tombato del Rio Enzola.

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

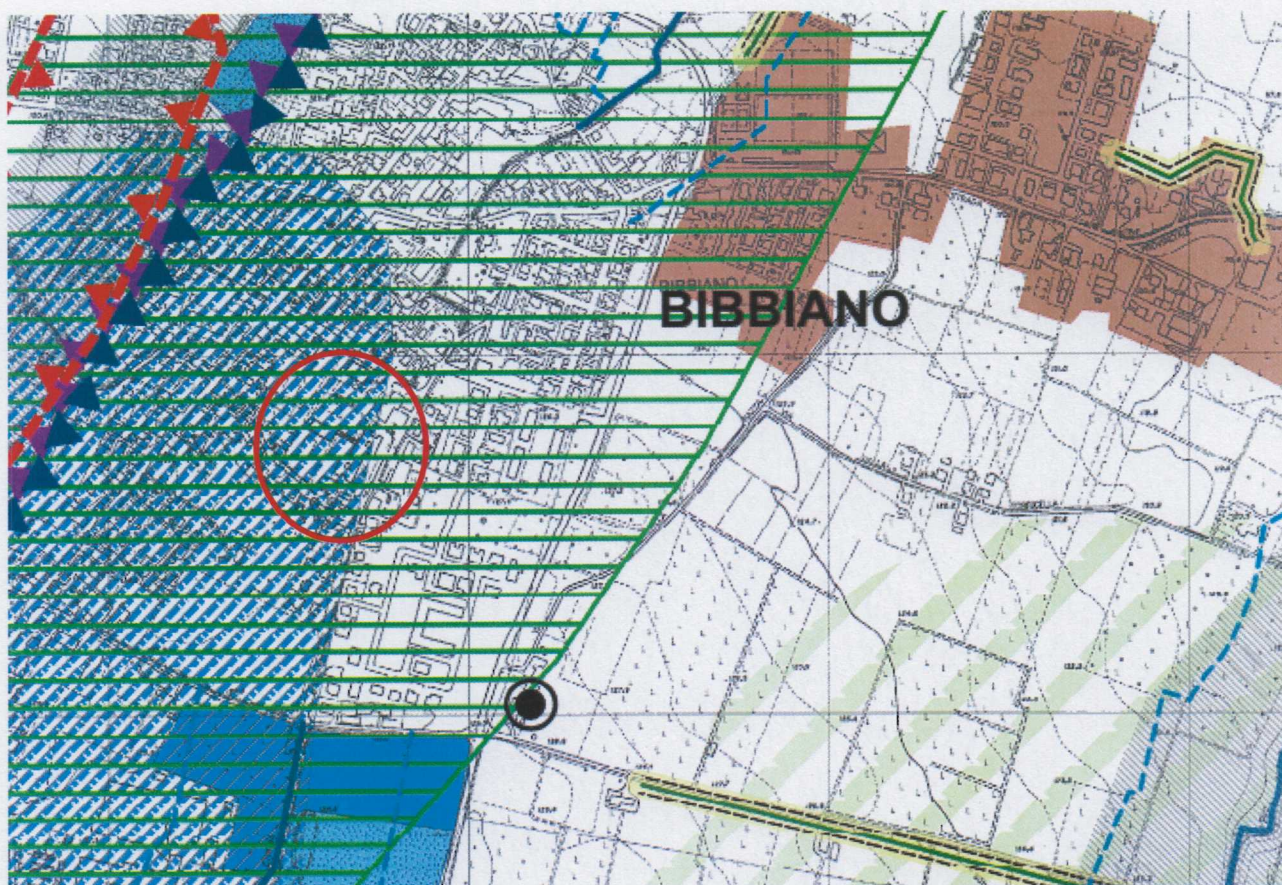


Figura n.7 Carta delle criticità in scala 1:10.000 (Quadro conoscitivo - Tavola A23 - PSC Bibbiano - 2013). Ubicazione dell'area di interesse che ricade in *aree storicamente inondate* ed in *Settore B - Aree caratterizzate da ricarica indiretta della falda acquifera*.

Legenda

ELEMENTI DI CRITICITA' DEL SISTEMA LOCALE

-  Paesaggi edificati eterogenei con processi di saturazione e densificazione di tipo arteriale
-  Ecomosaici con pressioni da trasformazione
-  Processi di saldatura dell'insediamento sparso e rischio di ulteriori sviluppi edilizi arteriali
-  Stalle e porcilaie dismesse fra il 31/12/2000 e il 28/02/2007 (fonte ARPA)
-  Edifici in territorio extra-urbano da delocalizzare
-  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

ZONA DI PROTEZIONE DELLE ACQUE SOTTERRANEE

-  Settore A
Aree caratterizzate da ricarica della falda
-  Settore B
Aree caratterizzate da ricarica indiretta della falda

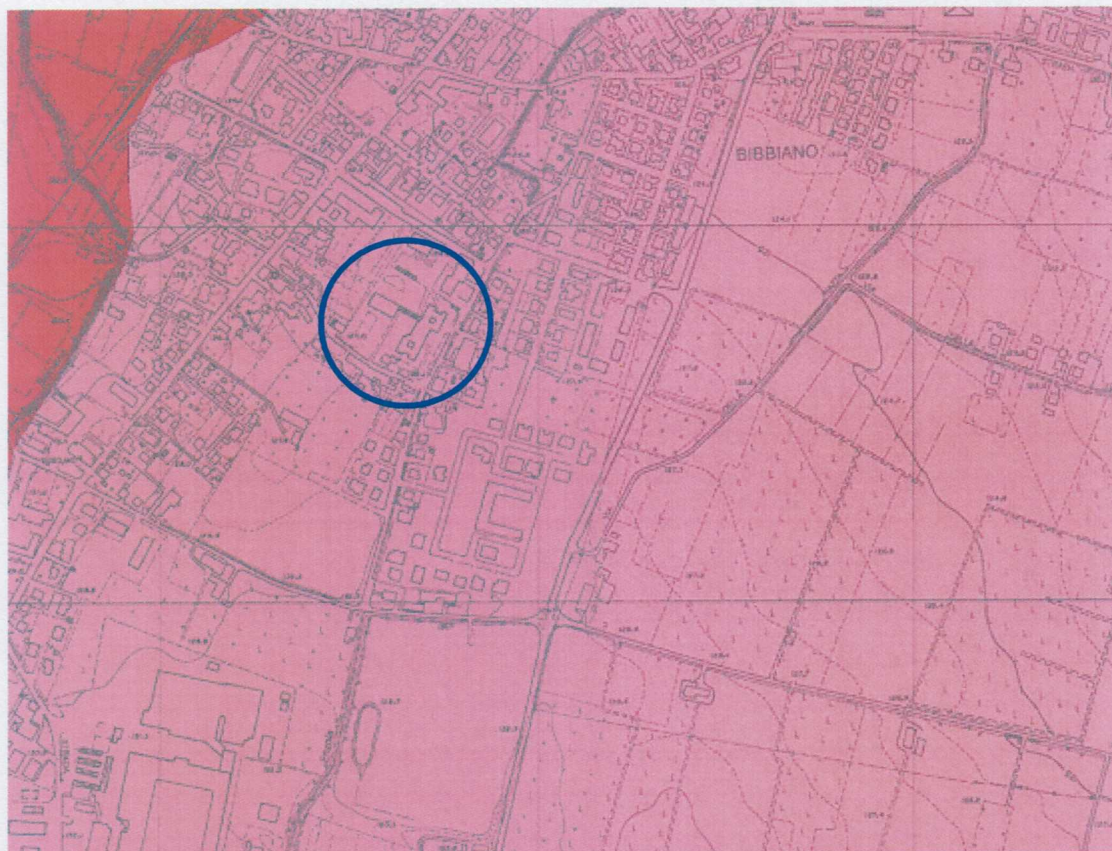
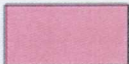


Figura n.8 Carta del tetto delle ghiaie in scala 1:10.000 (Studio di microzonazione sismica - Tavola 1.1 - PSC Bibbiano - 2013). Ubicazione dell'area di interesse che si trova in zona con profondità del tetto delle ghiaie e/o ghiaie in matrice argilloso - limosa da -5,00 m a -10,0 m dalla quota del piano 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

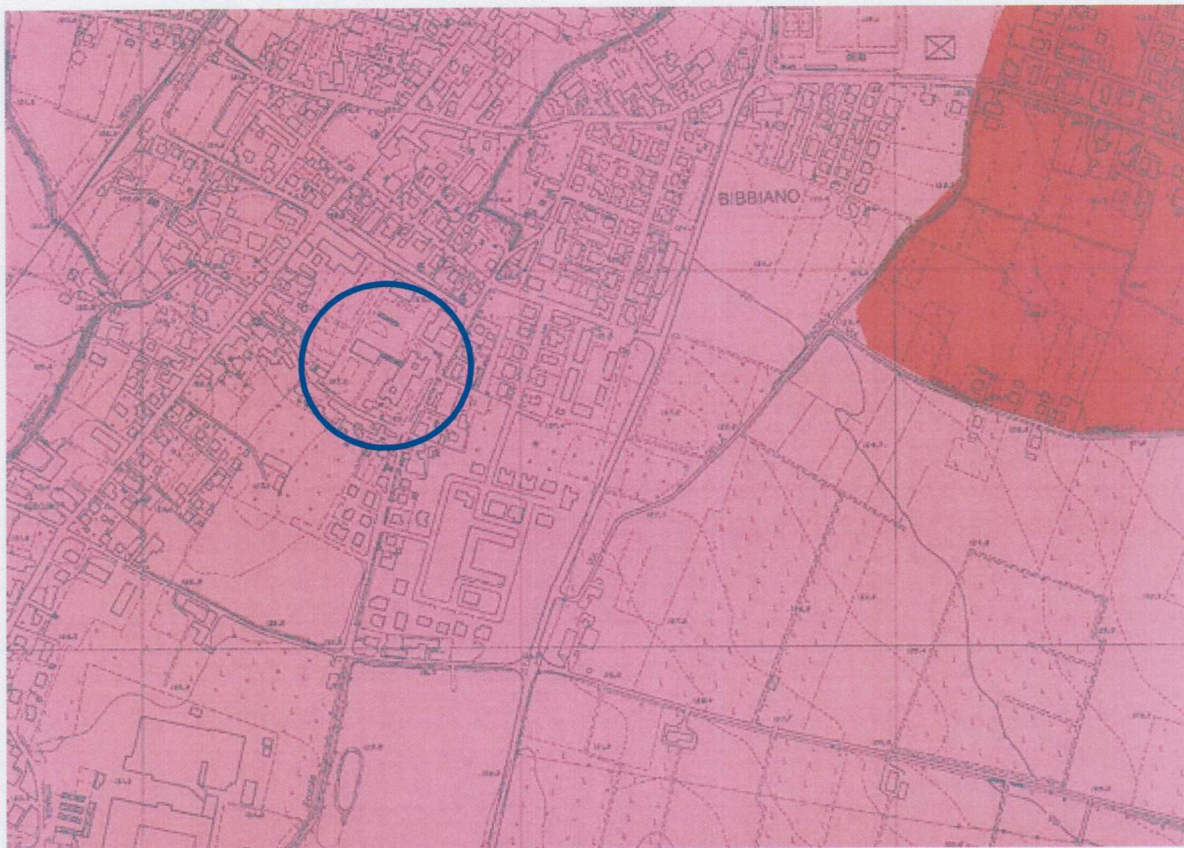
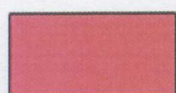
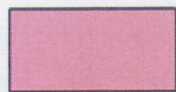


Figura n.9 Carta delle velocità delle onde di taglio in scala 1:10.000 (Studio di microzonazione sismica - Tavola 1.5 - PSC Bibbiano - 2013). Ubicazione dell'area di interesse che si trova in zona con terreno di categoria C (classe da 240 m/sec a 300 m/sec).

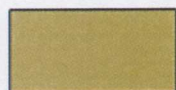
TERRENO DI CATEGORIA "C" DA 180 m/sec A 360 m/sec



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

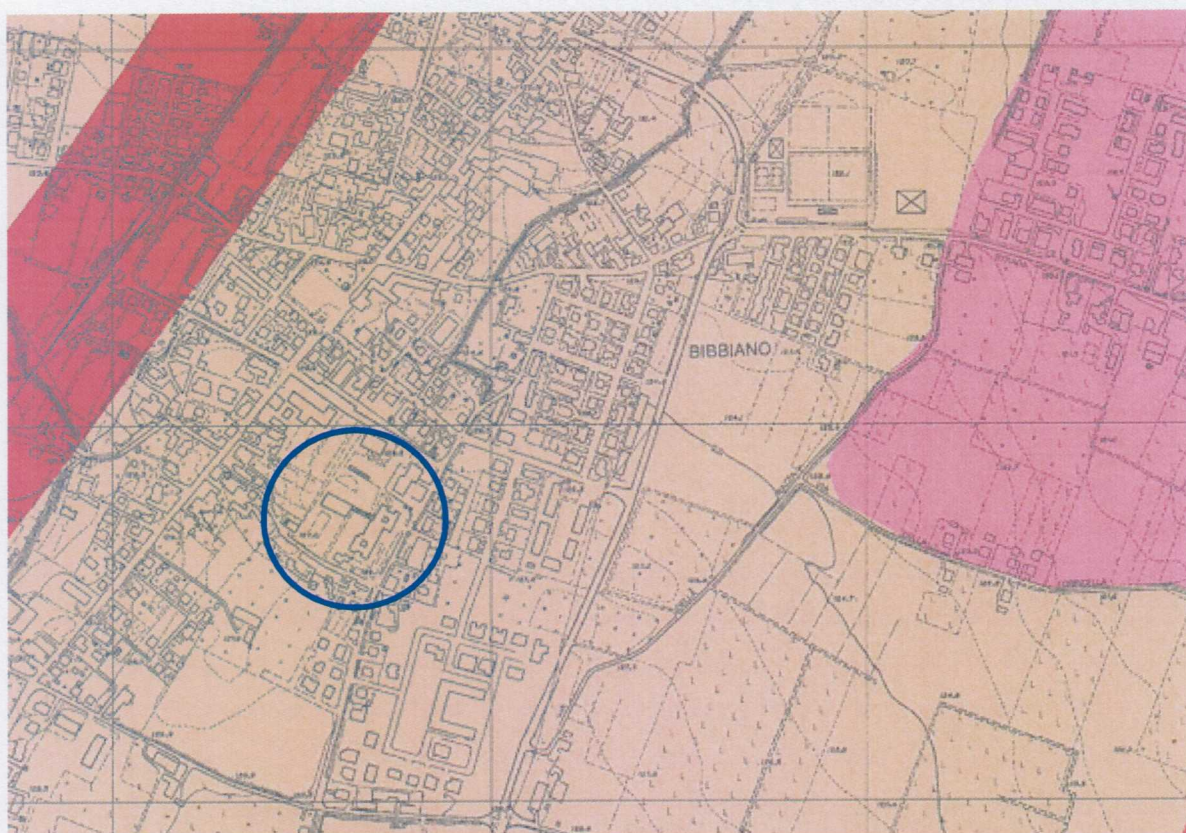
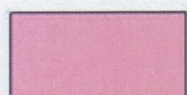
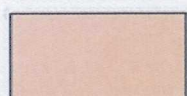


Figura n.10 Carta della microzonazione sismica in termini di FaPGA, FaIS da 0,1 a 0,5 secondi, FaIS da 0,5 a 1,0 secondi in scala 1:10.000 (Studio di microzonazione sismica - Tavola 1.6 - PSC Bibbiano - 2013). Ubicazione dell'area di interesse che si trova in area con FaPGA = 1,5; FaIS da 0,1 a 0,5 secondi = 1,7 ÷ 1,8 secondi e FaIS da 0,5 a 1,0 secondi = 2,3.

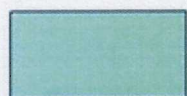
FATTORI DI AMPLIFICAZIONE



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



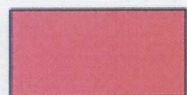
FaPGA = 1,5
FaIS da 0,1 a 0,5 sec = 1,7 ÷ 1,8
FaIS da 0,5 a 1,0 sec = 2,3



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.

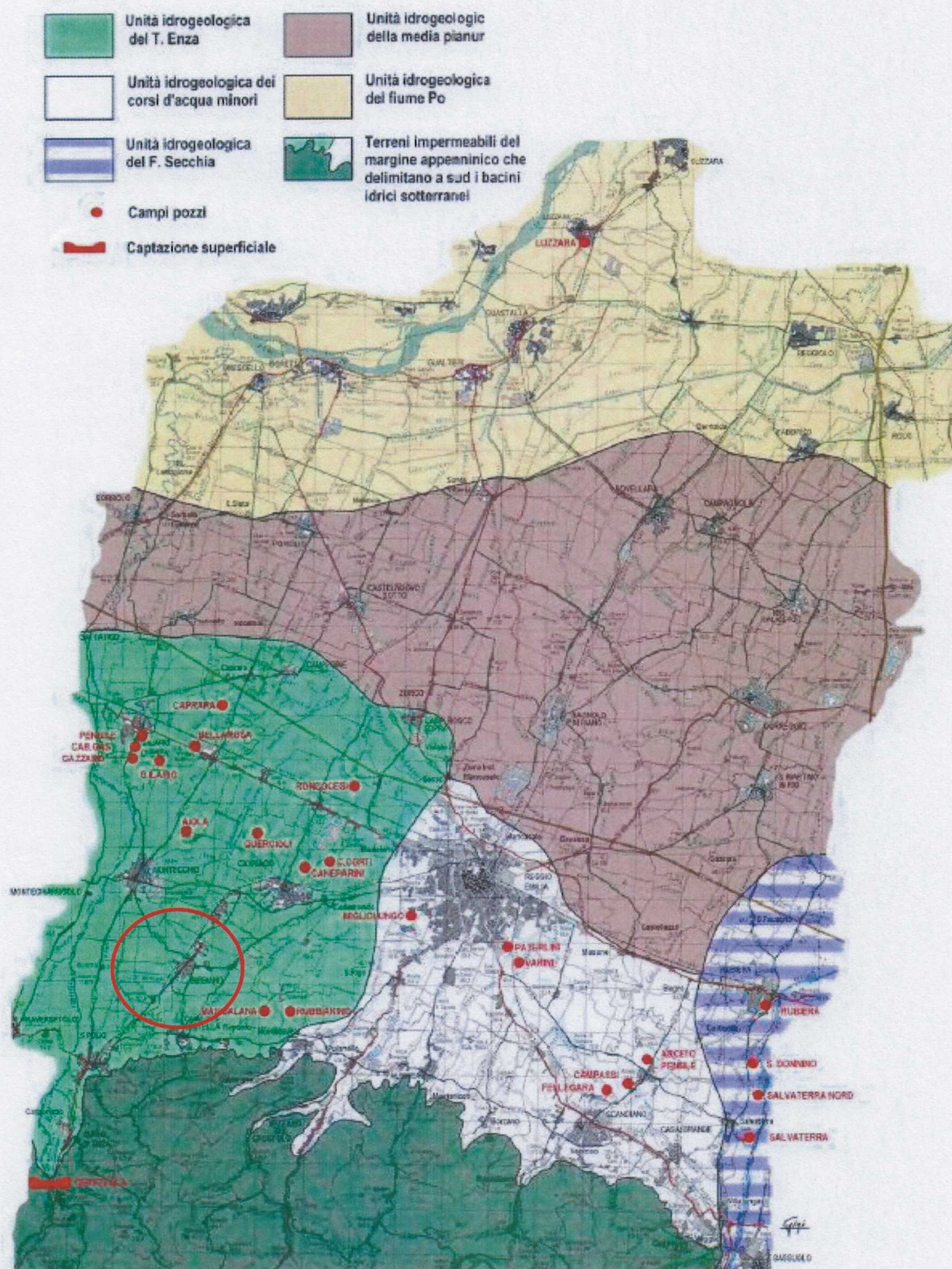


Figura n.11 Distribuzione delle unità idrogeologiche della pianura reggiana. Il territorio comunale di Bibbiano ricade nell'unità idrogeologica del torrente Enza.

