

Regione: EMILIA ROMAGNA

Provincia: REGGIO EMILIA

Comune: CORREGGIO

Via: MANDRIO N.13

"PIANO DI SVILUPPO AZIENDALE. PERMESSO DI COSTRUIRE PER LA REALIZZAZIONE DI STALLA IN ADERENZA A FABBRICATO ESISTENTE"

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;

COMMITTENTE

**AZIENDA AGRICOLA
BORCIANI LAURA**

DATA

OTTOBRE 2018

TECNICO

**GEOLOGO
ANTONIO INFANTE**



PREMESSA

Il sottoscritto Dott. Antonio Infante, registrato all'Ordine dei Geologi dell'Emilia Romagna con il n.1160 sezione A, ha ricevuto incarico dall'azienda agricola Borciani Laura di redigere una relazione geologico - sismica, comprensiva di indagini geognostiche, finalizzata ad un "Piano di sviluppo aziendale. Permesso di costruire per la realizzazione di stalla in aderenza a fabbricato esistente in via Mandrio n.13 a Correggio (RE)"

In base al valore $d = \text{spostamento laterale elastico del punto più alto dell'edificio, espresso in metri, dovuto alla combinazione di carico sismica, il periodo di vibrazione fondamentale del fabbricato, per l'analisi statica lineare, sarà dato da } T_1 = 2 \times \sqrt{d} \text{ (7.3.3.2 - N.T.C. 2018). Per un valore di stimato } d = 0,048 \text{ m si ha } T_1 = 2 \times \sqrt{d} \approx 0,44 \text{ secondi da cui deriva una frequenza di vibrazione propria della struttura pari ad } f \approx 2,3 \text{ Hertz (figura n.24).}$

L'oggetto del suddetto è incarico è consistito in:

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

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

PREMESSA

UBICAZIONE DELL'AREA

MORFOLOGIA, PEDOLOGIA E CARATTERISTICHE CLIMATICHE

INQUADRAMENTO GEOLOGICO, TETTONICO E IDROGELOGICO

SISMICITÀ E RISCHIO SISMICO DELL'AREA

LE INDAGINI GEOGNOSTICHE

PARAMETRI NOMINALI (CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA) E PARAMETRI CARATTERISTICI DEL SOTTOSUOLO

RISPOSTA SISMICA LOCALE ED EFFETTI LOCALI ATTESI

PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE E DI SITO SECONDO NTC2018

RISCHIO E VERIFICA A LIQUEFAZIONE

RISCHIO IDRAULICO

SUBSIDENZA

CHIMISMO ACQUE DI SATURAZIONE DEL SOTTOSUOLO

CONCLUSIONI

Allegati:

- Stralcio della carta tecnica regionale in scala 1:5.000 (figura n.1);
- Stralcio della carta geologica regionale progetto C.A.R.G. dell'Emilia Romagna in scala 1:10.000 (figura n.2);
- Stralcio della carta del suolo della Regione Emilia Romagna derivata in scala 1:100.000 (figura n.3);
- Carta della distribuzione delle unità idrogeologiche della pianura reggiana (figura n.4);
- Carta geologico - tecnica in scala 1:10.000 (Microzonazione sismica Comune di Correggio - Tavola 1.2 Nord Est - 2013) [figura n.5];
- Carta delle isopieze del primo acquifero in scala 1:10.000 (Microzonazione sismica Comune di Correggio - Tavola 1.3 Nord Est - 2013) [figura n.6];
- Carta della soggiacenza del primo acquifero in scala 1:10.000 (Microzonazione sismica Comune di Correggio - Tavola 1.4 Nord Est - 2013) [figura n.7];