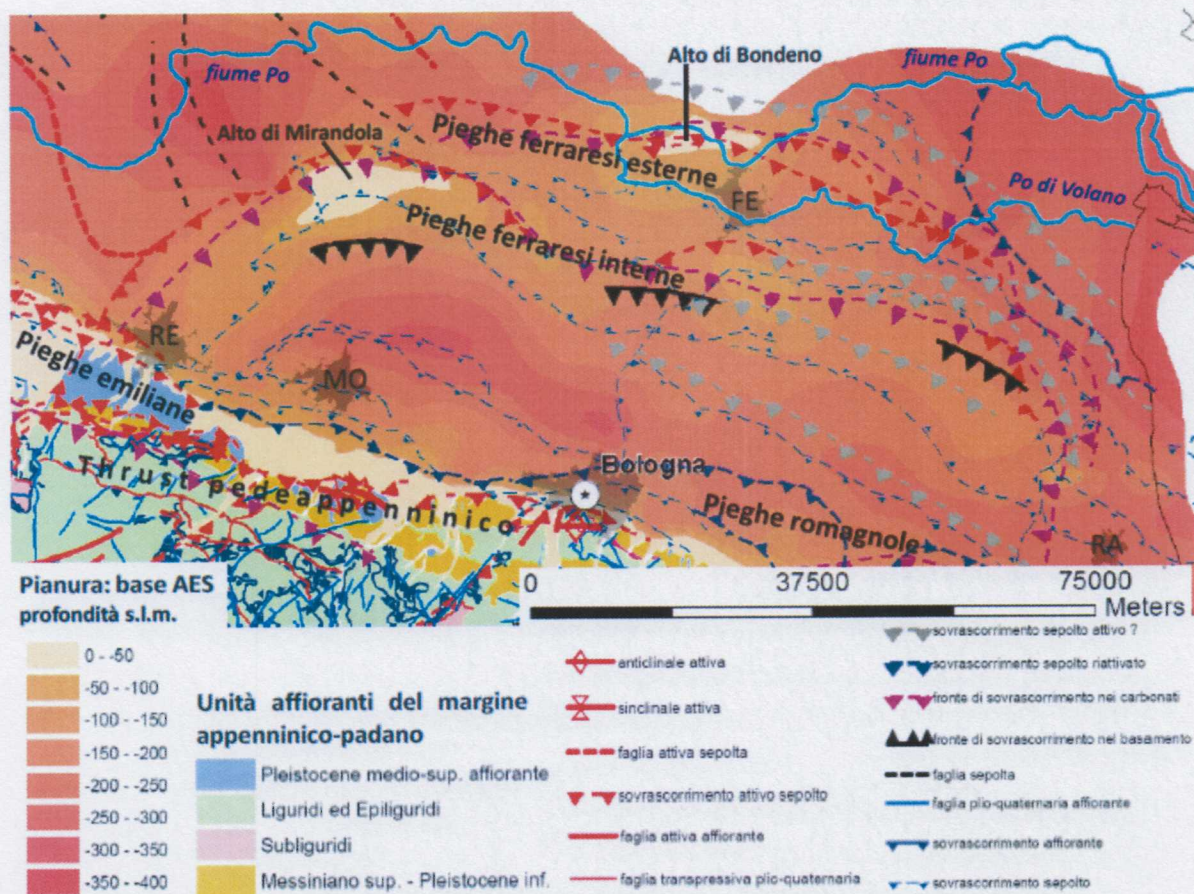


Figura n.12 Schema tettonico dell'area appenninico - padana (da Martelli, 2011).

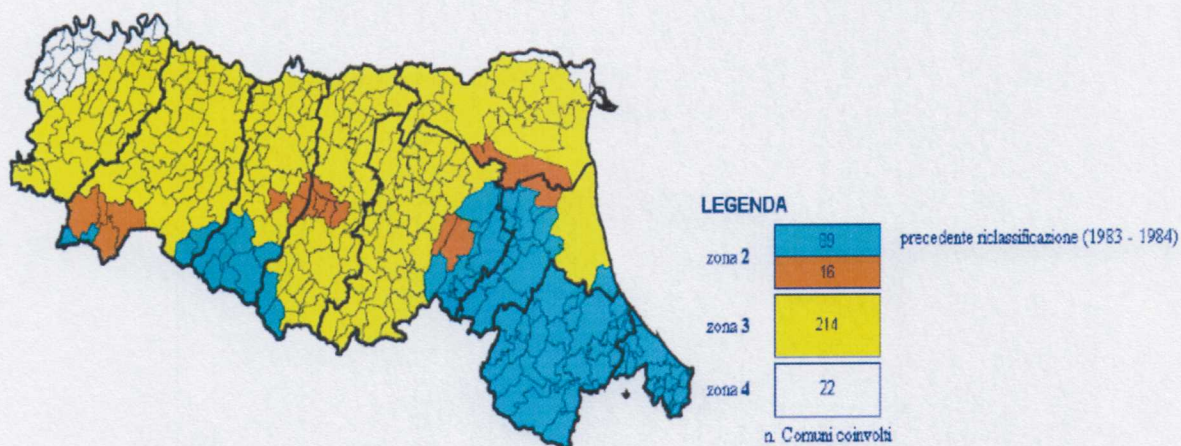


Figura n.13 Classificazione sismica della Regione Emilia Romagna – O.P.C.M. n.3274/2003 (Allegato 1, punto 3 – “prima applicazione”). Il territorio comunale di Bibbiano (RE) ricade in zona sismica 3.

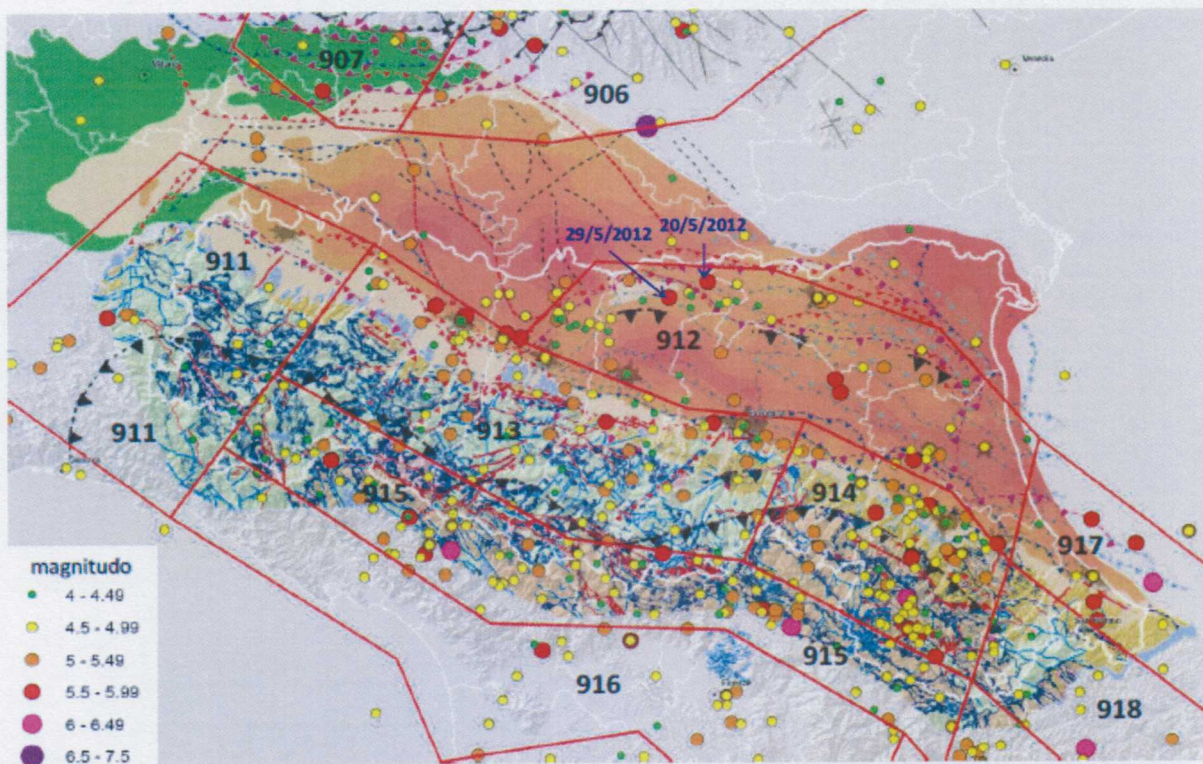


Figura n.14 Schema tettonico dell'Appennino Emiliano - Romagnolo e della Pianura Padana Centrale (Martelli, 2011) con zone sismogenetiche da ZS9 (Meletti e Valensise, 2004), aree con limiti rossi, e localizzazione dei principali terremoti che hanno interessato l'Emilia-Romagna (dati I.N.G.V.). Il territorio comunale di Bibbiano ricade nella zona sismogenetica 913.

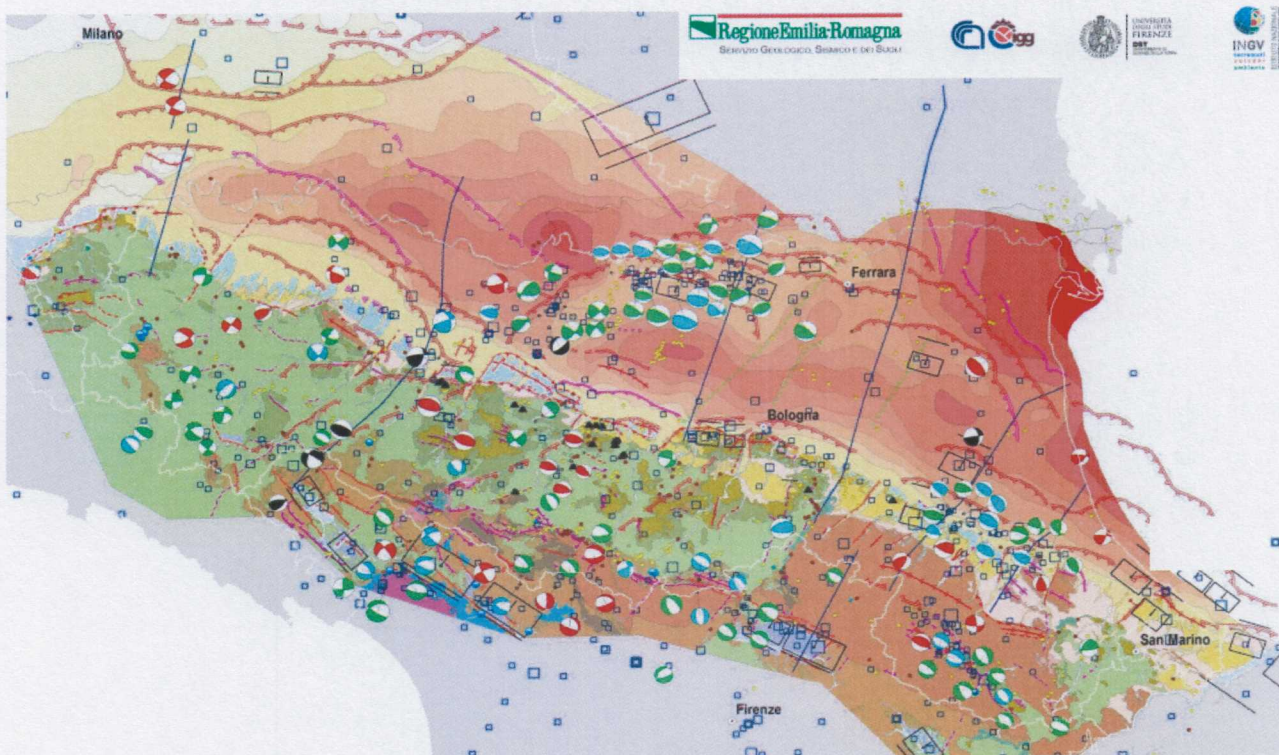


Figura n.15 Nuova carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna e aree limitrofe in scala 1.250.000 (Servizio Geologico Sismico Regione Emilia Romagna - C.N.R. - Istituto di Geoscienze e di Georisorse sezione di Firenze - 2017).

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	Franciaorta	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/).

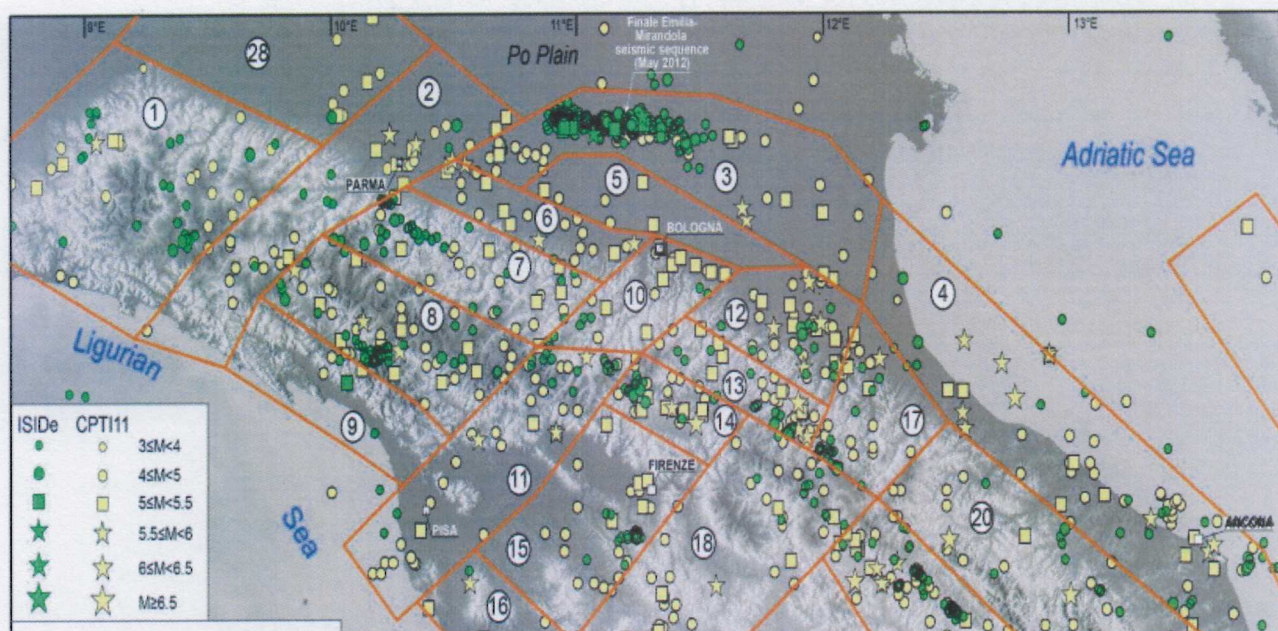


Figura n.16 Nuova mappa di zonazione sismogenetica riguardante l'Appennino Settentrionale, il margine Appenninico - Padano e la Pianura Padana (Servizio Geologico Sismico Regione Emilia Romagna - C.N.R. Firenze - Università di Firenze - 2017). Il territorio comunale di Bibbiano ricade nella **nuova zona sismogenetica 2** (n.513 Taro - Enza) che è caratterizzata da una tettonica principalmente tipo strike slip (reverse) con direzioni ed immersione delle faglie inverse principali Nord Est - Sud Ovest (Sud 45°/60°), profondità ipocentrale prevalentemente compresa tra 5 km - 30 km e **magnitudo massima attesa pari a Mw = 5,5**.

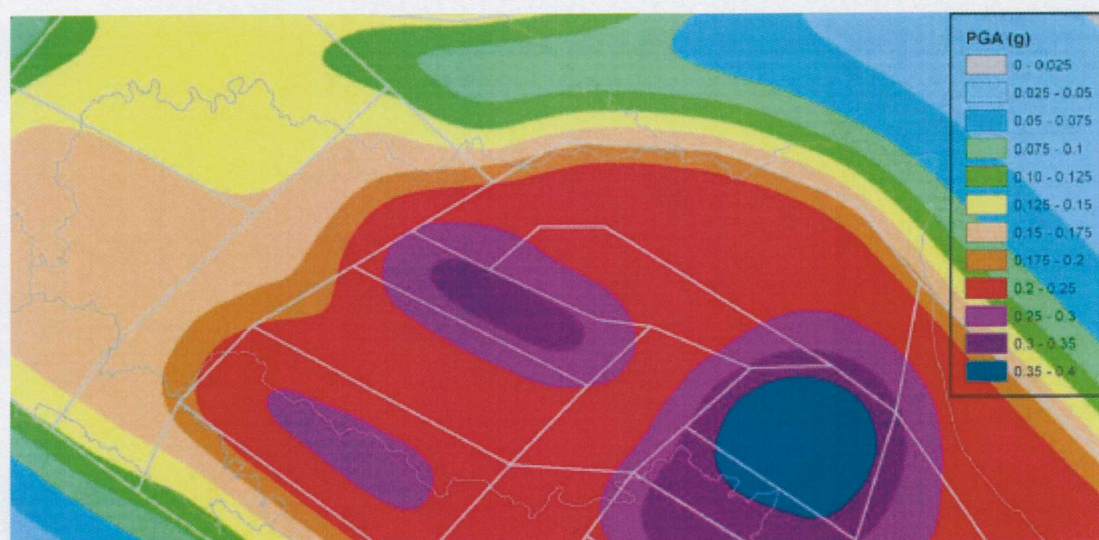


Figura n.17 Nuova mappa di pericolosità sismica dell'area dell'Appennino Settentrionale - Margine Appenninico - Pianura Padana, in termini di P.G.A. [Peak Ground Acceleration] (Servizio Geologico Sismico Regione Emilia Romagna - C.N.R. Firenze - Università di Firenze - 2017). I valori riportati, come frazione dell'accelerazione di gravità, sono stati calcolati tenendo conto della legge di attenuazione sismica di Cauzzi & Faccioli (2017), considerando superfici di faglia piane, differenziate per meccanismo di faglia). Il territorio comunale di Bibbiano (RE) ricade in un areale con P.G.A. = 0,250 g ÷ 0,300g.