- Carta del tetto delle sabbie e del substrato a comportamento rigido in scala 1:10.000 (Microzonazione sismica Comune di Correggio - Tavola 1.5 Nord Est - 2013) [figura n.8];
- Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica in scala 1:10.000 (Microzonazione sismica Comune di Correggio - Tavola 1.6 Nord Est - 2013) [figura n.9];
- Carta delle frequenze naturali dei terreni in scala 1:10.000 (Microzonazione sismica Comune di Correggio - Tavola 1.7 Nord Est - 2013) [figura n.10];
- Carta delle velocità delle onde di taglio Vs nei primi 30,00 m dalla quota del p.c. [Vs₃₀] in scala 1:10.000 (Microzonazione sismica Comune di Correggio - Tavola 2.2 Nord Est - 2013) [figura n.11];
- Carta di microzonazione sismica di livello 3 - F.A. P.G.A. in scala 1:10.000 (Microzonazione sismica Comune di Correggio - Tavola 3.1 Nord Est – 2013) [figura n.12];
- Carta di microzonazione sismica di livello 3 - F.A. I.S. 0,1 sec. - 0,3 sec. - in scala 1:10.000 (Microzonazione sismica Comune di Correggio - Tavola 3.2 Nord Est - 2013) [figura n.13];
- Carta di microzonazione sismica di livello 3 - F.A. I.S. 0,1 sec. - 0,5 sec. - in scala 1:10.000 (Microzonazione sismica Comune di Correggio - Tavola 3.3 Nord Est - 2013) [figura n.14];
- Carta di microzonazione sismica di livello 3 - F.A. I.S. 0,3 sec. - 0,5 sec. - in scala 1:10.000 (Microzonazione sismica Comune di Correggio - Tavola 3.4 Nord Est - 2013) [figura n.15];
- Carta di microzonazione sismica di livello 3 - F.A. I.S. 0,5 sec. - 1,0 sec. - in scala 1:10.000 (Microzonazione sismica Comune di Correggio - Tavola 3.5 Nord Est - 2013) [figura n.16];
- Carta di microzonazione sismica di livello 3 - F.A. I.S. 1,0 sec. - 1,5 sec. - in scala 1:10.000 (Microzonazione sismica Comune di Correggio - Tavola 3.6 Nord Est - 2013) [figura n.17];
- Schema tettonico dell'area appenninico - padana (da Martelli, 2011 - figura n.18);
- Classificazione sismica della Regione Emilia Romagna - O.P.C.M. n.3274/2003 (Allegato 1, punto 3 - "prima applicazione" - figura n.19);
- Schema tettonico dell'Appennino emiliano - romagnolo e della Pianura Padana centrale (Martelli, 2011) con zone sismogenetiche da ZS9 (Meletti e Valensise, 2004 - figura n.20);
- 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.21);
- Database dei terremoti, accaduti dal 1920 fino al 2008, per il territorio comunale di Correggio (CPTI15 - DBMI15 - Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 - Database Macroscismico Italiano 2015 - I.N.G.V. 2017 - https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/query_place/ - tabella n.1);
- 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.22);
- Mappa di confronto tra le velocità di movimento verticale del suolo per il periodo 2006-2011 per la Regione Emilia Romagna (ARPA 2012 - figura n.23);
- Planimetria generale di progetto fuori scala con ubicazione delle indagini geognostiche (figura n.24);
- Certificati e relazione delle indagini di stratigrafia sismica passiva a stazione singola (H.V.S.R.);
- Stratigrafia sismica del sottosuolo del sito di progetto (Tabella A - H.V.S.R.1);
- Curva dei rapporti spettrali H/V (figura I - H.V.S.R.1);
- Profilo dell'andamento delle velocità delle onde di taglio nel sottosuolo (figura II - H.V.S.R.1);
- Tabella riassuntiva dei caratteri fisico - meccanici del sottosuolo ricavati dalla prova H.V.S.R.1 (Tabella B - HVSR1);
- Classificazione del tipo di suolo secondo NTC2018 (Tabella C);
- Curve velocità/frequenza delle onde sismiche da microtremore (figura III - H.V.S.R.1);
- Stratigrafia sismica del sottosuolo (figura IV - H.V.S.R.1);