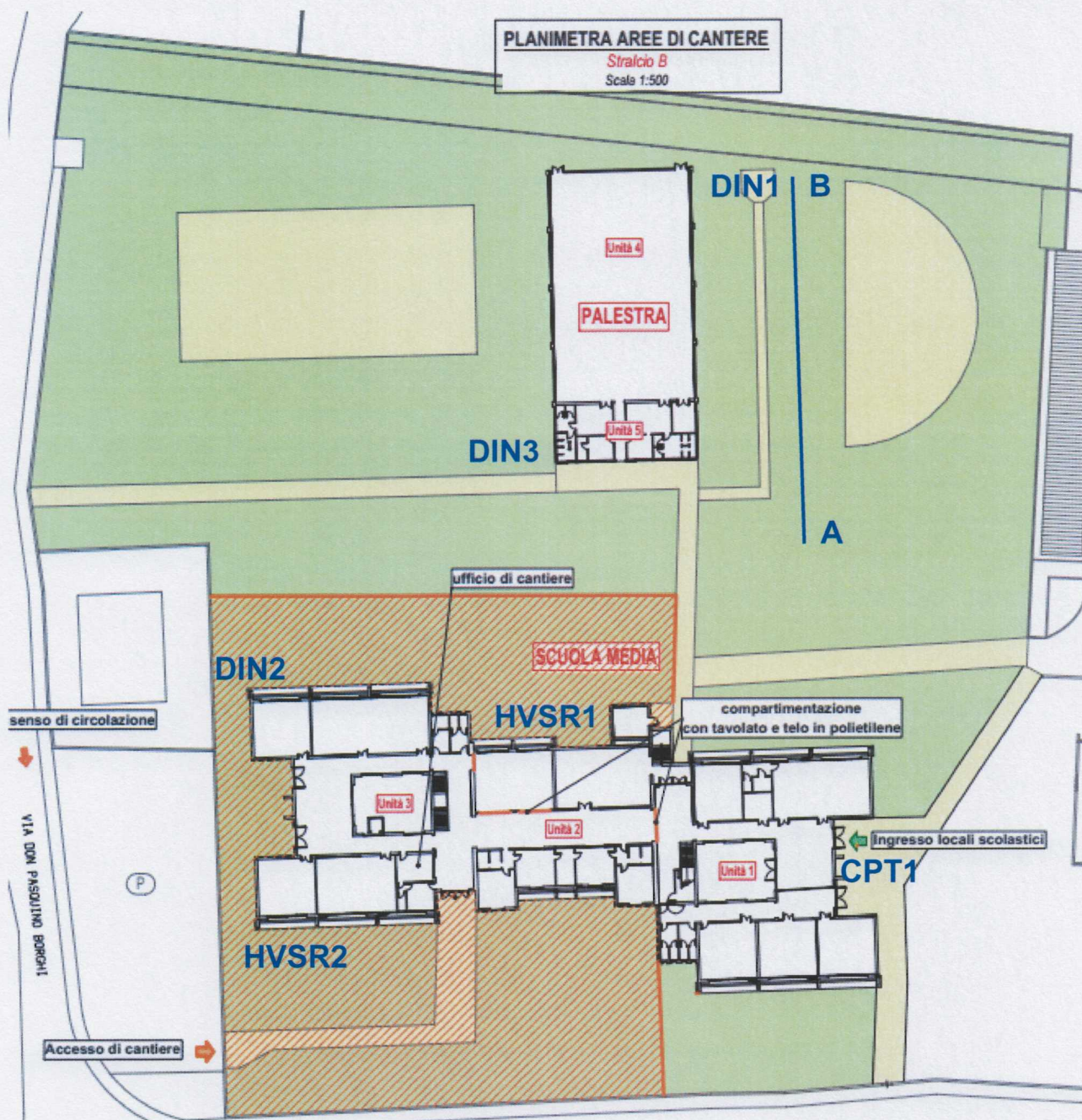


Figura n.18 Regione: Emilia Romagna - Provincia: Reggio Emilia.

Comune: Bibbiano - Via: D. P. Borghi n.14.

Latitudine: 44°39'39" Nord - Longitudine: 10°28'24" Est - Quota altimetrica: 127 m s.l.m.

Planimetria area di cantiere fuori scala con ubicazione delle indagini geognostiche

DIN1/DIN2/DIN3 = prove penetrometriche dinamiche medie DM030.

HVS1/HVS2 = indagini di stratigrafia sismica passiva a stazione singola.

CPT1 = prova penetrometrica statica CPT1.

A-----B = stendimento sismico per indagine M.A.S.W.

INDAGINE M.A.S.W.

ANALISI MULTICANALE DELLE ONDE DI SUPERFICIE

PROVE H.V.S.R.

INDAGINI DI SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE MEDIE DM030

DIAGRAMMI DI RESISTENZA

TABELLE VALORI DI RESISTENZA

TABELLE PARAMETRI GEOTECNICI

PROVA PENETROMETRICA STATICA

TABELLE VALORI DI RESISTENZA

DIAGRAMMI DI RESISTENZA

DIAGRAMMI VALUTAZIONI LITOLOGICHE

DIAGRAMMI PARAMETRI GEOTECNICI

COMUNE: BIBBIANO (RE) – VIA: D.P. BORGHI N.14
AREA SCUOLA MEDIA SECONDARIA DI PRIMO GRADO
INDAGINE SISMICA M.A.S.W
ANALISI MULTICANALE DELLE ONDE DI SUPERFICIE

Per la classificazione sismica del terreno di fondazione degli edifici della Scuola Media Secondaria di primo grado di Bibbiano (identificazione della categoria di suolo sismico secondo NTC2018) si è eseguita una prova sismica di tipo M.A.S.W. (analisi multicanale delle onde di superficie). L'indagine è stata eseguita parallelamente al lato più lungo dell'edificio della palestra (figura n.18).

La prova si è svolta lungo uno stendimento sismico, lungo 46,00 m lineari con un offset di 10,00 m lineari per un totale di 56,00 m lineari, formato da 24 geofoni ricevitori, posti ad un intervallo di 2,00 m ciascuno, capaci di misurare il campo di moto nella direzione verticale e trasmetterlo ad un acquisitore digitale multicanale PASI modello 16SG24-N (24 bit - 24 canali - 24 geofoni da 4,5 Hertz). L'analisi dei dati misurati è stata sviluppata con il software WinMASW®, prodotto dalla Società EliaSoft. La sorgente sismica impulsiva è stata rappresentata da una mazza del peso di 8,00 kg. La lunghezza dello stendimento ha permesso di stimare l'andamento delle velocità delle onde di taglio (onde di tipo S) fino ad una profondità di circa 45,00 m dalla quota del piano dell'area cortiliva.

Dall'esame della figura IV si evince la seguente stratigrafia sismica:

- Da 0,0 m dal p.c. a -1,80 m dal p.c. $V_s = 176$ m/s; $\gamma_n = 2,07$ t/m³, $H_1 = 1,80$ m;
- Da -1,80 m dal p.c. a -5,50 m dal p.c. $V_s = 369$ m/s; $\gamma_n = 2,05$ t/m³, $H_2 = 3,70$ m;
- Da -5,50 m dal p.c. a -16,90 m dal p.c. $V_s = 386$ m/s; $\gamma_n = 1,99$ t/m³, $H_3 = 11,40$ m;
- Da -16,90 m dal p.c. a -24,80 m dal p.c. $V_s = 178$ m/s; $\gamma_n = 1,91$ t/m³, $H_4 = 7,90$ m;
- Da -24,80 m dal p.c. a -38,30 m dal p.c. $V_s = 413$ m/s; $\gamma_n = 2,14$ t/m³, $H_5 = 13,50$ m;
- Da -38,30 m dal p.c. a -45,00 m dal p.c. $V_s = 535$ m/s; $\gamma_n = 2,19$ t/m³, $H_6 = 6,70$ m;

Nei primi 5 m di profondità dal p.c. la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio è stata $V_{s5} = 265$ m/s. Nei primi 20 m di profondità dal p.c. si è avuto un valore equivalente $V_{s20} = 297$ m/s mentre nei primi 30 m di sottosuolo si è registrato un valore equivalente $V_{s30} = 281$ m/s (tabella A).

In base al valore di velocità equivalente delle onde S pari a **$V_{s30} = 281$ m/s** il primo sottosuolo ricade nella categoria **C** (tabella 3.2.II del D.M. 17/01/2018 - tabella C).

Nella tabella B sono riportati i principali parametri fisico-meccanici, la velocità equivalente delle onde S e la classificazione sismica per una profondità d'investigazione di circa 30 m dal presunto piano di fondazione.

$V_{s30} = 281$ m/s dal presunto piano di fondazione - Categoria suolo di fondazione: 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.

Il fattore di amplificazione stratigrafica corrispondente alla categoria di suolo **C** rientra nel seguente intervallo 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 risulta **$S_t = 1,0$** .

==o== SECTION#1

Dataset: Bibbiano - via Don P. Borghi 14.DAT

Minimum offset (m): 5

Geophone spacing (m): 2

Sampling (ms): 1

Dispersion curve: Bibbiano - Scuola Media Dante Alighieri.cdp

Number of individuals: 30

Number of generations: 31

Rayleigh-wave dispersion analysis

Analyzing phase Velocities

Adopted search space (minimum Vs & thickness): 30 1 60 2 90 8 120 8 150 9 180

Adopted search space (maximum Vs & thickness): 300 3 330 6 480 12 680 12 780 13 900

Adopted Poisson values: 0.4 0.35 0.350.35 0.35 0.35

Output folder: C:\Users\Stefano27\Desktop\SISMICHE 2016\Infante\09\Bibbiano Scuola media\output_disp

==o== SECTION#2

Rayleigh wave analysis

Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits: -45.8834 -17.639
Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits: -42.3639 -17.639
Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits: -37.5984 -17.2253
Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits: -32.8516 -17.2253
Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits: -30.3277 -13.6221
Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits: -26.3226 -13.5928
Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits: -33.1952 -13.5928
Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits: -35.6777 -13.5928
Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits: -39.2253 -13.5928
Optimizing Vs & Thickness - generation: 10; average & best misfits: -31.7218 -13.5928
Optimizing Vs & Thickness - generation: 11; average & best misfits: -30.5319 -13.5928
Optimizing Vs & Thickness - generation: 12; average & best misfits: -30.3767 -13.5218
Optimizing Vs & Thickness - generation: 13; average & best misfits: -31.3897 -13.5175
Optimizing Vs & Thickness - generation: 14; average & best misfits: -38.4392 -13.4756
Optimizing Vs & Thickness - generation: 15; average & best misfits: -37.2746 -13.4538
Optimizing Vs & Thickness - generation: 16; average & best misfits: -38.5112 -13.4538
Optimizing Vs & Thickness - generation: 17; average & best misfits: -34.696 -13.4538
Optimizing Vs & Thickness - generation: 18; average & best misfits: -34.2239 -13.4538
Optimizing Vs & Thickness - generation: 19; average & best misfits: -38.7685 -13.4538
Optimizing Vs & Thickness - generation: 20; average & best misfits: -33.2578 -13.3614
Optimizing Vs & Thickness - generation: 21; average & best misfits: -30.434 -13.3614
Optimizing Vs & Thickness - generation: 22; average & best misfits: -36.4563 -13.3614
Optimizing Vs & Thickness - generation: 23; average & best misfits: -32.4564 -13.3614
Optimizing Vs & Thickness - generation: 24; average & best misfits: -35.1449 -13.3614
Optimizing Vs & Thickness - generation: 25; average & best misfits: -33.3995 -13.3614
Optimizing Vs & Thickness - generation: 26; average & best misfits: -31.4543 -12.3551
Optimizing Vs & Thickness - generation: 27; average & best misfits: -33.4266 -12.3551
Optimizing Vs & Thickness - generation: 28; average & best misfits: -38.3428 -12.3551
Optimizing Vs & Thickness - generation: 29; average & best misfits: -32.9791 -11.2416
Optimizing Vs & Thickness - generation: 30; average & best misfits: -29.8287 -11.2416
Optimizing Vs & Thickness - generation: 31; average & best misfits: -39.0905 -11.2416

Forcing search space

Now a finer search around the most promising search space area

Rayleigh wave analysis

Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits: -19.4982 -9.96697
Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits: -19.1415 -9.14936
Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits: -20.068 -9.14936
Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits: -20.6943 -9.14936
Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits: -18.3232 -8.64669
Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits: -17.5232 -8.64669
Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits: -18.0793 -8.64669
Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits: -16.9296 -8.64669
Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits: -18.9135 -8.64669

Model after the Vs & Thickness optimization (fixed Poisson values):

Vs (m/s): 179 378 359 175 471 521

Thickness (m): 1.4 3.6 12 7.6 14

Poisson: 0.4 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35

Vp & Density Optimization

Columns 1 through 7

0.0930 0.1194 0.1622 0.2260 0.2722 0.3206 0.3854

0.4940 0.5619 0.6217 0.6815 0.7539 0.8298 0.8885

Columns 8 through 14

0.4514 0.5185 0.5855 0.6471 0.7460 0.8274 0.9186

Rayleigh wave analysis
Optimizing Vp & Density - generation: 1; average & best misfits: -13.2581 -8.64563
Optimizing Vp & Density - generation: 2; average & best misfits: -11.3736 -8.41421
Optimizing Vp & Density - generation: 3; average & best misfits: -11.593 -8.39806
Optimizing Vp & Density - generation: 4; average & best misfits: -12.2909 -8.39806
Optimizing Vp & Density - generation: 5; average & best misfits: -11.3298 -8.39806
Optimizing Vp & Density - generation: 6; average & best misfits: -11.8136 -8.39806
Optimizing Vp & Density - generation: 7; average & best misfits: -12.5386 -8.39806
Optimizing Vp & Density - generation: 8; average & best misfits: -11.643 -8.39806
Optimizing Vp & Density - generation: 9; average & best misfits: -10.5522 -8.39806
Number of models considered to calculate the average model: 32

RESULTS

Dataset: Bibbiano - via Don P. Borghi 14.DAT
Analyzed curve/spectrum: Bibbiano - Scuola Media Dante Alighieri.cdp
===== SECTION#3
Analyzing Phase Velocities
Analyzing Rayleigh-Wave Dispersion
=====

MEAN MODEL
Vs (m/s): 176 369 386 178 413 535
Standard deviations (m/s): 8 26 49 8 44 49
Thickness (m): 1.8 3.7 11.4 7.9 13.5
Standard deviations (m): 0.2 0.4 1.7 0.9 1.0
Approximate values for Vp, density, Poisson & Shear modulus
Vp (m/s): 1080 986 765 546 1440 1762
Density (gr/cm3): 2.07 2.05 1.99 1.91 2.14 2.19
Vp/Vs ratio: 6.14 2.67 1.98 3.07 3.49 3.29
Poisson: 0.49 0.42 0.33 0.44 0.46 0.45
Shear modulus (MPa): 64 279 296 60 365 627
Fundamental mode
Mean model
f(Hz) VR(m/s)
4.84193 297.8714
6.21594 288.4842
8.44871 294.2084
11.7692 305.3599
14.1738 310.7722
16.6928 311.8503
20.0706 268.7113
23.5056 226.742
26.9979 208.5584
30.4902 199.225
33.6962 194.0723
38.8487 189.0756
43.0853 186.5562
47.8371 210.0311
52.0736 203.2922
First higher mode
Mean model
24.5934 323.5686
27.9711 317.3181
30.9482 301.049
33.9252 274.9583
37.532 246.8124
41.3105 227.9589
44.2303 218.3567
47.0928 211.5102
49.7836 212.0686
===== SECTION#4

BEST MODEL
Vs (m/s): 179 378 359 175 471 521
Thickness (m): 1.40879 3.55567 11.9353 7.61286 13.6681
Approximate values for Vp, density, Poisson & Shear modulus
Vp (m/s): 739 1520 915 426 1129 3621
Density (gr/cm3): 1.98 2.16 2.03 1.85 2.08 2.37
Vp/Vs ratio: 4.13 4.02 2.55 2.43 2.40 6.95
Poisson: 0.47 0.47 0.41 0.40 0.39 0.49

Shear modulus (MPa): 63 308 262 57 462 643
Estimated static shear modulus (MPa): 0 0 0 0 0 0
Dispersion curve (frequency - velocity)

Fundamental mode

Best model

F(Hz) VR(m/s)

4.84193 293.917
6.21594 286.0085
8.44871 290.6592
11.7692 299.4898
14.1738 303.3029
16.6928 302.7073
20.0706 266.6643
23.5056 224.9996
26.9979 206.3184
30.4902 196.7275
33.6962 191.4395
38.8487 186.3182
43.0853 183.739
47.8371 181.7854
52.0736 180.5542
First higher mode)

Best model

24.5934 313.7642
27.9711 304.8682
30.9482 291.6193
33.9252 270.9681
37.532 245.1193
41.3105 226.2502
44.2303 216.4276
47.0928 209.3888
49.7836 204.3537

Vs5 (mean model): 265 m/s

Vs5 (best model): 288 m/s

Vs20 (mean model): 297 m/s

Vs20 (best model): 293 m/s

Vs30 (mean model): 281 m/s

Vs30 (best model): 284 m/s

=====

winMASW Surface Waves & Beyond www.winmasw.com

Number of models used to define the mean model: 32

Vs5 for the best model: 288

Vs30 for the best model: 284

Analyzing phase velocities

Elapsed time is 85.391542 seconds.

V_{S5} (mean model): 265 m/s
V_{S5} (best model): 288 m/s
V_{S20} (mean model): 297 m/s
V_{S20} (best model): 293 m/s
V_{S30} (mean model): 281 m/s
V_{S30} (best model): 284 m/s

Tabella A Valori delle velocità delle onde di taglio nel primo sottosuolo della Scuola Secondaria di primo grado a Bibbiano (RE) per i differenti spessori indicati.

Mean model
V_s (m/s): 176, 369, 386, 178, 413, 535
Standard deviations (m/s): 8, 26, 49, 8, 44, 49
Thickness (m): 1,80; 3,70; 11,40; 7,90; 13,50; 6,70
Standard deviations (m/s): 0,2; 0,4; 1,7; 0,9; 1,0
Density (g/cm³): 2,07; 2,05; 1,99; 1,91; 2,14; 2,19
Shear modulus (MPa): 64, 279, 296, 60, 365, 627
V_p (m/s): 1080, 986, 765, 546, 1440, 1762
Poisson: 0,49; 0,42; 0,33; 0,44; 0,46; 0,45
V_{S30} (m/s): 281
Possible Soil Type: C

Tabella B Caratteristiche fisico-meccaniche ricavate dalla prova M.A.S.W. eseguita sul sito progettuale della Scuola Secondaria di primo grado a Bibbiano (RE)

- 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).

dataset: Bibbiano - via Don P. Borghi 14.DAT

sampling: 1 ms

minimum offset: 5 m

geophone spacing: 2 m

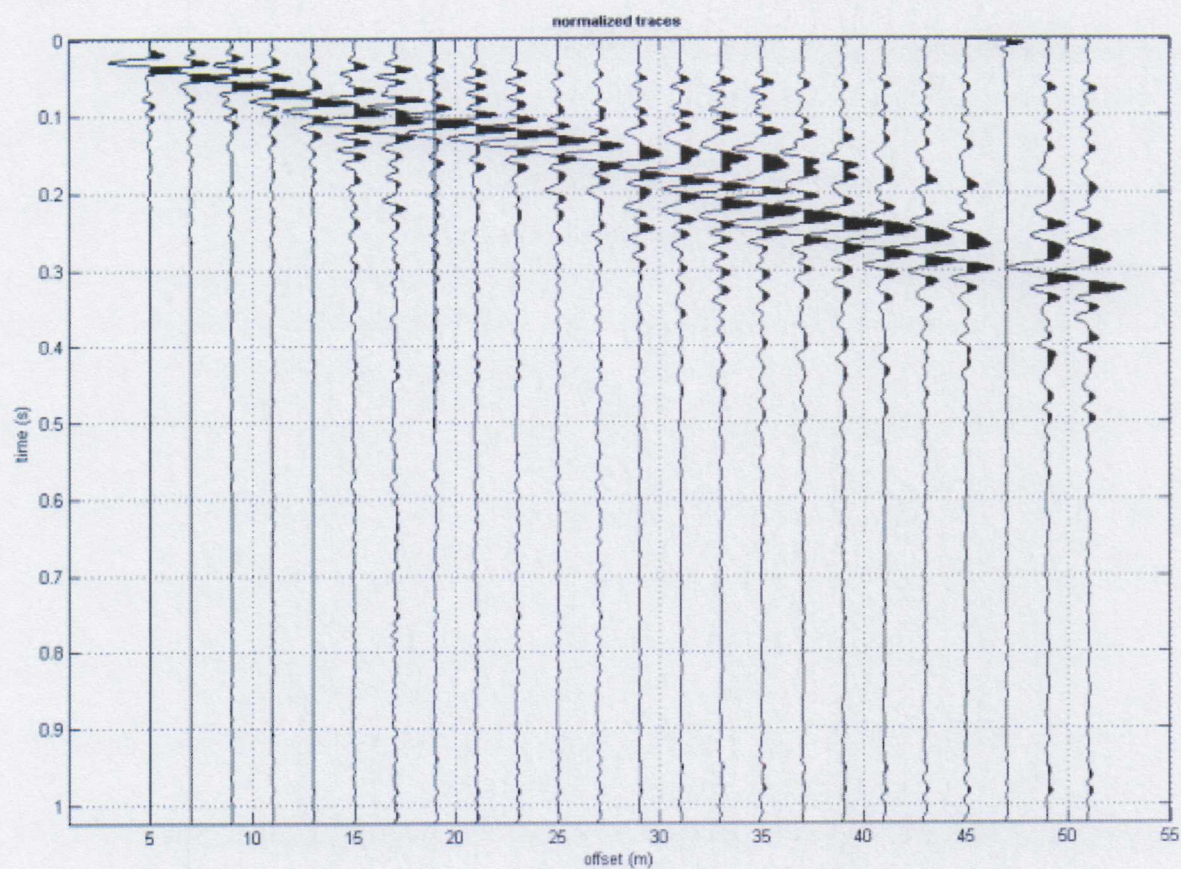


Figura I - Dataset sismico, per lo stendimento sismico eseguito lungo la traccia A----B sul sito di progetto della Scuola Secondaria di primo grado di Bibbiano (figura n.18) che mostra una certa dispersione del segnale sismico in corrispondenza di alcuni dei 24 geofoni ricevitori.

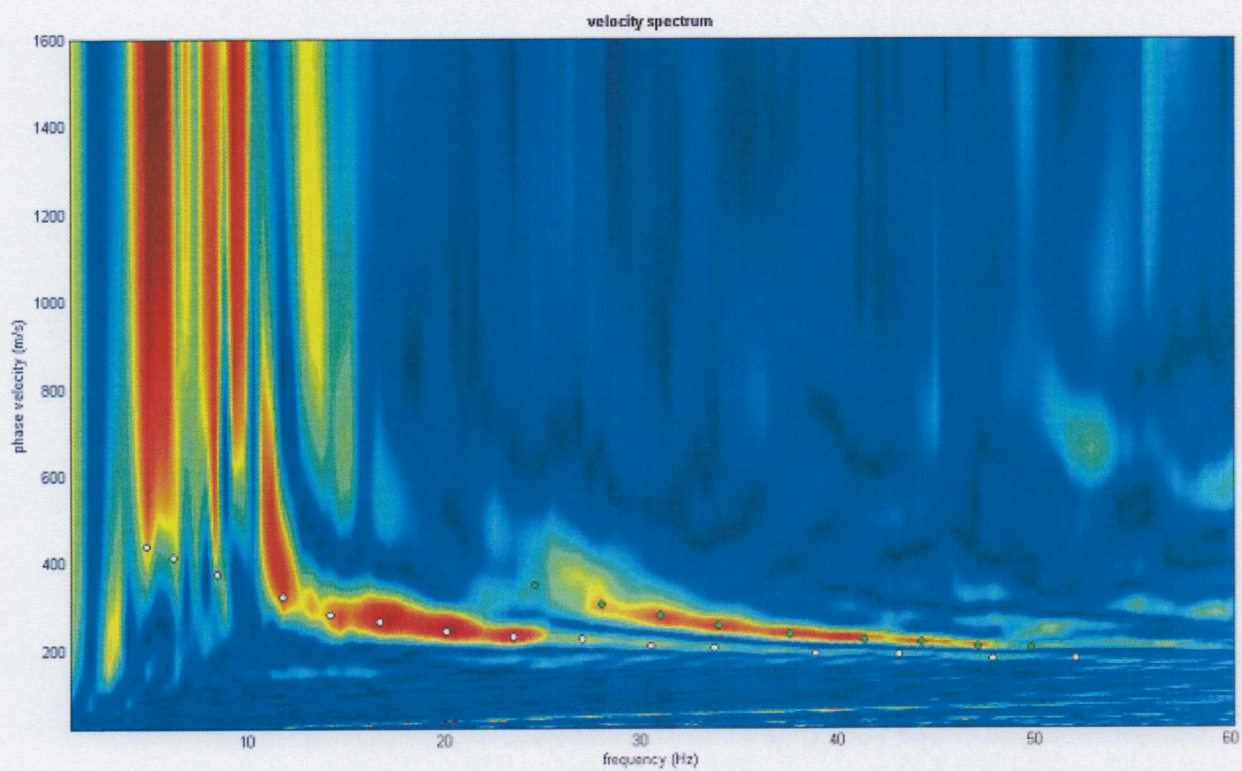
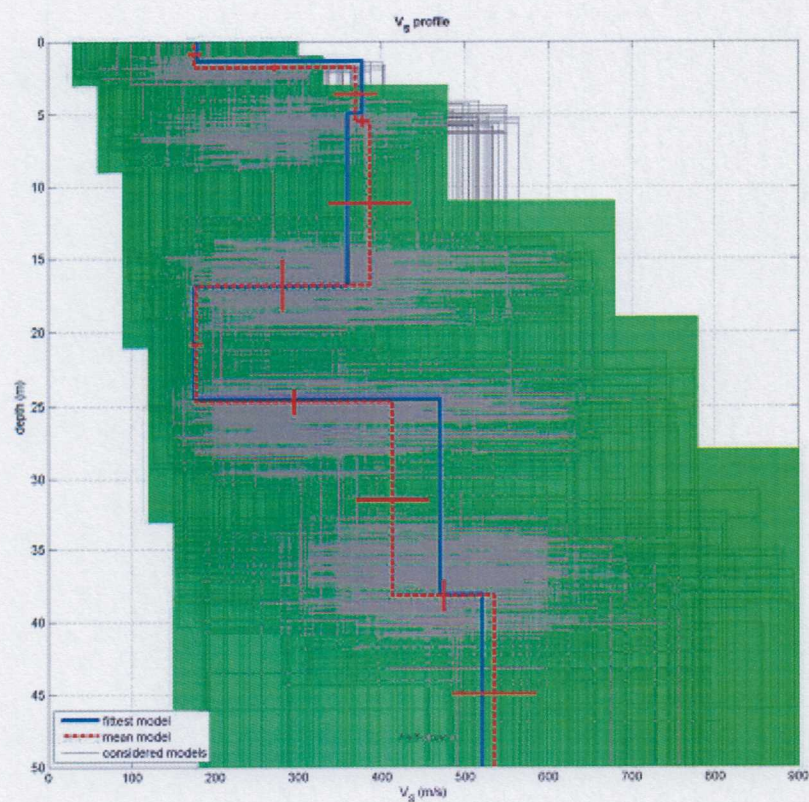


Figura II - Spettro di velocità, per lo stendimento eseguito lungo la traccia A-----B sul sito di progetto (figura n.18) che mostra il *picking* della curva di dispersione per il modo fondamentale e per il primo modo di vibrazione delle onde superficiali.



dataset: Bibbiano - via Don P. Borghi 14.DAT

dispersion curve: Bibbiano - Scuola Media Dante Alighieri.cdp

V_{s30} (best model): 284 m/s

V_{s30} (mean model): 281 m/s

Figura III - Modello dell'andamento delle velocità delle onde di taglio (V_s) nel sottosuolo della Scuola Media Secondaria di primo grado di Bibbiano (RE). Tale modello è stato ottenuto mediante la procedura dell'inversione del segnale sismico tarato su dati stratigrafici del terreno desunti da pozzi idrici vicini (Banca Dati Geognostici – Regione Emilia Romagna – 2018).

Subsurface model

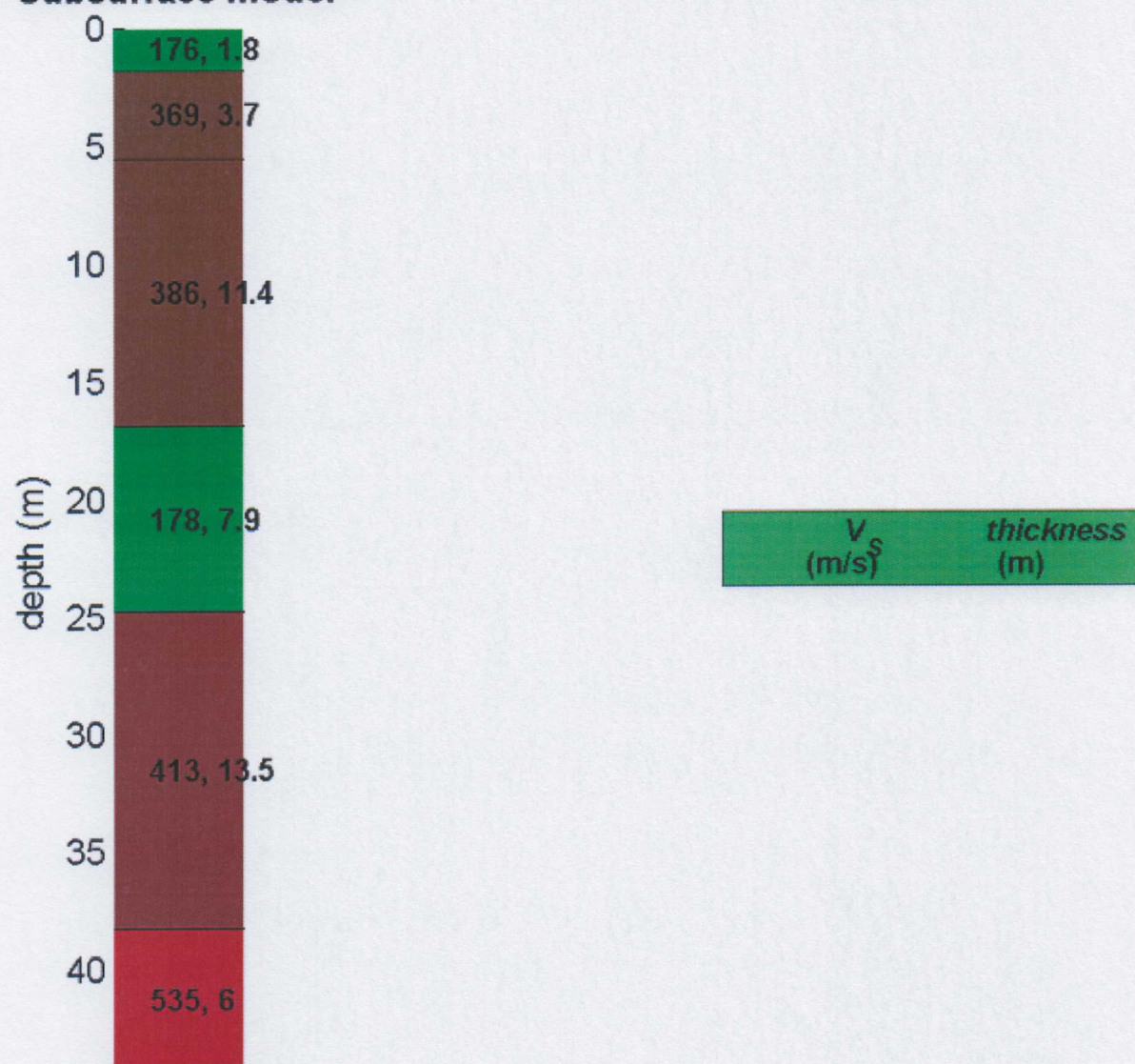


Figura IV - Modello di stratigrafia sismica del primo sottosuolo della Scuola Media Secondaria di primo grado di Bibbiano (RE) ottenuto dalla prova M.A.S.W. eseguita lungo la traccia sismica A-----B (figura n.18).

INDAGINE GEOFISICA
STRATIGRAFIA SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA

Committente: Amministrazione Comunale di Bibbiano

Via: Don Pasquino Borghi n.14 - Comune: Bibbiano (RE)

Lavoro: Miglioramento sismico della scuola secondaria di primo grado “Dante Alighieri”.
Variante per adeguamento ai sensi dell’articolo 8.4.3 NTC2018.

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 ottobre 2016, su commissione dell'Amministrazione Comunale di Bibbiano, sono state effettuate n.2 (due) misure di rumore sismico in via Don Pasquino Borghi n.14, nell'area cortiliva della scuola secondaria di primo grado di Bibbiano (RE)). Le prove sono state indicate come HVSR1 e HVSR2 sulla planimetria fuori scala dell'area di cantiere con ubicazione delle indagini geognostiche (figura n.18).

Per eseguire l'indagine di stratigrafia 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.

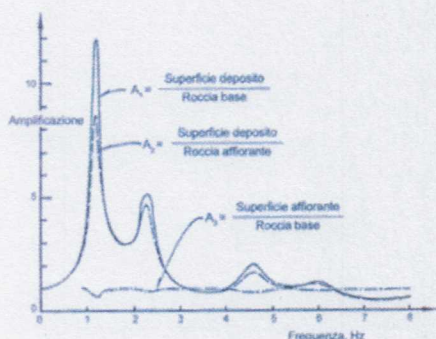
Metodologia di indagine per il calcolo del moto sismico in superficie

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 acquisitore dati HVSR costituito da una terna di geofoni con frequenza di risonanza di 2 Hz, accoppiati sia meccanicamente che elettricamente e da un acquisitore 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.

E' 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: DON PASQUINO BORGHI N.14 - 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 VI), la stratigrafia sismica del primo sottosuolo (tabella D - figura VIII) e la tabella riassuntiva dei parametri ricavati dall'indagine sismica eseguita (tabella E). 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 G). La registrazione (figura V) mostra un chiaro picco di frequenza (f) a circa $f_2 \approx 7,3$ Hertz (2° sismostrato) che corrisponde ad un periodo di oscillazione caratteristico del sito desumibile dallo spettro HVSR pari a $T \approx 0,14$ secondi. Questo picco può essere messo in relazione ad un contrasto litologico che si individua ad una profondità di circa $\approx -6,00$ 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, nel quale la velocità delle onde di taglio risulta essere pari a circa $V_s \approx 180$ m/s. Altri picchi secondari sono presenti rispettivamente alle frequenze di circa $f_3 \approx 4,1$ Hertz (3° sismostrato), $f_4 \approx 3,0$ Hertz (4° sismostrato), $f_5 \approx 1,8$ Hertz (5° sismostrato) e $f_6 \approx 0,9$ Hertz (6° sismostrato) nell'ambito di un sottosuolo nel quale le velocità delle onde di taglio aumentano, più o meno gradualmente, con la profondità ad eccezione del 5° sismostrato dove è stato riscontrato un'inversione delle velocità delle onde di taglio. L'altezza del picco di frequenza fondamentale del sottosuolo, che è risultata essere pari ad $A = 2,6$, è una stima dell'intensità del contrasto di impedenza del sottosuolo (si tratta di un contrasto di moderata intensità).

1° SISMOSTRATO	2° SISMOSTRATO	3° SISMOSTRATO	4° SISMOSTRATO	5° SISMOSTRATO	6° SISMOSTRATO	7° SISMOSTRATO
$V_s = 170$ m/s	$V_s = 180$ m/s	$V_s = 380$ m/s	$V_s = 450$ m/s	$V_s = 300$ m/s	$V_s = 420$ m/s	$V_s = 500$ m/s
$d = 2,00$ m	$d = 4,00$ m	$d = 10,00$ m	$d = 10,00$ m	$d = 15,00$ m	$d = 60,00$ m	<i>bedrock sismico locale di base</i>

Tabella D Stratigrafia sismica del sottosuolo del sito di progetto di via Don Pasquino Borghi n.14 a Bibbiano (RE) in corrispondenza della prova 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:

$$V_{s30} \approx 313 \text{ m/s}$$

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 ascrivito 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

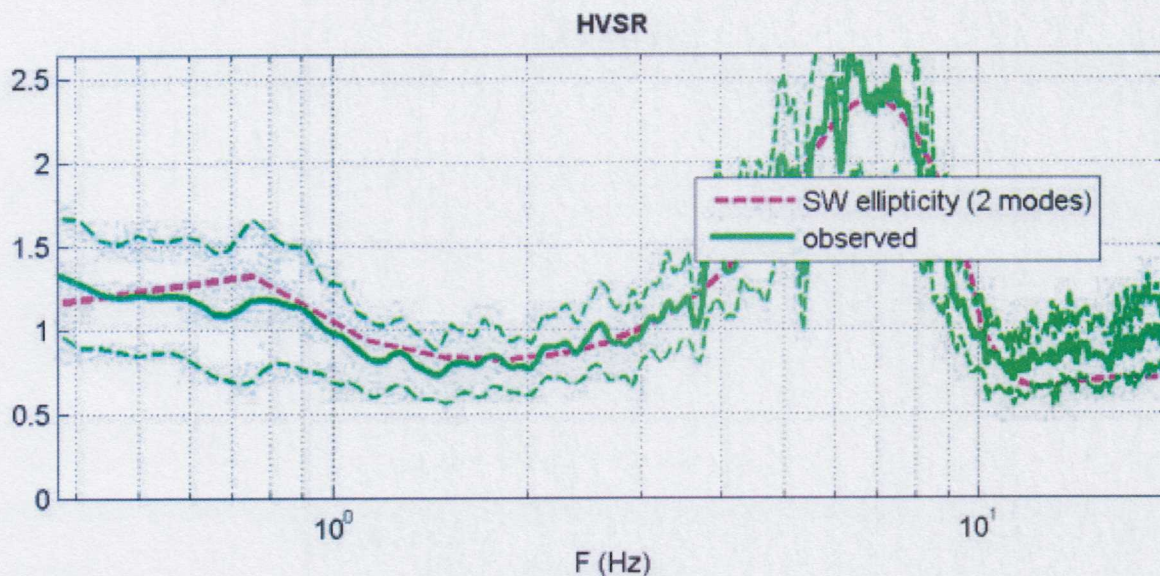


Figura V - Curva H/V registrata sul sito di progetto di via Don Pasquino Borghi n.14 a Bibbiano (RE) in corrispondenza di HVS1.

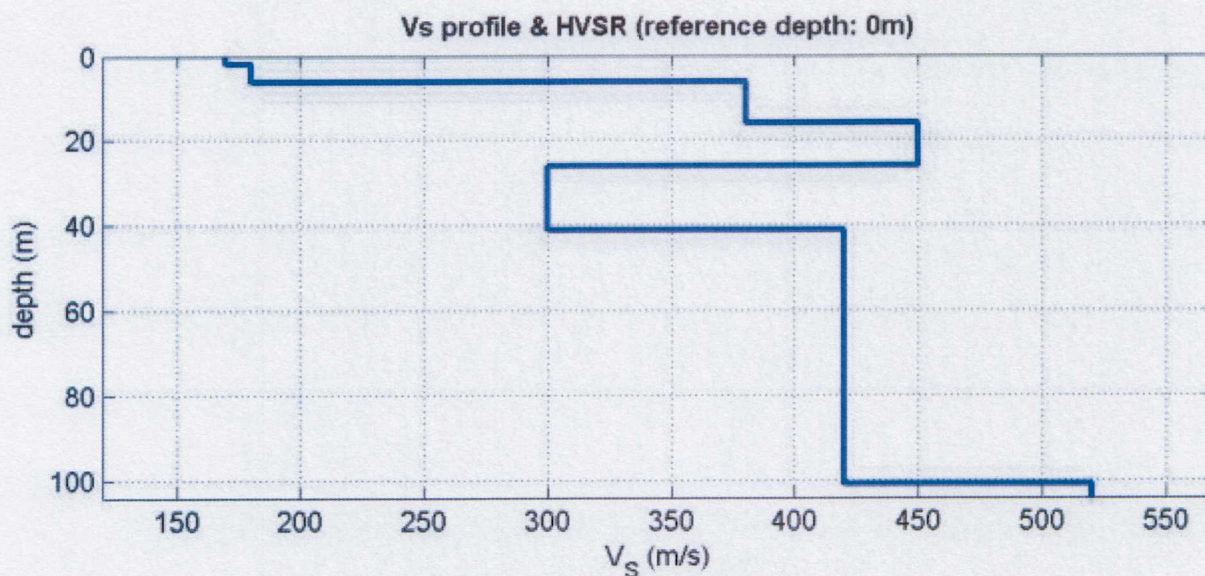


Figura VI - Profilo dell'andamento delle velocità delle onde di taglio con la profondità nel sottosuolo di via Don Pasquino Borghi n.14 a Bibbiano (RE) in corrispondenza di HVS1.