- Parametri di impostazione della prova H.V.S.R.1 (Tabella D);
- Stratigrafia sismica del sottosuolo del sito di progetto (Tabella E - H.V.S.R.2);
- Curva dei rapporti spettrali H/V (figura V - H.V.S.R.2);
- Profilo dell'andamento delle velocità delle onde di taglio nel sottosuolo (figura VI - H.V.S.R.2);
- Tabella riassuntiva dei caratteri fisico - meccanici del sottosuolo ricavati dalla prova H.V.S.R. 2 (Tabella F - H.V.S.R.2);
- Classificazione del tipo di suolo secondo NTC2018 (Tabella G);
- Curve velocità/frequenza delle onde sismiche da microtremore (figura VII - H.V.S.R.2);
- Stratigrafia sismica del sottosuolo (figura VIII - H.V.S.R.2);
- Parametri di impostazione della prova H.V.S.R.2 (Tabella H);
- Certificati delle indagini geognostiche (prove penetrometriche statiche):
 - Tabelle dei valori della resistenza;
 - Diagrammi di resistenza;
 - Diagrammi valutazioni litologiche;
 - Tabelle dei parametri geotecnici;
 - APPENDICE N.1:
 - Diagramma e tabella riportante la variazione del rapporto q_c/N_{spt} in funzione della granulometria del terreno;
 - APPENDICE N.2:
 - Tabella I riportare la relazione tra resistenza alla punta q_c e lo stato di consistenza del terreno;
 - Tabella II riportante la relazione tra resistenza alla punta q_c e lo stato di addensamento del terreno;
 - Tabella III riportante la relazione tra resistenza alla punta q_c ed alcuni parametri geotecnici del terreno;
 - Tabella IV riportante la classificazione del terreno in base al rapporto $F = q_c/f_s$;

Normativa di riferimento:

- 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;
- 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;
- 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 situ – 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 illustrate 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.
- BIANCHI F., MARCHI G., MERLI M.: Problematiche connesse al progetto delle fondazioni in zona sismica – Ordine degli Ingegneri della Provincia di Bologna. Bologna 2004.
- BOWLES J.E.: Foundation analysis and design. MacGraw Hill Libri Italia Ed., Milano, 1991.
- 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 situ; Geo-Graph Ed., Segrate, 1990.
- DIPARTIMENTO DIFESA DEL SUOLO - SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA: Carta geologica d'Italia in scala 1:50.000: foglio n.201 "Modena".
- 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.
- MAZZETTI GIAN PIETRO: Relazione geologico ambientale e di microzonazione sismica relativa al P.S.C. - quadro conoscitivo - in forma associata dei comuni di Correggio, Rio Saliceto e San Martino in Rio, Correggio, pp.79, 2008.
- MAZZETTI GIAN PIETRO: Relazione geologico ambientale e di microzonazione sismica relativa al P.S.C. - quadro conoscitivo - comune di Bagnolo in Piano, Correggio, pp.61, 2008.
- 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.
- 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

Il sito progettuale è ubicato nell'area rurale Nord Est di Correggio (RE), più precisamente in via Mandrio n.13; esso ricade nell'elemento n.201021 "Mandrio" della carta tecnica regionale in scala 1:5.000 (figura n.1). Le coordinate geografiche e la quota del sito sono le seguenti:

- LATITUDINE: 44°47'07" Nord (WGS84: 44,7855949 [°] Nord);

- LONGITUDINE: 10°47'57" Est (WGS84: 10,7994585 [°] Est);
- QUOTA ALTIMETRICA: 28 m s.l.m.;

In ambito geologico la zona ricade nel foglio n.201 "Modena" della carta geologica ufficiale d'Italia in scala 1:50.000 e nel foglio n.74 "Reggio nell'Emilia" della carta geologica ufficiale d'Italia in scala 1:100.000.

MORFOLOGIA, PEDOLOGIA E CARATTERISTICHE CLIMATICHE

L'area di progetto presenta un andamento morfologico pianeggiante e si attesta ad una quota altimetrica media di circa 28 m s.l.m. (figura n.1) essa rappresenta un tratto della media pianura alluvionale reggiano - modenese. Il suolo originario, affiorante nell'area, risulta ascrivibile all'unità 3Ab (figura n.3); si tratta di un suolo pianeggiante con pendenza che varia tra 0,1% e 0,3%, molto profondo, a tessitura sabbiosa, a buona disponibilità di ossigeno, calcareo e moderatamente alcalino; si è formato in sedimenti fluviali a tessitura sabbiosa e rientra nei *Calcaric Cambisols* secondo la legenda FAO. L'uso attuale è prevalentemente a seminativo semplice, con colture orticole a pieno campo e vigneto.

La litologia di superficie del sito è caratterizzata da terreni di copertura classificabili come ML "Limi organici, argille inorganiche di media – bassa plasticità, argille limose magre, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità" (figura n.5). Generalmente in corrispondenza degli antichi corsi fluviali (paleoalvei) sono presenti corpi lenticolari sabbiosi e/o sabbioso - limosi (*dossi di pianura*) altimetricamente più elevati intercalati, in corrispondenza delle antiche aree di esondazione topograficamente più depresse, a depositi di limi argillosi e/o di argille limose (*valli*). L'area rientra nell'ambito dell'*Unità delle coperture alluvionali* più specificatamente si trova in posizione intermedia tra due tracce fluviali abbandonate (paleoalvei) in corrispondenza dei quali insiste parte dell'abitato di Correggio.