V_s (m/s): 170; 180; 380; 450; 300; 420; 520; (valori delle onde di taglio)

Strati (m): 2.0; 4.0; 10.0; 10.0; 15.0; 60.0; (spessore dei sismostrati)

Densità (g/cm^3) (valori approssimati): 1.80; 1.82; 2.00; 2.04; 1.94; 2.02; 2.07;

Modulo di taglio (MPa) (valori approssimati): 52; 59; 288; 413; 175; 357; 561;

V_p (m/s): 354; 376; 792; 938; 624; 874; 1083; (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): 313

Tabella E 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 Don Pasquino Borghi n.14 a Bibbiano (RE) in corrispondenza di HVS1.

- 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 F 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).

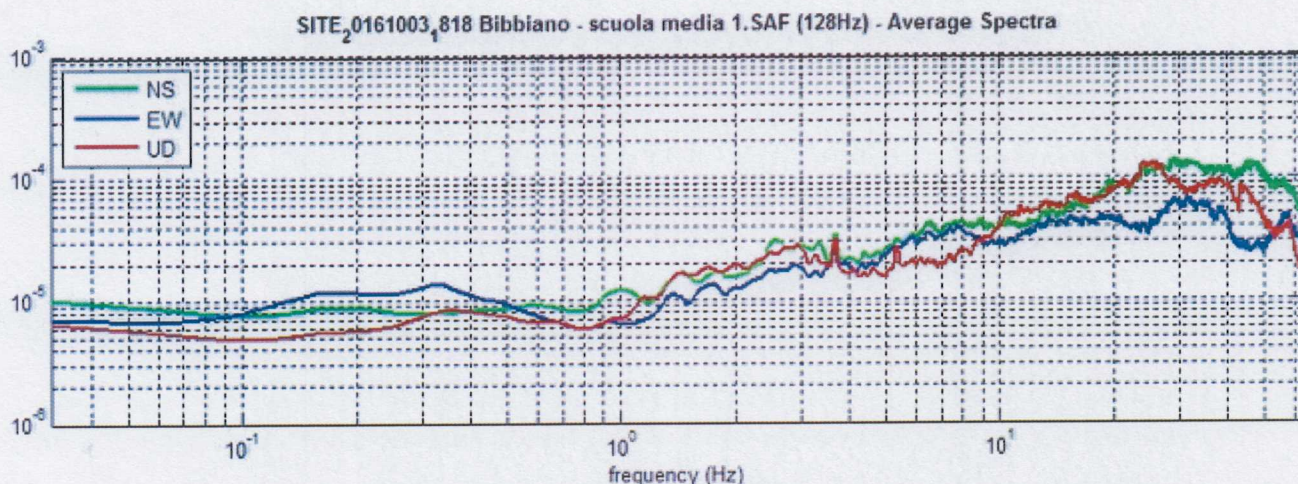


Figura VII Curve velocità/frequenze delle onde sismiche da microtremore, secondo le tre componenti tra loro ortogonali, registrate sul sito di progetto di via Don Pasquino Borghi n.14 a Bibbiano (RE) in corrispondenza di HVSRI.

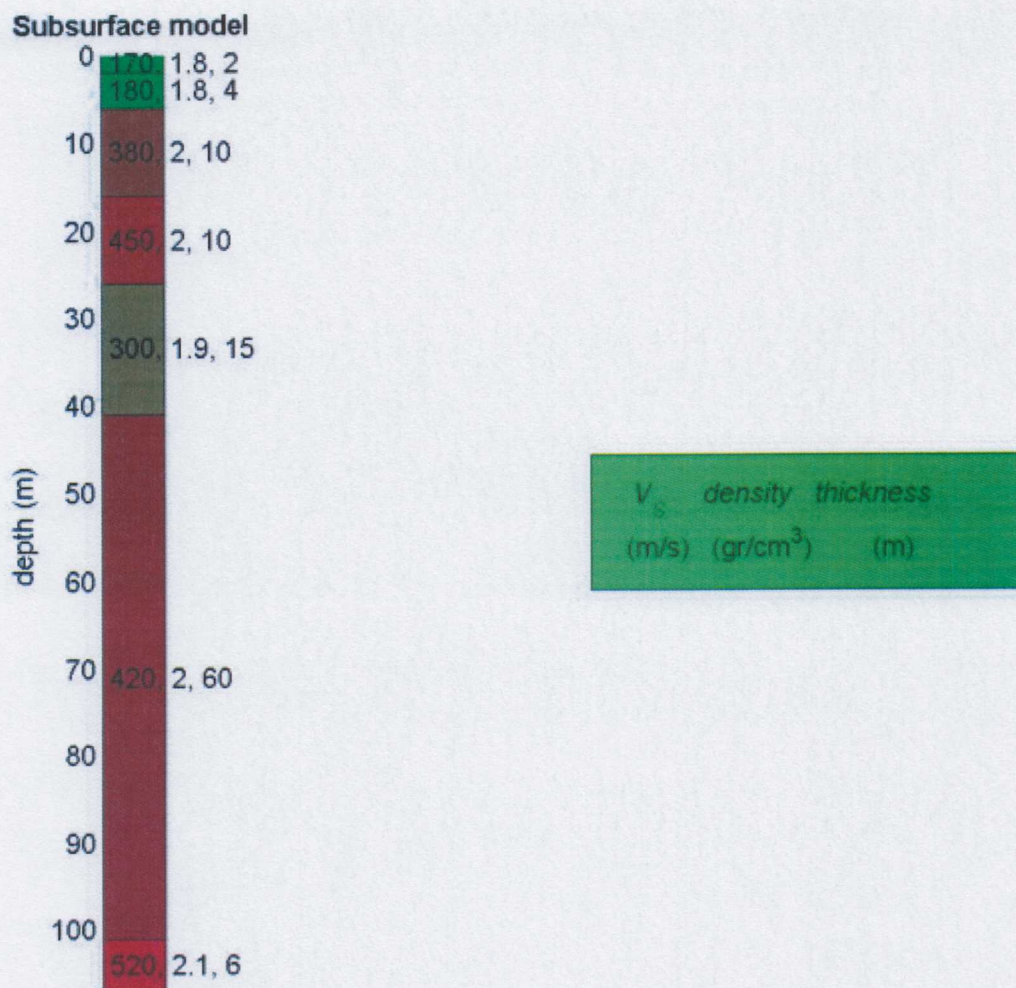


Figura VIII Stratigrafia sismica del sottosuolo di via Don Pasquino Borghi n.14 a Bibbiano (RE) in corrispondenza della prova di stratigrafia sismica passiva a stazione singola HVSR1.

Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio

www.winmasw.com

Date: 4 10 2016

Time: 7 43

Dataset: SITE_20161003_1818 Bibbiano - scuola media 1.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 (Hertz): 7.35

Peak HVSR value: 2.6

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

#1. [$f_0 > 10/Lw$]: $6.4 > 0.5$ (OK)

#2. [$nc > 200$]: $15126 > 200$ (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 5.4Hz (OK)

#2. [exists f^+ in the range [$f_0, 4f_0$] | $AH/V(f^+) < A_0/2$]: yes, at frequency 9.1Hz (OK)

#3. [$A_0 > 2$]: $2.6 > 2$ (OK)

#4. [$f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$]: (OK)

#5. [$\sigma_A(f) < \epsilon(f_0)$]: $1.894 > 0.320$ (NO)

#6. [$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$]: $0.769 < 1.58$ (OK)

Tabella G Parametri di impostazione dell'indagine di stratigrafia sismica a stazione singola HVSR1.

HVSR2 – VIA: DON PASQUINO BORGHI N.14 – COMUNE: BIBBIANO (RE)

Il risultato dell'elaborazione è la curva dei rapporti spettrali della componente orizzontale su quella verticale delle onde di superficie (figura IX), il profilo dell'andamento delle velocità delle onde di taglio con la profondità (figura X), la stratigrafia sismica del primo sottosuolo (tabella H - figura XII) e la tabella riassuntiva dei parametri ricavati dall'indagine sismica eseguita (tabella I). Nella figura XI 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 M). La registrazione (figura IX) 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 un contrasto litologico che si individua ad una profondità di circa $\approx -8,00$ 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, nel quale la velocità delle onde di taglio risulta essere pari a circa $V_s \approx 250$ m/s. Altri picchi secondari sono presenti rispettivamente alle frequenze di circa $f_3 \approx 4,2$ Hertz (3° sismostrato), $f_4 \approx 2,9$ Hertz (4° sismostrato), $f_5 \approx 0,9$ Hertz (5° sismostrato) e $f_6 \approx 0,8$ Hertz (6° sismostrato) nell'ambito di un sottosuolo nel quale le velocità delle onde di taglio aumentano, più o meno gradualmente, con la profondità ad eccezione del 5° sismostrato dove è stato riscontrato un'inversione delle velocità delle onde di taglio. L'altezza del picco di frequenza fondamentale del sottosuolo, che è risultata essere pari ad $A = 2,0$, è una stima dell'intensità del contrasto di impedenza del sottosuolo (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 H Stratigrafia sismica del sottosuolo del sito di progetto di via Don Pasquino Borghi n.14 a Bibbiano (RE) in corrispondenza della prova 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 i -esimo espresso in metri;

v_i = velocità onde di taglio strato i -esimo 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 ascrivito 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

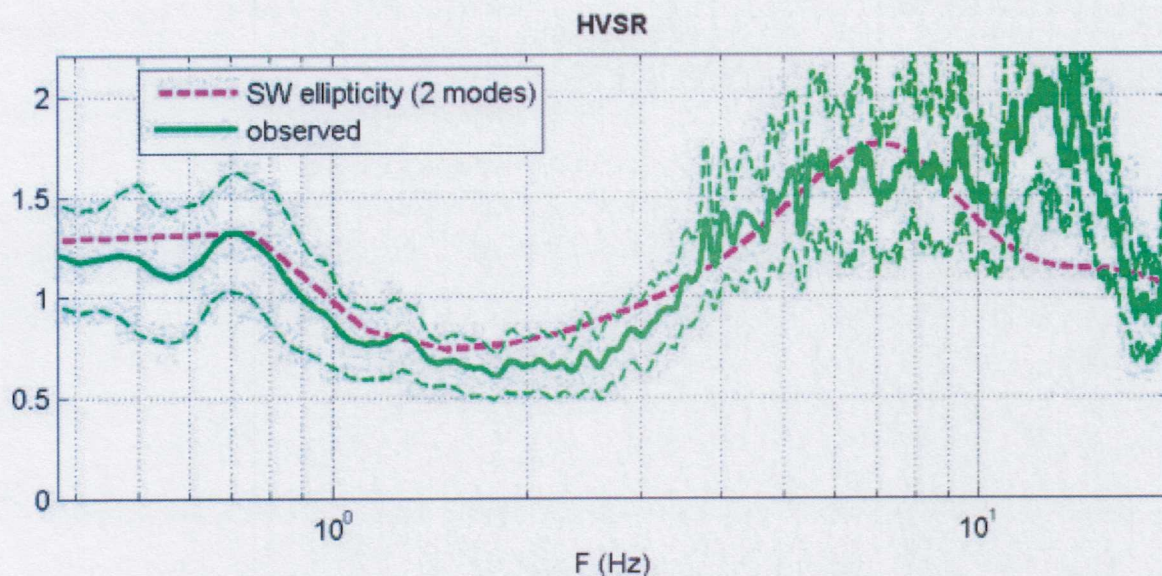


Figura IX - Curva H/V registrata sul sito di progetto di via Don Pasquino Borghi n.14 a Bibbiano (RE) in corrispondenza di HVSR2.

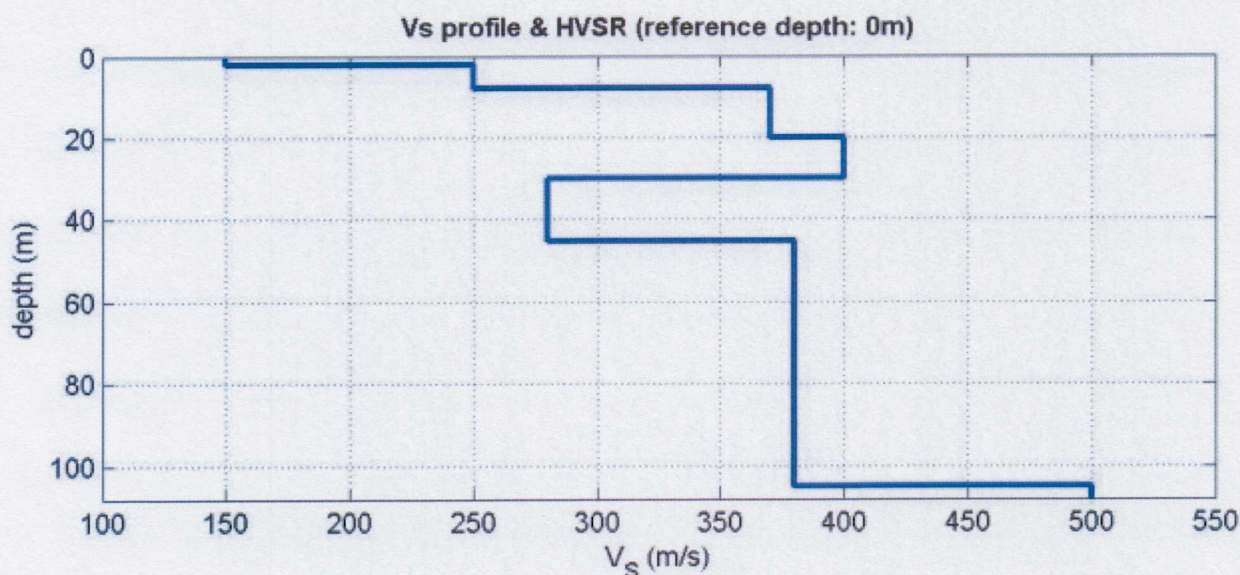


Figura X - Profilo dell'andamento delle velocità delle onde di taglio con la profondità nel sottosuolo di via Don Pasquino Borghi n.14 a Bibbiano (RE) in corrispondenza di HVSR2.

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 I 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 Don Pasquino Borghi n.14 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 L 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).

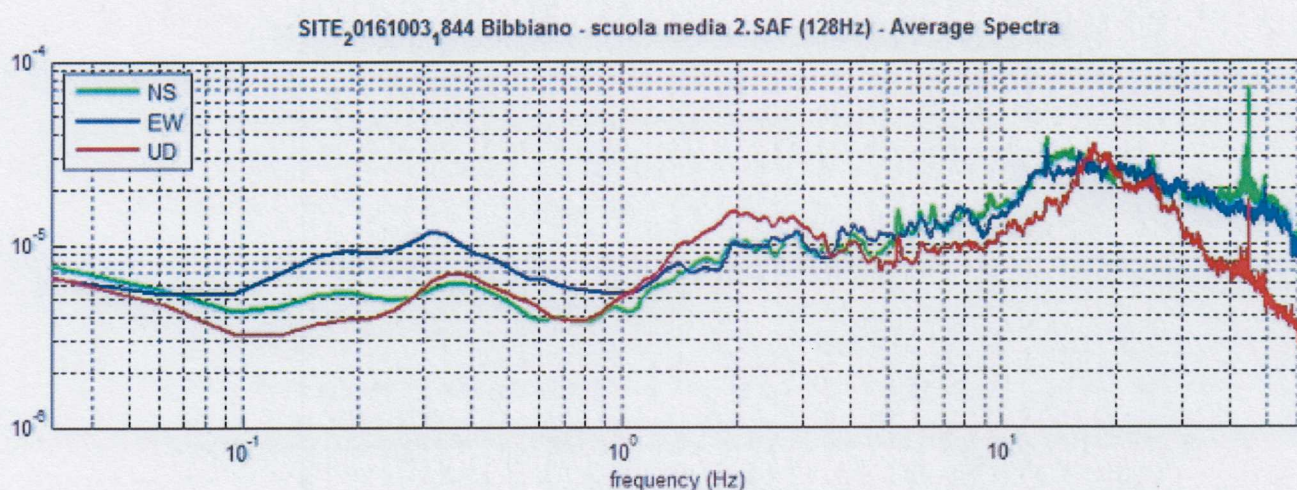


Figura XI - Curve velocità/frequenze delle onde sismiche da microtremore, secondo le tre componenti tra loro ortogonali, registrate sul sito di progetto di via Don Pasquino Borghi n.14 a Bibbiano (RE) in corrispondenza dell'indagine HVSR2.

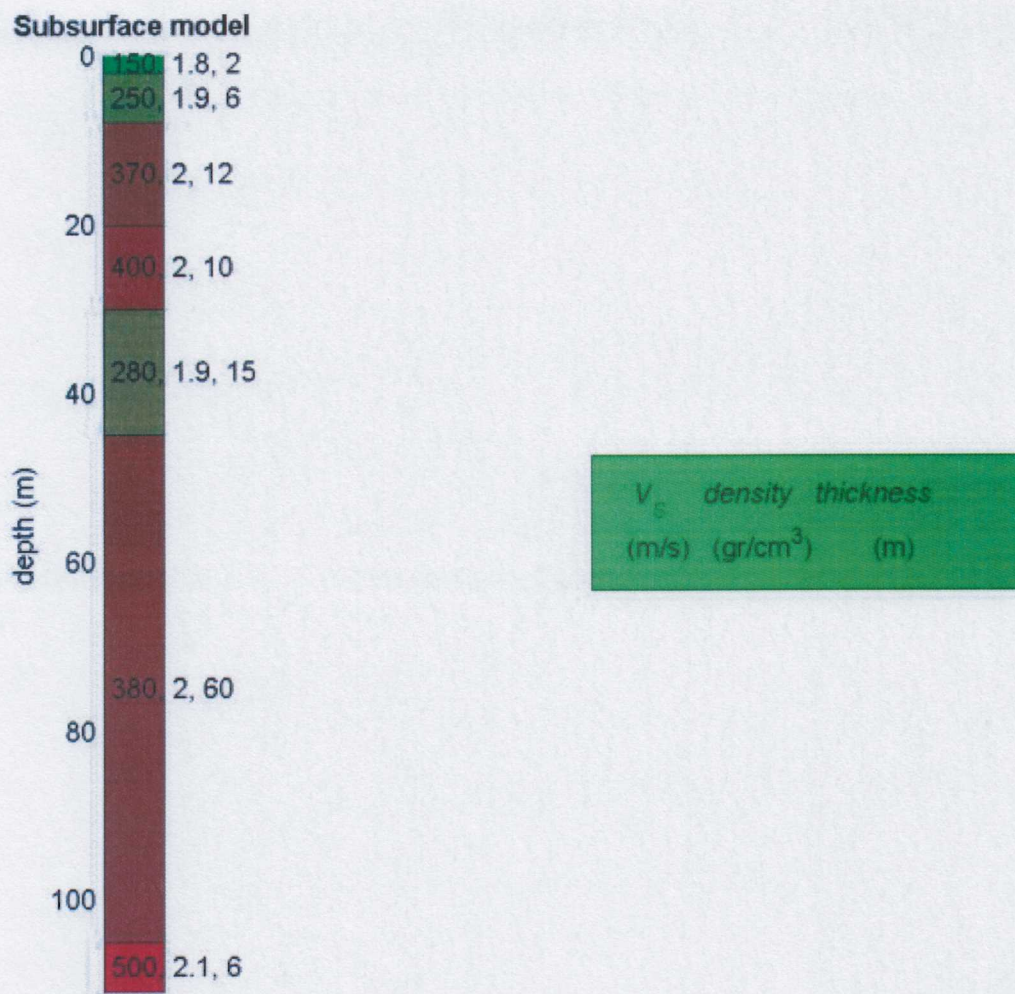


Figura XII - Stratigrafia sismica del sottosuolo di via Don Pasquino Borghi n.14 a Bibbiano (RE) in corrispondenza della prova di stratigrafia sismica passiva a stazione singola HVS2.

Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio

www.winmasw.com

Date: 3 10 2016

Time: 19 44

Dataset: SITE_20161003_1844 Bibbiano - scuola media 2.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 HVS2 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. [f_{peak}[Ah/v(f) ± sigmaA(f)] = f₀ ± 5%]: (NO)

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

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

Tabella M Parametri di impostazione dell'indagine di stratigrafia sismica a stazione singola HVS2.

PENETROMETRO DINAMICO IN USO : DM-30 (60°)

Classificazione ISSMFE (1988) dei penetrometri dinamici		
TIPO	Sigla Certificato	Massa Battente M (kg)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$
Super pesante	DPSH (Super Heavy)	$M \geq 60$

CARATTERISTICHE TECNICHE : DM-30 (60°)

MASSA BATTENTE	M = 30,00 kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA	H = 0,20 m
MASSA SISTEMA BATTUTA	Ms = 13,60 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA	D = 35,70 mm
AREA BASE PUNTA CONICA	A = 10,0000 cm ²
ANGOLO APERTURA PUNTA	$\alpha = 60^\circ$
LUNGHEZZA DELLE ASTE	La = 1,00 m
MASSA ASTE PER METRO	Ma = 2,40 kg
PROF. GIUNZIONE 1 ^a ASTA	P1 = 0,80 m
AVANZAMENTO PUNTA	$\delta = 0,10$ m
NUMERO DI COLPI PUNTA	N = N(10) $\Rightarrow$ Relativo ad un avanzamento di 10 cm
RIVESTIMENTO / FANGHI	SI

RENDIMENTO SPECIFICO x COLPO

$$Q = (MH)/(A\delta) = 6,00 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{prova SPT : } Q_{spt} = 7,83 \text{ kg/cm}^2)$$

$$\text{COEFF. TEORICO RENDIMENTO} \quad \beta_t = Q/Q_{spt} = 0,766 \quad (\text{teoricamente : } N_{spt} = \beta_t N)$$

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd [funzione del numero di colpi N] (FORMULA OLANDESE) :

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

Rpd = resistenza dinamica punta [area A]
 e = infissione per colpo = δ / N

M = massa battente (altezza caduta H)
 P = massa totale aste e sistema battuta

UNITA' di MISURA (conversioni)

1 kg/cm ² = 0.098067 MPa $\approx$ 0,1 MPa
1 MPa = 1 MN/m ² = 10.197 kg/cm ²
1 bar = 1.0197 kg/cm ² = 0.1 MPa
1 kN = 0.001 MN = 101.97 kg

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
TABELLE VALORI DI RESISTENZA

DIN 1

- committente : Comune di Bibbiano
- lavoro : adeguamento sismico scuola media
- località : via D.P. Borghi n.14 - Bibbiano (RE)

- data prova : 01/10/2016
- quota inizio : piano campagna
- prof. falda : Falda non rilevata

- note : max profondità raggiunta a rifiuto

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	asta
0,00 - 0,10	9	35,2	1	3,50 - 3,60	9	30,5	4
0,10 - 0,20	23	90,0	1	3,60 - 3,70	9	30,5	4
0,20 - 0,30	24	93,9	1	3,70 - 3,80	8	27,1	4
0,30 - 0,40	30	117,4	1	3,80 - 3,90	9	29,1	5
0,40 - 0,50	24	93,9	1	3,90 - 4,00	8	25,9	5
0,50 - 0,60	24	93,9	1	4,00 - 4,10	6	19,4	5
0,60 - 0,70	16	62,6	1	4,10 - 4,20	7	22,7	5
0,70 - 0,80	23	90,0	1	4,20 - 4,30	7	22,7	5
0,80 - 0,90	21	78,1	2	4,30 - 4,40	9	29,1	5
0,90 - 1,00	18	66,9	2	4,40 - 4,50	9	29,1	5
1,00 - 1,10	20	74,4	2	4,50 - 4,60	9	29,1	5
1,10 - 1,20	30	111,6	2	4,60 - 4,70	11	35,6	5
1,20 - 1,30	15	55,8	2	4,70 - 4,80	19	61,5	5
1,30 - 1,40	13	48,3	2	4,80 - 4,90	20	62,1	6
1,40 - 1,50	15	55,8	2	4,90 - 5,00	25	77,6	6
1,50 - 1,60	16	59,5	2	5,00 - 5,10	24	74,5	6
1,60 - 1,70	14	52,1	2	5,10 - 5,20	20	62,1	6
1,70 - 1,80	15	55,8	2	5,20 - 5,30	20	62,1	6
1,80 - 1,90	11	39,0	3	5,30 - 5,40	23	71,4	6
1,90 - 2,00	10	35,4	3	5,40 - 5,50	25	77,6	6
2,00 - 2,10	7	24,8	3	5,50 - 5,60	27	83,8	6
2,10 - 2,20	7	24,8	3	5,60 - 5,70	18	55,9	6
2,20 - 2,30	8	28,3	3	5,70 - 5,80	16	49,7	6
2,30 - 2,40	7	24,8	3	5,80 - 5,90	23	68,5	7
2,40 - 2,50	7	24,8	3	5,90 - 6,00	24	71,5	7
2,50 - 2,60	5	17,7	3	6,00 - 6,10	30	89,4	7
2,60 - 2,70	8	28,3	3	6,10 - 6,20	30	89,4	7
2,70 - 2,80	6	21,3	3	6,20 - 6,30	28	83,4	7
2,80 - 2,90	8	27,1	4	6,30 - 6,40	34	101,3	7
2,90 - 3,00	7	23,7	4	6,40 - 6,50	40	119,2	7
3,00 - 3,10	7	23,7	4	6,50 - 6,60	30	89,4	7
3,10 - 3,20	8	27,1	4	6,60 - 6,70	41	122,2	7
3,20 - 3,30	8	27,1	4	6,70 - 6,80	40	119,2	7
3,30 - 3,40	8	27,1	4	6,80 - 6,90	50	143,3	8
3,40 - 3,50	8	27,1	4				

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **DM-30 (60°)**

- M (massa battente)= **30,00 kg** - H (altezza caduta)= **0,20 m**

- Numero Colpi Punta N = **N(10)** [δ = 10 cm]

- A (area punta)= **10,0000 cm²** - D(diam. punta)= **35,70 mm**

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **SI**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

DIN 1

Scala 1: 50

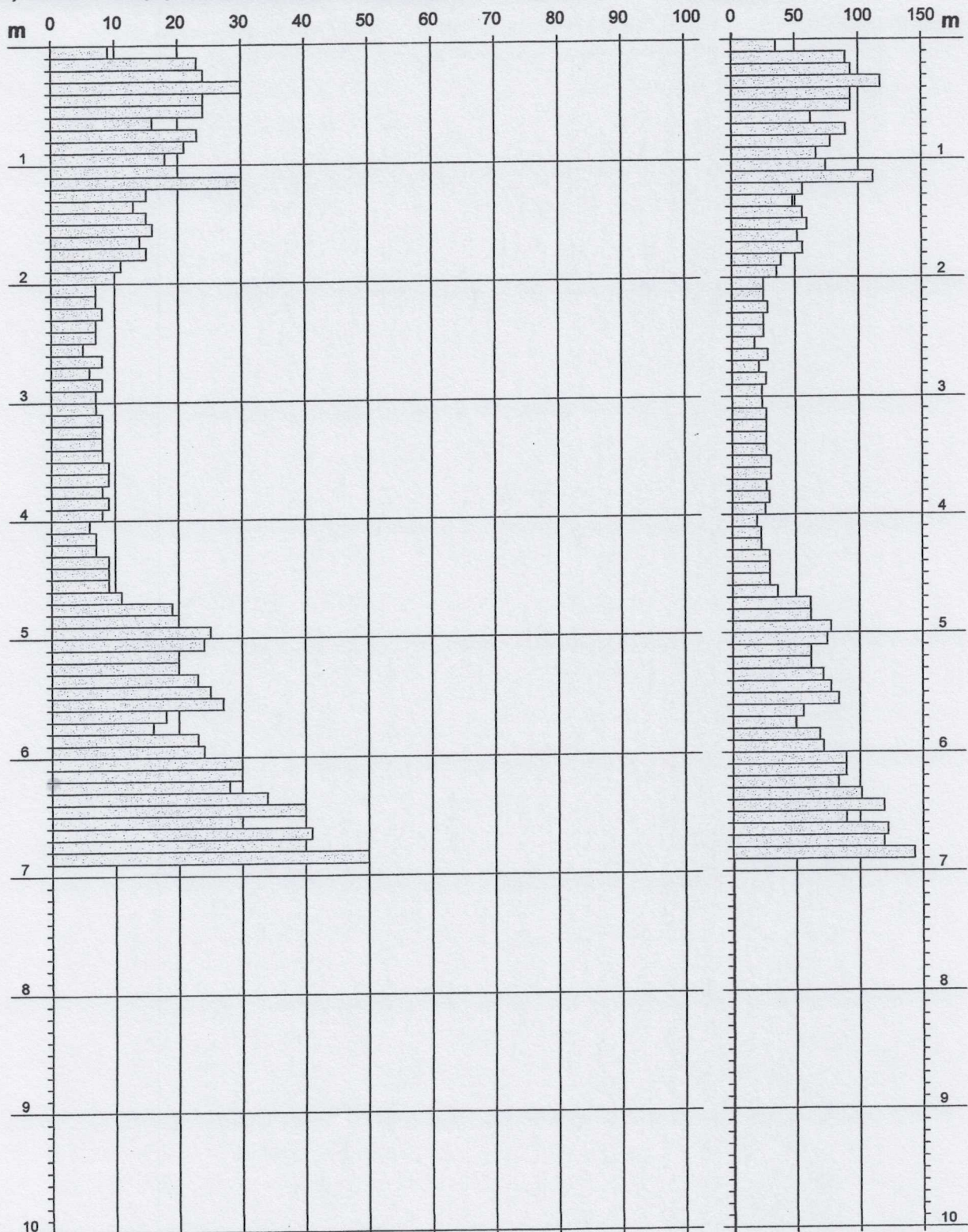
- committente : Comune di Bibbiano
 - lavoro : adeguamento sismico scuola media
 - località : via D.P. Borghi n.14 - Bibbiano (RE)

- data prova : 01/10/2016
 - quota inizio : piano campagna
 - prof. falda : Falda non rilevata

- note : max profondità raggiunta a rifiuto

N = N(10) numero di colpi penetrazione punta - avanzamento $\delta = 10,00$ cm

Rpd (kg/cm²)



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
DIAGRAMMA RESISTENZA DINAMICA PUNTA

DIN 1

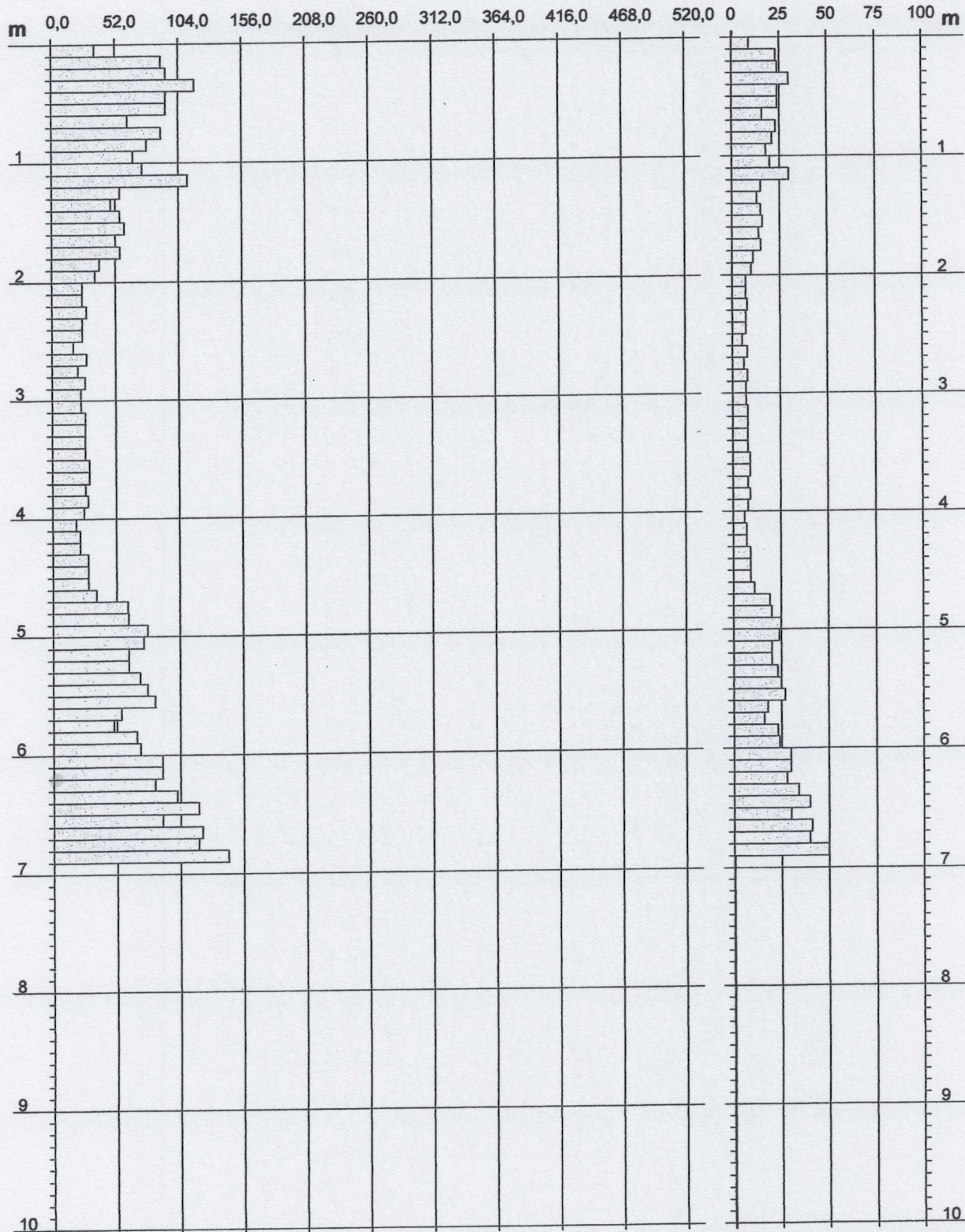
Scala 1: 50

- committente : Comune di Bibbiano
 - lavoro : adeguamento sismico scuola media
 - località : via D.P. Borghi n.14 - Bibbiano (RE)

- data prova : 01/10/2016
 - quota inizio : piano campagna
 - prof. falda : Falda non rilevata

Rpd (kg/cm²) Resistenza dinamica alla punta, formula "Olandese"

N = N(10) n° colpi $\delta = 10,00$ cm



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
ELABORAZIONE STATISTICA

DIN 1

- committente : Comune di Bibbiano
- lavoro : adeguamento sismico scuola media
- località : via D.P. Borghi n.14 - Bibbiano (RE)

- data prova : 01/10/2016
- quota inizio : piano campagna
- prof. falda : Falda non rilevata

- note : max profondità raggiunta a rifiuto

n°	Profondità (m)	PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA							VCA	β	Nspt
			M	min	Max	$\frac{1}{2}(M+min)$	s	M-s	M+s			
1	0,00 2,00	N	18,6	9	30	13,8	6,2	12,4	24,7	19	0,77	15
		Rpd	70,5	35	117	52,8	24,6	45,9	95,1	72		
2	2,00 4,70	N	7,8	5	11	6,4	1,2	6,6	9,0	8	0,77	6
		Rpd	26,2	18	36	22,0	3,7	22,5	30,0	27		
3	4,70 6,80	N	26,5	16	41	21,3	7,3	19,2	33,9	26	0,77	20
		Rpd	80,6	50	122	65,1	20,9	59,7	101,4	79		

M: valore medio min: valore minimo Max: valore massimo s: scarto quadratico medio VCA: valore caratteristico assunto
N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento $\delta = 10$ cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (kg/cm^2)
 β : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico $\beta_t = 0,77$) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 30$ cm)

Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

DIN 1

						NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA						
n°	H1	H2	Nspt	Vs	G	Dr	ø'	E'	Ysat	Yd	Cu	Ed	Ysat	W	e	Q	Litologia
1	0,00	2,00	15	109	98	42	31	180	1,96	1,54	0,94	90	1,96	28,6	0,773	3,60	Limo Argilloso
2	2,00	4,70	6	118	50	21	28	72	1,89	1,43	0,38	36	1,85	37,0	1,000	1,35	Limo Argilloso
3	4,70	6,80	20	161	121	50	33	240	1,99	1,59	1,25	120	2,02	24,7	0,667	3,96	Ghiaia media e Sabbia fine

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 30$ cm)

DR % = densità relativa ϕ' (°) = angolo di attrito efficace E' (kg/cm^2) = modulo di deformazione drenato $W\%$ = contenuto d'acqua
e (-) = indice dei vuoti Cu (kg/cm^2) = coesione non drenata $Ysat, Yd$ (t/m^3) = peso di volume saturo e secco (rispettivamente) del terreno
Vs (m/sec) = Velocità onde di taglio G (kg/cm^2) = Modulo di taglio dinamico Q (kg/cm^2) = $[Rpd/Chi]$ [$15 \geq Chi \geq 20$] capacità portante Sanglerat 1972

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
TABELLE VALORI DI RESISTENZA

DIN 2

- committente : Comune di Bibbiano
- lavoro : adeguamento sismico scuola media
- località : via D.P. Borghi n.14 - Bibbiano (RE)

- data prova : 01/10/2016
- quota inizio : piano campagna
- prof. falda : Falda non rilevata

- note : max profondità raggiunta a rifiuto

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	asta
0,00 - 0,10	8	31,3	1	3,40 - 3,50	5	16,9	4
0,10 - 0,20	15	58,7	1	3,50 - 3,60	9	30,5	4
0,20 - 0,30	18	70,4	1	3,60 - 3,70	11	37,2	4
0,30 - 0,40	25	97,8	1	3,70 - 3,80	10	33,8	4
0,40 - 0,50	20	78,3	1	3,80 - 3,90	11	35,6	5
0,50 - 0,60	18	70,4	1	3,90 - 4,00	13	42,1	5
0,60 - 0,70	15	58,7	1	4,00 - 4,10	12	38,8	5
0,70 - 0,80	14	54,8	1	4,10 - 4,20	8	25,9	5
0,80 - 0,90	18	66,9	2	4,20 - 4,30	8	25,9	5
0,90 - 1,00	15	55,8	2	4,30 - 4,40	9	29,1	5
1,00 - 1,10	14	52,1	2	4,40 - 4,50	14	45,3	5
1,10 - 1,20	20	74,4	2	4,50 - 4,60	16	51,8	5
1,20 - 1,30	21	78,1	2	4,60 - 4,70	18	58,3	5
1,30 - 1,40	19	70,7	2	4,70 - 4,80	19	61,5	5
1,40 - 1,50	18	66,9	2	4,80 - 4,90	22	68,3	6
1,50 - 1,60	17	63,2	2	4,90 - 5,00	23	71,4	6
1,60 - 1,70	16	59,5	2	5,00 - 5,10	25	77,6	6
1,70 - 1,80	19	70,7	2	5,10 - 5,20	27	83,8	6
1,80 - 1,90	20	70,9	3	5,20 - 5,30	23	71,4	6
1,90 - 2,00	15	53,1	3	5,30 - 5,40	21	65,2	6
2,00 - 2,10	8	28,3	3	5,40 - 5,50	20	62,1	6
2,10 - 2,20	8	28,3	3	5,50 - 5,60	19	59,0	6
2,20 - 2,30	7	24,8	3	5,60 - 5,70	22	68,3	6
2,30 - 2,40	7	24,8	3	5,70 - 5,80	25	77,6	6
2,40 - 2,50	6	21,3	3	5,80 - 5,90	28	83,4	7
2,50 - 2,60	6	21,3	3	5,90 - 6,00	24	71,5	7
2,60 - 2,70	7	24,8	3	6,00 - 6,10	30	89,4	7
2,70 - 2,80	8	28,3	3	6,10 - 6,20	34	101,3	7
2,80 - 2,90	6	20,3	4	6,20 - 6,30	27	80,5	7
2,90 - 3,00	8	27,1	4	6,30 - 6,40	19	56,6	7
3,00 - 3,10	9	30,5	4	6,40 - 6,50	28	83,4	7
3,10 - 3,20	8	27,1	4	6,50 - 6,60	34	101,3	7
3,20 - 3,30	7	23,7	4	6,60 - 6,70	44	131,1	7
3,30 - 3,40	8	27,1	4	6,70 - 6,80	50	149,0	7