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 circa 13 °C, con valori medi massimi di circa 30 °C per il mese di luglio e minimi di circa -3 °C per il mese di gennaio. L'escursione media annua è quindi di 33 °C. La minima assoluta è stata di -17 °C, la massima è stata di 38 °C I venti predominanti provengono da Nord Ovest, da dicembre a febbraio, da Est nelle altre stagioni.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO, TETTONICO E IDROGELOGICO

Questo settore del territorio comunale fa parte della media pianura reggiano - modenese e risulta compreso nel bacino subsidente pliocenico - quaternario della più estesa Pianura Padana, costituito da un'ampia depressione a stile compressivo colmata da sedimenti mesozoici, terziari e quaternari. Lo spessore dei depositi quaternari è mediamente compreso tra i -200 m ed i -700 m dalla quota del p.c.; le formazioni plioceniche generalmente si rinvengono tra i -200 m dalla quota del p.c. ed i -6000 m dalla quota del p.c. A queste succedono le sequenze litostratigrafiche dal Miocene al Mesozoico sino a -10.000 m + -11.000 m dal p.c.

Le indagini geofisiche e di perforazione, eseguite dall'AGIP nelle immediate vicinanze (Gazzata di San Martino in Rio e Bagnolo in Piano - 2010) hanno evidenziato come l'assetto strutturale del bacino padano sia caratterizzato da una successione pliocenico - quaternaria, basale, costituita da sabbie e peliti torbiditiche di ambiente marino, seguite, verso l'alto, da complessi sedimentari fluvio - deltizi progradanti a loro volta, con al tetto depositi prevalentemente continentali dovuti alle alluvioni dei fiumi alpino - appenninici (figura n.25).

Il sottosuolo dell'area planiziale delle province di Reggio Emilia e Modena appartiene alla Regione delle Pieghi Ferraresi e delle Pieghi Romagnole che assumono una larghezza equivalente a più di 50 km nell'Emilia orientale e a 25 km nell'area parmense; esse rappresentano un elemento strutturale molto complesso (Dorsale Ferrarese) caratterizzato da un'intensa tettonizzazione che ha determinato un notevole innalzamento del substrato carbonatico mesozoico che già presso Novi (MO) e Camurana (FE) si rinviene a -215 dalla quota del p.c. (figura n.25).