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **DM-30 (60°)**

- M (massa battente)= **30,00 kg** - H (altezza caduta)= **0,20 m** - A (area punta)= **10,0000 cm²** - D(diam. punta)= **35,70 mm**

- Numero Colpi Punta N = **N(10)** [δ = 10 cm]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **SI**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

DIN 2

Scala 1: 50

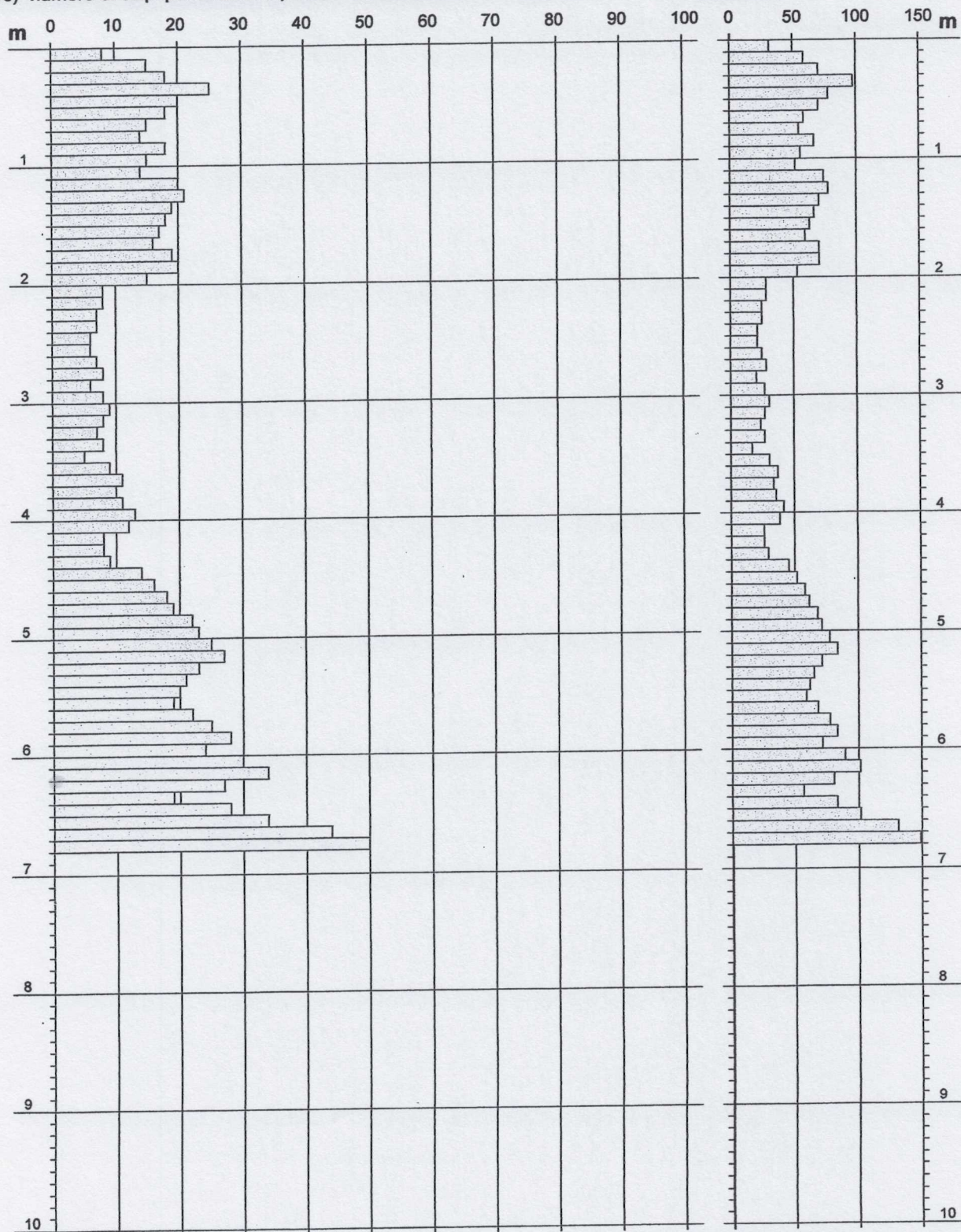
- committente : Comune di Bibbiano
 - lavoro : adeguamento sismico scuola media
 - località : via D.P. Borghi n.14 - Bibbiano (RE)

- data prova : 01/10/2016
 - quota inizio : piano campagna
 - prof. falda : Falda non rilevata

- note : max profondità raggiunta a rifiuto

N = N(10) numero di colpi penetrazione punta - avanzamento $\delta = 10,00$ cm

Rpd (kg/cm²)



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
DIAGRAMMA RESISTENZA DINAMICA PUNTA

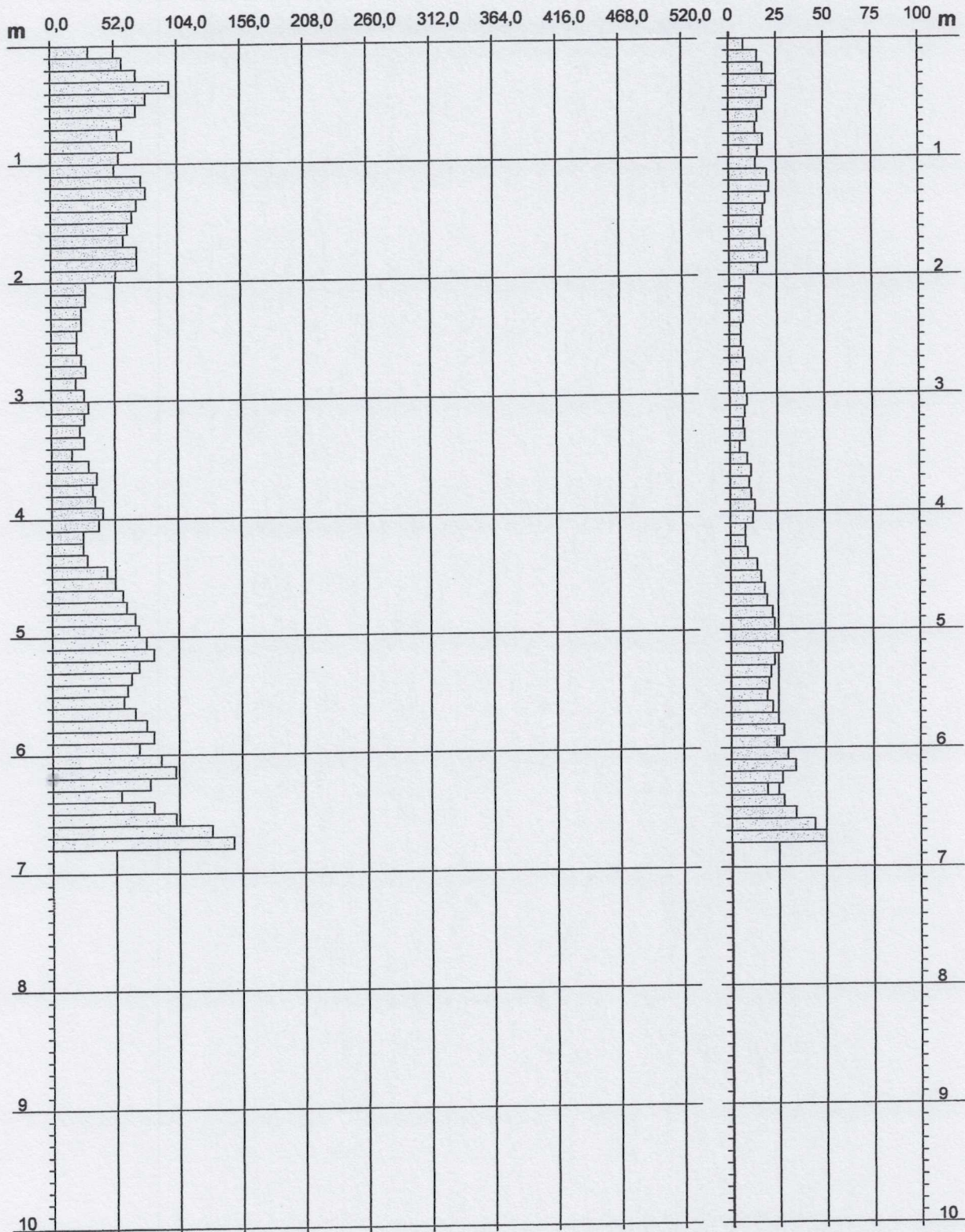
DIN 2

Scala 1: 50

- committente : Comune di Bibbiano
 - lavoro : adeguamento sismico scuola media
 - località : via D.P. Borghi n.14 - Bibbiano (RE)

- data prova : 01/10/2016
 - quota inizio : piano campagna
 - prof. falda : Falda non rilevata

Rpd (kg/cm²) Resistenza dinamica alla punta, formula "Olandese" N = N(10) n° colpi $\delta = 10,00$ cm



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
ELABORAZIONE STATISTICA

DIN 2

- committente : Comune di Bibbiano
 - lavoro : adeguamento sismico scuola media
 - località : via D.P. Borghi n.14 - Bibbiano (RE)

- data prova : 01/10/2016
 - quota inizio : piano campagna
 - prof. falda : Falda non rilevata

- note : max profondità raggiunta a rifiuto

n°	Profondità (m)	PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA							VCA	β	Nspt
			M	min	Max	$\frac{1}{2}(M+min)$	s	M-s	M+s			
1	0,00 2,00	N	17,3	8	25	12,6	3,5	13,7	20,8	17	0,77	13
		Rpd	65,1	31	98	48,2	13,4	51,7	78,6	64		
2	2,00 4,40	N	8,3	5	13	6,6	2,0	6,3	10,3	8	0,77	6
		Rpd	28,1	17	42	22,5	6,0	22,0	34,1	27		
3	4,40 6,70	N	24,4	14	44	19,2	6,7	17,7	31,2	24	0,77	18
		Rpd	74,8	45	131	60,1	18,9	55,9	93,7	74		

M: valore medio min: valore minimo Max: valore massimo s: scarto quadratico medio VCA: valore caratteristico assunto
 N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento $\delta = 10$ cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (kg/cm²)
 β : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico $\beta_t = 0,77$) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 30$ cm)

Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

DIN 2

			NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA									
n°	H1	H2	Nspt	Vs	G	Dr	ø'	E'	Ysat	Yd	Cu	Ed	Ysat	W	e	Q	Litologia
1	0,00	2,00	13	107	88	39	30	156	1,95	1,53	0,81	78	1,93	30,3	0,818	3,20	Limo Argilloso
2	2,00	4,40	6	117	50	21	28	72	1,89	1,43	0,38	36	1,85	37,0	1,000	1,36	Limo Argilloso
3	4,40	6,70	18	157	112	47	32	216	1,98	1,57	1,13	108	2,00	26,2	0,708	3,68	Ghiaia media e Sabbia fine

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 30$ cm)

DR % = densità relativa ϕ' (°) = angolo di attrito efficace E' (kg/cm²) = modulo di deformazione drenato W% = contenuto d'acqua
 e (-) = indice dei vuoti Cu (kg/cm²) = coesione non drenata Ysat, Yd (t/m³) = peso di volume saturo e secco (rispettivamente) del terreno
 Vs (m/sec) = Velocità onde di taglio G (kg/cm²) = Modulo di taglio dinamico Q (kg/cm²) = [Rpd/Chi] [15>=Chi>=20] capacità portante Sanglerat 1972

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
TABELLE VALORI DI RESISTENZA

DIN 3

- committente : Comune di Bibbiano
- lavoro : adeguamento sismico scuola media
- località : via D.P. Borghi n.14 - Bibbiano (RE)

- data prova : 01/10/2016
- quota inizio : piano campagna
- prof. falda : Falda non rilevata

- note : max profondità raggiunta a rifiuto

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	asta
0,00 - 0,10	7	27,4	1	3,50 - 3,60	9	30,5	4
0,10 - 0,20	9	35,2	1	3,60 - 3,70	9	30,5	4
0,20 - 0,30	11	43,0	1	3,70 - 3,80	9	30,5	4
0,30 - 0,40	15	58,7	1	3,80 - 3,90	9	29,1	5
0,40 - 0,50	15	58,7	1	3,90 - 4,00	11	35,6	5
0,50 - 0,60	22	86,1	1	4,00 - 4,10	9	29,1	5
0,60 - 0,70	20	78,3	1	4,10 - 4,20	12	38,8	5
0,70 - 0,80	23	90,0	1	4,20 - 4,30	8	25,9	5
0,80 - 0,90	26	96,7	2	4,30 - 4,40	9	29,1	5
0,90 - 1,00	19	70,7	2	4,40 - 4,50	13	42,1	5
1,00 - 1,10	24	89,3	2	4,50 - 4,60	14	45,3	5
1,10 - 1,20	17	63,2	2	4,60 - 4,70	12	38,8	5
1,20 - 1,30	15	55,8	2	4,70 - 4,80	17	55,0	5
1,30 - 1,40	18	66,9	2	4,80 - 4,90	22	68,3	6
1,40 - 1,50	22	81,8	2	4,90 - 5,00	22	68,3	6
1,50 - 1,60	18	66,9	2	5,00 - 5,10	20	62,1	6
1,60 - 1,70	14	52,1	2	5,10 - 5,20	19	59,0	6
1,70 - 1,80	8	29,8	2	5,20 - 5,30	23	71,4	6
1,80 - 1,90	8	28,3	3	5,30 - 5,40	25	77,6	6
1,90 - 2,00	7	24,8	3	5,40 - 5,50	27	83,8	6
2,00 - 2,10	8	28,3	3	5,50 - 5,60	29	90,0	6
2,10 - 2,20	7	24,8	3	5,60 - 5,70	24	74,5	6
2,20 - 2,30	8	28,3	3	5,70 - 5,80	24	74,5	6
2,30 - 2,40	9	31,9	3	5,80 - 5,90	22	65,6	7
2,40 - 2,50	6	21,3	3	5,90 - 6,00	22	65,6	7
2,50 - 2,60	6	21,3	3	6,00 - 6,10	18	53,6	7
2,60 - 2,70	7	24,8	3	6,10 - 6,20	19	56,6	7
2,70 - 2,80	7	24,8	3	6,20 - 6,30	16	47,7	7
2,80 - 2,90	8	27,1	4	6,30 - 6,40	20	59,6	7
2,90 - 3,00	6	20,3	4	6,40 - 6,50	20	59,6	7
3,00 - 3,10	8	27,1	4	6,50 - 6,60	24	71,5	7
3,10 - 3,20	9	30,5	4	6,60 - 6,70	33	98,3	7
3,20 - 3,30	10	33,8	4	6,70 - 6,80	35	104,3	7
3,30 - 3,40	11	37,2	4	6,80 - 6,90	42	120,4	8
3,40 - 3,50	11	37,2	4	6,90 - 7,00	50	143,3	8

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **DM-30 (60°)**

- M (massa battente)= **30,00 kg** - H (altezza caduta)= **0,20 m** - A (area punta)= **10,0000 cm²** - D(diam. punta)= **35,70 mm**

- Numero Colpi Punta N = N(10) [$\delta = 10$ cm]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **SI**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

DIN 3

Scala 1: 50

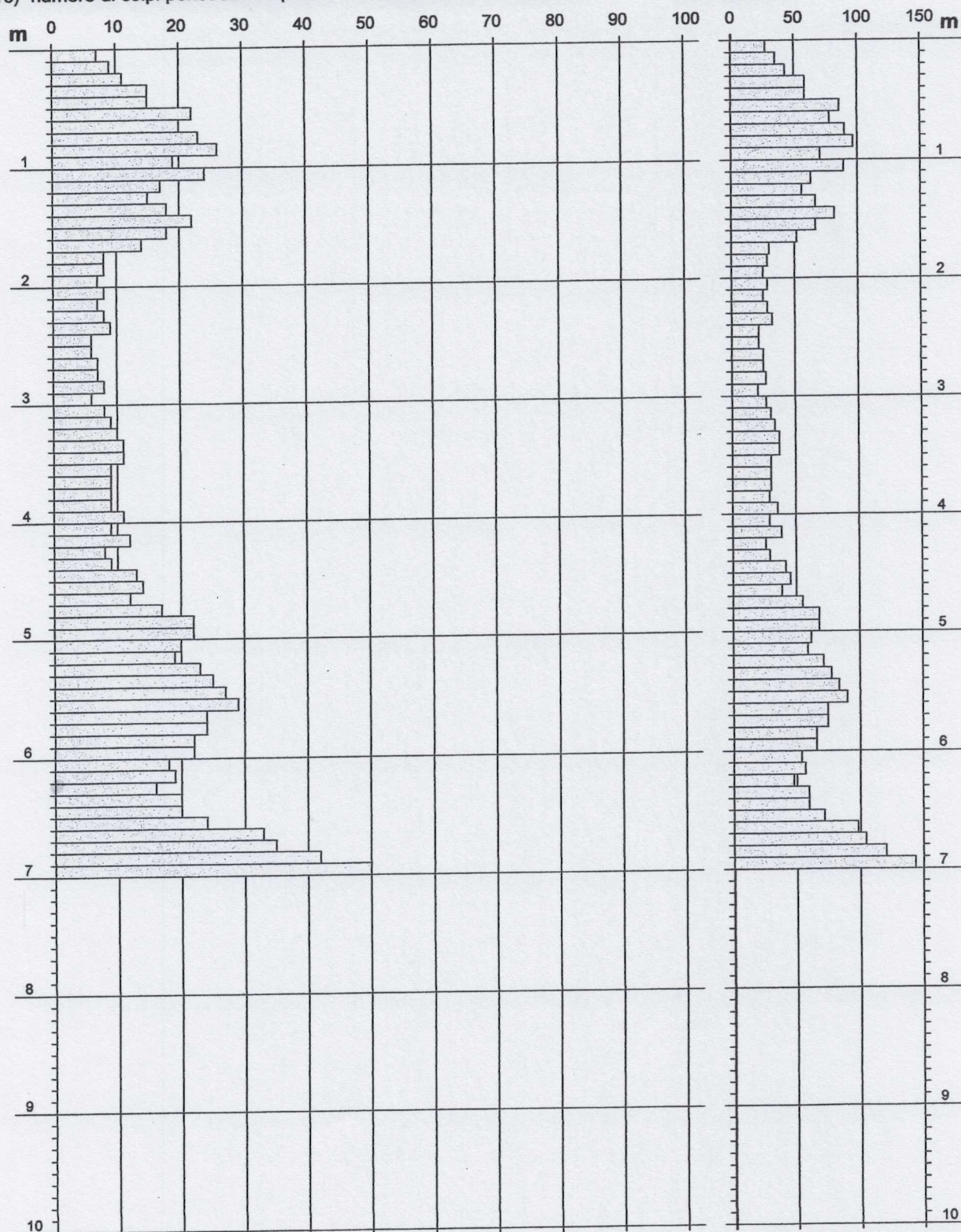
- committente : Comune di Bibbiano
 - lavoro : adeguamento sismico scuola media
 - località : via D.P. Borghi n.14 - Bibbiano (RE)