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

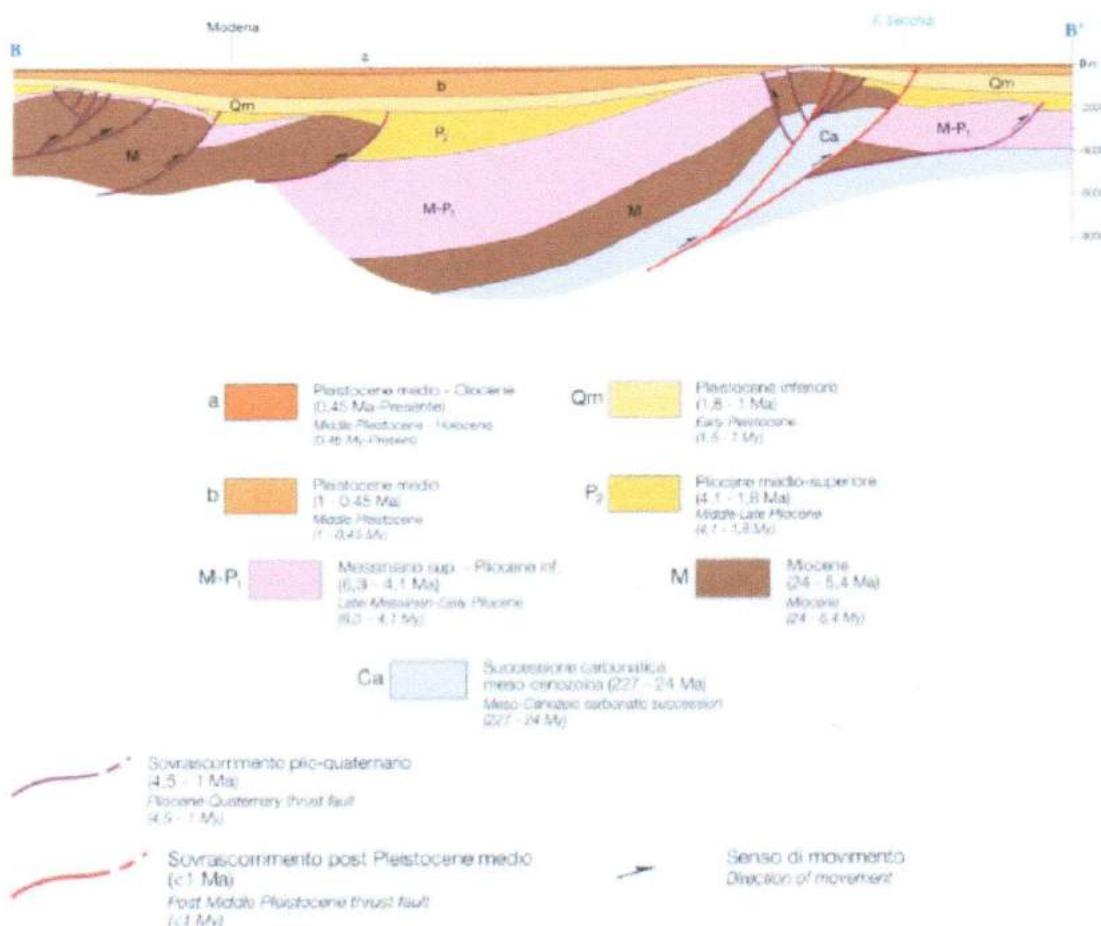


Figura n.25 - Sezione geologica attraverso la pianura reggiano - modenese (Regione Emilia Romagna - Progetto C.A.R.G. - 2018) dal Margine Appenninico a Sud verso la Pianura Padana a Nord.

I litotipi che compongono il primo sottosuolo, in relazione all'evoluzione dei corsi d'acqua dell'area, hanno un andamento lentiforme e discontinuo, con passaggi laterali e verticali da una componente granulometrica all'altra più o meno graduali. I depositi coesivi e quelli granulari si alternano variamente e/o si interdigitano a differenti profondità, in particolare si riscontrano la presenza di livelli sabbiosi, a volte abbastanza discontinui, intercalati a serie prevalentemente limo - argillose. In generale il passaggio tra i sedimenti prevalentemente sabbioso - ghiaiosi di monte ed i terreni prevalentemente limo - argillosi, tipici della media e bassa pianura, si può fare coincidere grossomodo con l'andamento della Via Emilia (S.S. 9).

La carta geologica regionale, progetto CARG in scala 1:10.000 (figura n.3) riporta affiorante nell'area la Formazione denominata *Unità di Modena* (AES8a - Pleistocene superiore/Olocene); si presenta in facies di argille limose e/o di argille sabbiose con contenuto in sabbia compreso tra il 20% ed il 30%; inoltre presenta strati sottili, spesso mal visibili. Al tetto si rinvengono suoli a basso grado di alterazione, dello spessore massimo di 80 cm mentre la potenza complessiva dell'Unità è di circa 20,00 m. È un deposito di pianura alluvionale (rotta fluviale) con età radiometrica della base dell'Unità di circa 300.000 anni.

Le prove penetrometriche statiche, spinte sino alla profondità di -20,00 m dalla quota del piano dell'area cortiliva, hanno confermato tali classificazioni infatti hanno evidenziato una serie litologica formata da argille limose e/o da argille sabbiose, poco consistenti; lo stato di consistenza del terreno aumenta generalmente con la profondità in ragione anche della pressione geostatica efficace; si tratta di terreni normalconsolidati con un leggero stato di sovraconsolidazione a

profondità maggiori di -10,00 m dalla quota del piano dell'area cortiliva dove le litologie risultano essere mediamente consistenti.