- data prova : 01/10/2016
 - quota inizio : piano campagna
 - prof. falda : Falda non rilevata

- note : max profondità raggiunta a rifiuto

N = N(10) numero di colpi penetrazione punta - avanzamento $\delta = 10,00$ cm

Rpd (kg/cm²)



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
DIAGRAMMA RESISTENZA DINAMICA PUNTA

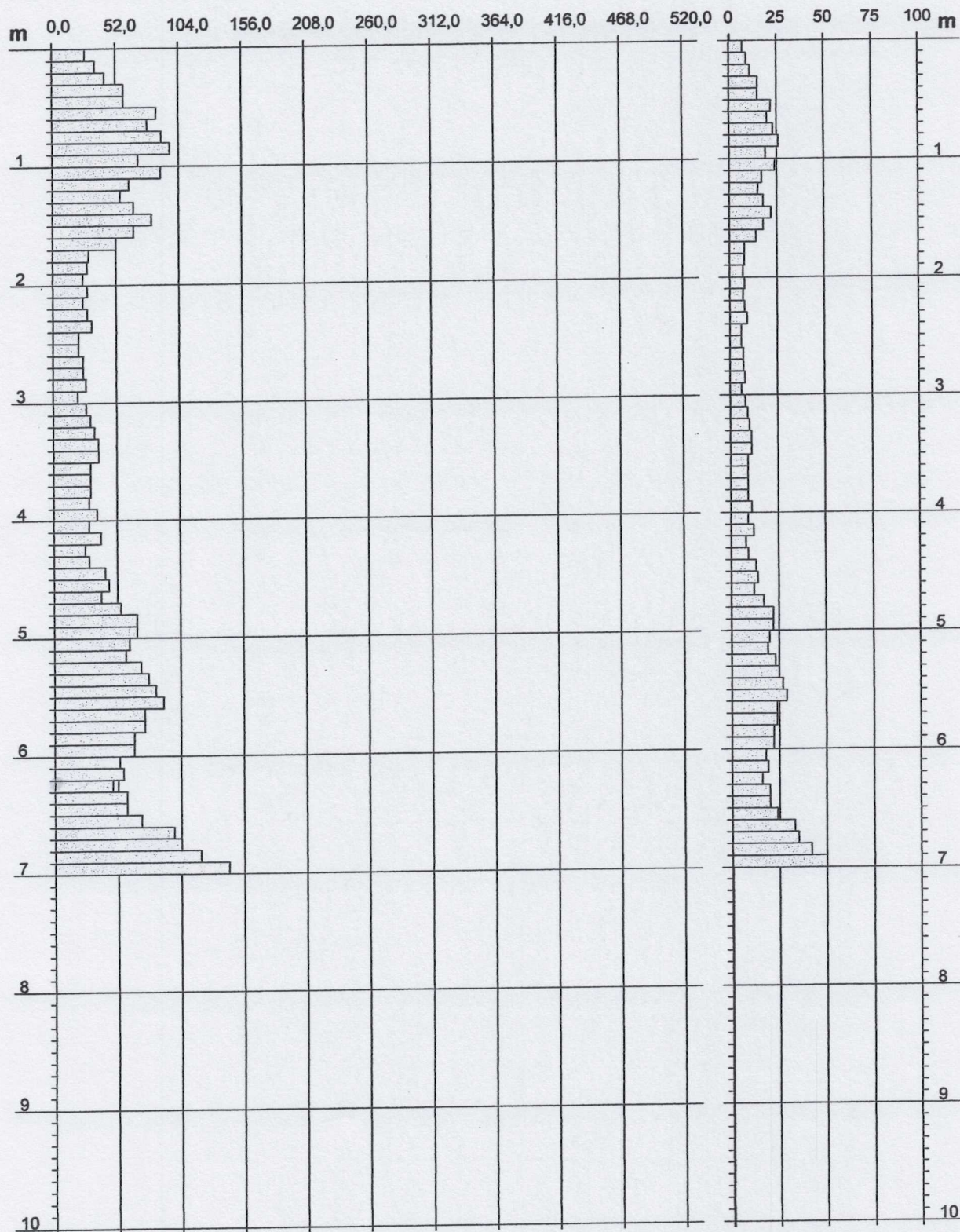
DIN 3

Scala 1: 50

- committente : Comune di Bibbiano
 - lavoro : adeguamento sismico scuola media
 - località : via D.P. Borghi n.14 - Bibbiano (RE)

- data prova : 01/10/2016
 - quota inizio : piano campagna
 - prof. falda : Falda non rilevata

Rpd (kg/cm²) Resistenza dinamica alla punta, formula "Olandese" N = N(10) n° colpi $\delta = 10,00$ cm



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA ELABORAZIONE STATISTICA

DIN 3

- committente : Comune di Bibbiano
- lavoro : adeguamento sismico scuola media
- località : via D.P. Borghi n.14 - Bibbiano (RE)

- data prova : 01/10/2016
- quota inizio : piano campagna
- prof. falda : Falda non rilevata

- note : max profondità raggiunta a rifiuto

n°	Profondità (m)	PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA							VCA	β	Nspt
			M	min	Max	$\frac{1}{2}(M+min)$	s	M-s	M+s			
1	0,00 1,70	N	17,4	7	26	12,2	5,3	12,1	22,7	17	0,77	13
		Rpd	65,9	27	97	46,7	19,8	46,1	85,7	64		
2	1,70 4,70	N	8,9	6	14	7,5	2,0	6,9	11,0	9	0,77	7
		Rpd	30,2	20	45	25,3	6,1	24,1	36,4	31		
3	4,70 6,90	N	23,8	16	42	19,9	6,3	17,5	30,0	24	0,77	18
		Rpd	72,1	48	120	59,9	17,9	54,3	90,0	73		

M: valore medio min: valore minimo Max: valore massimo s: scarto quadratico medio VCA: valore caratteristico assunto
N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento $\delta = 10$ cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (kg/cm²)
 β : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico $\beta_t = 0,77$) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 30$ cm)

Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

DIN 3

						NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA						
n°	H1	H2	Nspt	Vs	G	Dr	ø'	E'	Ysat	Yd	Cu	Ed	Ysat	W	e	Q	Litologia
1	0,00	1,70	13	103	88	39	30	156	1,95	1,53	0,81	78	1,93	30,3	0,818	3,22	Argilla Limosa
2	1,70	4,70	7	120	56	25	28	84	1,90	1,45	0,44	42	1,86	36,0	0,972	1,53	Argilla Limosa
3	4,70	6,90	18	158	112	47	32	216	1,98	1,57	1,13	108	2,00	26,2	0,708	3,64	Ghiaia media e Sabbia fine

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 30$ cm)

DR % = densità relativa ϕ' (°) = angolo di attrito efficace E' (kg/cm²) = modulo di deformazione drenato W% = contenuto d'acqua
e (-) = indice dei vuoti Cu (kg/cm²) = coesione non drenata Ysat, Yd (t/m³) = peso di volume saturo e secco (rispettivamente) del terreno
Vs (m/sec) = Velocità onde di taglio G (kg/cm²) = Modulo di taglio dinamico Q (kg/cm²) = [Rpd/Chi] [15>=Chi>=20] capacità portante Sanglerat 1972

CARATTERISTICHE DEL PENETROMETRO STATICO - DINAMICO "DINASTAR"

ASSETTO DINAMICO

- | | |
|---|--|
| - peso della massa battente (M) 30 kg | - peso di ogni singola asta (P) 3.6 kg |
| - corsa in caduta libera (H) 20 cm | - sezione trasversale punta a perdere (A) 10 cm ² |
| - diametro delle aste di perforazione 28 mm | - peso della testata d'infissione (n) 26 kg |

- Nel corso della prova penetrometrica dinamica si registra il numero di colpi (N) necessario per produrre avanzamenti di 10 cm (h) della punta.
- Esiste la possibilità di ridurre gli attriti parassiti lungo le aste di sondaggio mediante iniezioni di liquidi tixotropici in prossimità della punta.

ASSETTO STATICO

- Il contrasto necessario all'avanzamento della punta statica ("dutch mantle cone" standard) è dato dall'attrito che si sviluppa tra i terreni ed il particolare manicotto Dinastar.
- Nel corso della prova, tra una lettura statica e la successiva, l'infissione della batteria di sondaggio si effettua in modo dinamico.
- Vengono registrati due valori: il primo è relativo al numero di colpi (Nn) per un approfondimento di 10 cm del manicotto; il secondo indica la resistenza statica alla punta (qc). Quest'ultimo è misurato da una cella di carico estensimetrica ad alta precisione da 2500 kg di portata ed è visualizzato sul display di una centralina elettronica.
- Il valore della resistenza di attrito laterale locale (fs) si misura a partire dal dato dinamico (Nn) mediante la formula:

$$fs = ((N^2 \times H \times Nn) / S \times 10 \times (M + n + T + \Sigma P)) \times 0.5$$

dove S e T sono rispettivamente la superficie del manicotto di ancoraggio e il peso del puntale soggetto ad azione dinamica.

- | | | | | | | | |
|--|--|-------------------------|------------|-------------------------|------------|-------------------------|------------|
| - La superficie usuale del manicotto di ancoraggio, pari a 500 cm ² ,
può essere aumentata di 200 o 400 cm ² mediante apposite giunzioni.
A lato si riportano i relativi pesi. | <table border="0"> <tr> <td>S = 500 cm²</td> <td>T = 6.7 kg</td> </tr> <tr> <td>S = 700 cm²</td> <td>T = 7.1 kg</td> </tr> <tr> <td>S = 900 cm²</td> <td>T = 7.5 kg</td> </tr> </table> | S = 500 cm ² | T = 6.7 kg | S = 700 cm ² | T = 7.1 kg | S = 900 cm ² | T = 7.5 kg |
| S = 500 cm ² | T = 6.7 kg | | | | | | |
| S = 700 cm ² | T = 7.1 kg | | | | | | |
| S = 900 cm ² | T = 7.5 kg | | | | | | |

- Può accadere che l'attrito sviluppato sul manicotto sia insufficiente a contrastare la discesa della punta per cui il manicotto si disancora e risale nel foro. Il valore del parametro fs è allora quello che si legge sul display, mentre la resistenza alla punta è ovviamente maggiore di fs. In questi casi si procede a due letture dinamiche, misurando prima i colpi necessari per "richiudere" il puntale e poi quelli che occorrono per far avanzare il puntale "chiuso" di altri 10 cm. Particolari elaborazioni consentono di ottenere la resistenza dinamica (rd) dei terreni che hanno precluso l'avanzamento statico e di ottenere quindi qc in modo indiretto mediante il rapporto:

$$qc = rd / \delta$$

con δ generalmente compreso tra 1.8 e 2.2

- Il fenomeno del disancoraggio è segnalato in corso di restituzione grafica con una freccia la cui lunghezza indica il valore di qc presunto.

Note relative ai sondaggi svolti: è stato utilizzato il manicotto da 500 cm²; i dati di campo sono stati elaborati ponendo $\Sigma P = 0$.

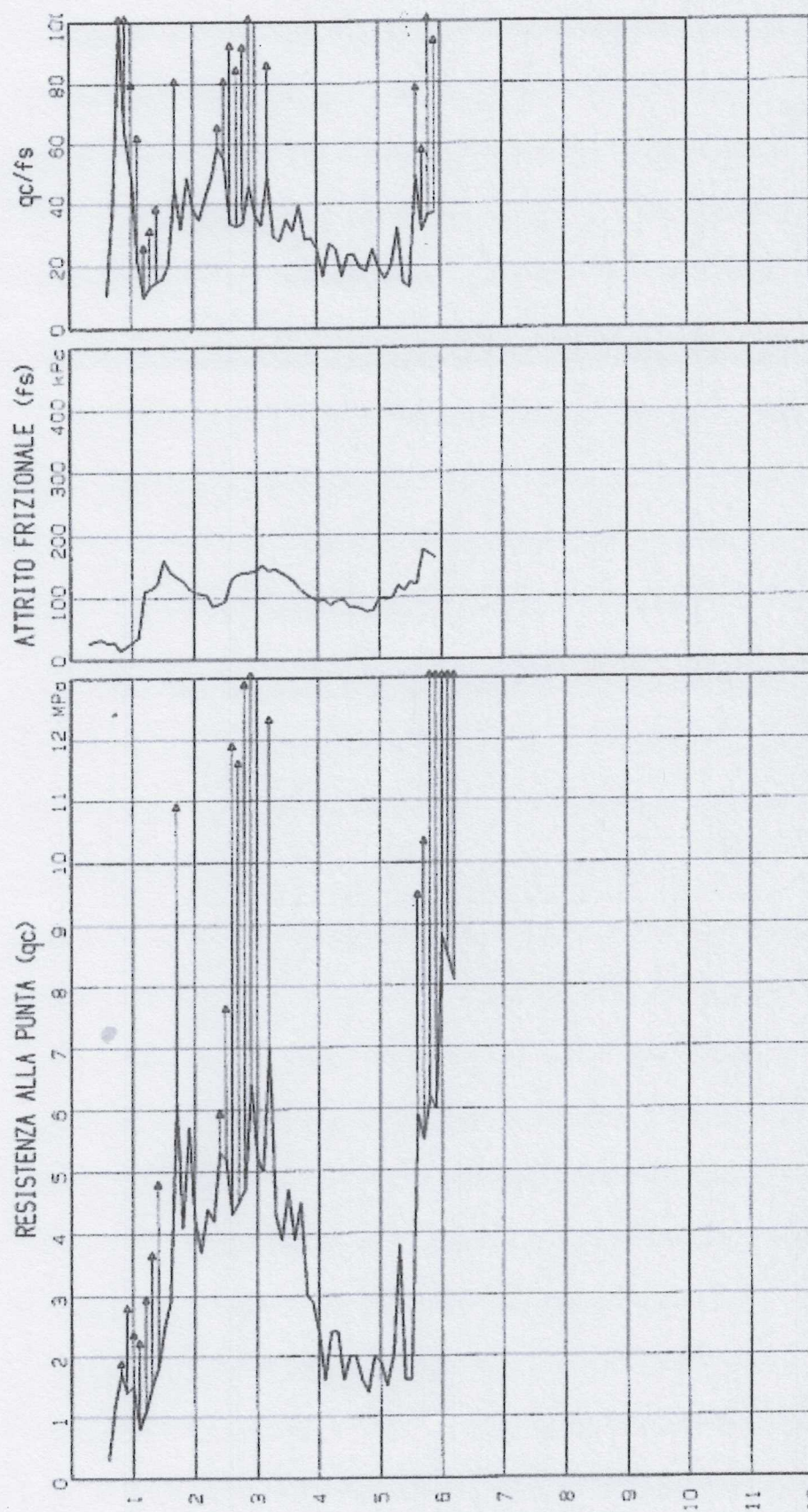


Figura B Diagrammi di resistenza alla punta (qc), dell'attrito frizionale (fs) e del rapporto resistenza alla punta/attrito frizionale (qc/fs) relativi alla prova statica CPT1.

Appendice I

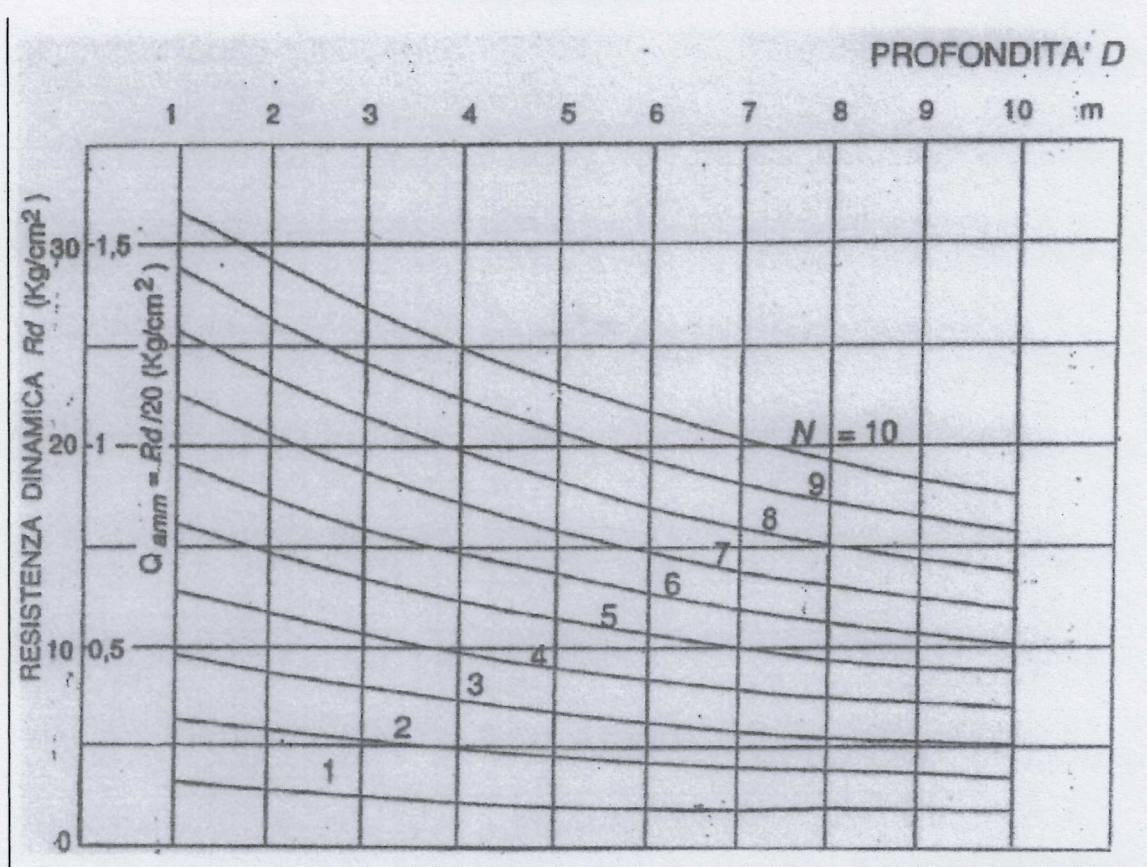


Figura A Relazione tra numero di colpi N , profondità D e Q_{amm} per il penetrometro dinamico medio DM030.

RELAZIONE TRA NUMERO DI COLPI N E STATO DI
CONSISTENZA PER TERRENI COESIVI (LIMI E ARGILLE)
PENETROMETRO MEDIO DM30

N colpi	Consistenza	I_c (%)	C_u (kg/cm²)
< 2	Inconsistente	≈ 0	> 0,1
2 - 4	Poco consistente	0 - 25	0,1 - 0,25
4 - 8	Moderato 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	Estremo consistente	> 100	> 2,0

Tabella I

RELAZIONE TRA NUMERO DI COLPI N E STATO DI
ADDENSAMENTO PER TERRENI GRANULARI (SABBIE E GHIAIE)
PENETROMETRO MEDIO DM30

N colpi	Addensamento	I_c (%)	D_r (%)	Φ (°)
< 4	Molto sciolto	circa 0	< 20	< 30
4 - 10	Sciolto	0 - 25	20 - 40	30 - 35
10 - 30	Moderato 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