L'acquifero che si rinviene nel sottosuolo del territorio comunale di Correggio è ascrivibile all'*Unità idrogeologica della media pianura* (figura n.4). I limiti territoriali di questa Unità sono molto sfumati verso Sud mentre sono abbastanza netti verso Nord dove confina con l'*Unità idrogeologica del fiume Po*. La caratteristica principale di questa unità è la prevalenza di litologie limoso - argillose impermeabili rispetto a quelle permeabili: si tratta pertanto di un'area molto ricca di acque sotterranee. I sedimenti permeabili (acquiferi) sono rappresentate dalle sabbie in lenti sottili e discontinue. L'alimentazione delle falde acquifere è di provenienza appenninica infatti le acque sotterranee provengono dalle conoidi pedemontane dei fiumi Enza e Secchia; l'infiltrazione delle acque meteoriche è invece molto limitata.

A profondità superiori ai -300,00 m dalla quota del p.c. le falde acquifere profonde hanno spessore e continuità maggiore ma cambia sensibilmente il chimismo delle acque (da bicarbonato - calciche diventano bicarbonato - sodiche).

Esaminando le carte delle isopieze del primo acquifero (figura n.6) e della soggiacenza del primo acquifero (figura n.7) si desume che il deflusso sotterraneo delle acque segue un asse di drenaggio in direzione Nord/Nord Ovest e che la soggiacenza dell'acquifero freatico superficiale risulta mediamente compresa tra i -2,50 m dalla quota del p.c. ed i -3,00 m dalla quota del p.c. tuttavia, durante l'esecuzione delle indagini penetrometriche, il primo livello dell'acquifero superficiale è stato rinvenuto ad una profondità di -0,90 m dalla quota del piano dell'area cortiliva. Il livello piezometrico varia, con un'escursione di circa $\pm 1,00$ m, in funzione della quantità delle precipitazioni stagionali, in relazione al coefficiente d'infiltrazione del primo sottosuolo rispetto alle acque dilavanti superficiali e in funzione anche delle dispersioni di subalveo del reticolo idrografico minore; tale circolazione ipodermica avviene nei livelli a maggiore componente limoso - sabbiosa dell'Unità di Modena, risentendo dei cicli stagionali di essiccazione/rigoniamento del substrato superficiale che condizionano l'infiltrazione efficace nel sottosuolo delle acque meteoriche.

Nel sottosuolo della pianura emiliano - romagnola sono stati riconosciuti tre Gruppi di Acquiferi, separati da barriere di permeabilità di estensione regionale, denominati, a partire dal piano di campagna, Gruppi Acquiferi A, B e C. Il Gruppo Acquifero A, attualmente sfruttato in modo intensivo, è caratterizzato da depositi prevalentemente argillosi e/o limosi attraversati, in senso meridiano, da corpi nastriformi di sabbie. L'ambito in esame interessa direttamente il Gruppo Acquifero A, con struttura multistrato, che è rappresentato nella parte superficiale dal complesso acquifero A₀, caratterizzato da falde con un regime idraulico confinato o semiconfinato.

Per quanto riguarda l'idrologia superficiale, in generale la zona risulta drenata da tutta una serie di fossi naturali e/o artificiali minori, aventi andamento e sviluppo a maglia poligonale e con funzione stagionale sia irrigua che scolare; essi risultano alquanto gerarchizzati.

L'interscambio tra le acque dei cavi e dei canali (alcuni dei quali sono pensili rispetto alla zona di pianura con argini che si sopraelevano di alcuni metri) e la falda freatica superficiale sono sensibilmente 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 Correggio (codice ISTAT 2010 n.08035020) 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 Correggio 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* (figura n.19). 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) – O.P.C.M. 3519	Accelerazione orizzontale massima convenzionale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (a_g) – O.P.C.M. 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
Correggio	N.C.	3	0,150g

Tabella n.3 Classificazioni sismica del territorio comunale di Correggio (RE) secondo e 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. Strutture sismogenetiche che influenzano direttamente il territorio provinciale sono: 1) la Dorsale ferrarese, sepolta nel sottosuolo della media - 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. Correggio è principalmente interessata da meccanismi focali che si originano nella Dorsale Ferrarese ma risente anche, in una certa misura, dell'attività sismica delle altre suddette strutture sismogenetiche (figura n.21) infatti nella figura n.21 è riportata la 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) dove sono segnalate nuove strutture tettoniche sismogenetiche attive, che si aggiungono a quelle già conosciute in precedenza, rilevate e studiate dopo gli sciami sismici emiliani del maggio 2012. In corrispondenza di Correggio, al di sotto di una spessa coltre di depositi alluvionali superficiali sciolti, è presente un sistema roccioso orogeneticamente legato alla catena appenninica (figura n.25) fagliato da diverse importanti lineazioni sismotettoniche, la cui genesi è riconducibile alle forzepressive che da Sud Ovest spingono verso Nord Est (figura n.21). La Dorsale Ferrarese sepolta rappresenta la porzione più esterna della fascia in compressione dell'arco appenninico settentrionale.

L'area, nel corso dei secoli, ha subito gli effetti di diversi terremoti alcuni dei quali addirittura di magnitudo compresa tra 3,6 e 6,5 gradi della scala Richter infatti nella tabella n.1 è riportato il database dei terremoti, accaduti dal 1920 fino al 2008, per il territorio comunale di Correggio (CPTI15 - DBMI15 - Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 - Database Macroismico 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 912** (figura n.20) mentre la nuova proposta di zonazione sismica del territorio nazionale (figura n.22 - Servizio Geologico Sismico Regione Emilia Romagna - C.N.R. Firenze - Università di Firenze - 2017) fa rientrare il territorio comunale di Correggio (RE) nella **nuova zona sismogenetica 3** (n.519 Pieghi Ferraresi) che è caratterizzata da una tettonica principalmente a thrust (sovrascorimenti) con direzioni ed immersione delle faglie inverse principali Sud - Sud Ovest/45°, profondità ipocentrale prevalentemente compresa tra 5 km - 15 km e **magnitudo massima attesa pari a Mw = 6,1**; essa è relativa alla recente sequenza sismica del maggio 2012; questa zona comprende l'insieme dei fronti delle Pieghi Ferraresi ed ha caratteristiche simili a quelle indicate per la zona 912 della ZS9 (di fatto è la sua parte settentrionale) ma estensione minore per l'introduzione della nuova zona 5 Nonantola - Budrio.

Alla zona sismica 3, come nel caso in esame, compete un valore legislativo dell'accelerazione orizzontale dello spettro di risposta elastico corrispondente ad: $a_g = 0,150 \text{ g}$ (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 Correggio il valore di accelerazione di picco al suolo ($T = 0$) tempo di ritorno = 475 anni, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g è pari a **0,152g**.

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 $0,200\text{g} + 0,250\text{g}$, 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).

Quali terremoti di riferimento possono ragionevolmente essere assunti gli eventi sismici del 20/05/2012 e del 29/05/2012 con epicentri nell'area di Finale Emilia (tabella n.4 - figura n.21 e n.22) allorché il risentimento sul territorio circostante fu significativo (stimato in VIII M.C.S.), con ingenti danni ad edifici pubblici e privati.

Stazione di registrazione	PGA (verticale)	PGA (Nord - Sud)	PGA (Est - Ovest)
Mirandola 20/05/2012 ML = 5.9	0,309 g	0,264g	0,261 g
Mirandola 29/05/2012 ML = 5.8	0,224 g	0,296 g	0,317 g

Tabella n.4

Nella figura n.26 sono riportate le principali sorgenti sismogenetiche attive, vicine al territorio comunale di Correggio. Più specificatamente il territorio comunale di Correggio si trova nell'ambito della zona sorgente sismogenetica ITCS049. Dai dati riportati nella tabella n.5 (Z.S. ITCS049 Reggio Emilia - Rolo - Magnitudo massima Mw = 5,5) si evince che il rischio sismico associato alla stessa deve essere classificato come *alto* o *molto alto*.

DISS 3.1.1: Seismogenic Source ITCS049 - Reggio Emilia-Rolo			
General information			
Code	ITCS049		
Name	Reggio Emilia-Rolo		
Compiled By	Burrato, P., and S. Mariano		
Latest Update	30/08/2007		
Parameter	Qual.	Evidence	
Min Depth (km)	3	OD	Based on structural and seismological data from various authors.
Max Depth (km)	10	OD	Based on structural and seismological data from various authors.
Strike (deg)	35 - 65	OD	Based on structural and seismological data from various authors.
Dip (deg)	30 - 50	OD	Based on structural and seismological data from various authors.
Rake (deg)	60 - 90	OD	Based on structural and seismological data from various authors.
Slip Rate (mm/y)	0.1 - 0.5	EJ	Derived from geological data concerning adjacent structures.
Max Magnitude (Mw)	5.5	EJ	Assumed from regional seismological data.

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

Tabella n.5 Area di faglia sismogenetica ITCS049 - Reggio Emilia/Rolo.

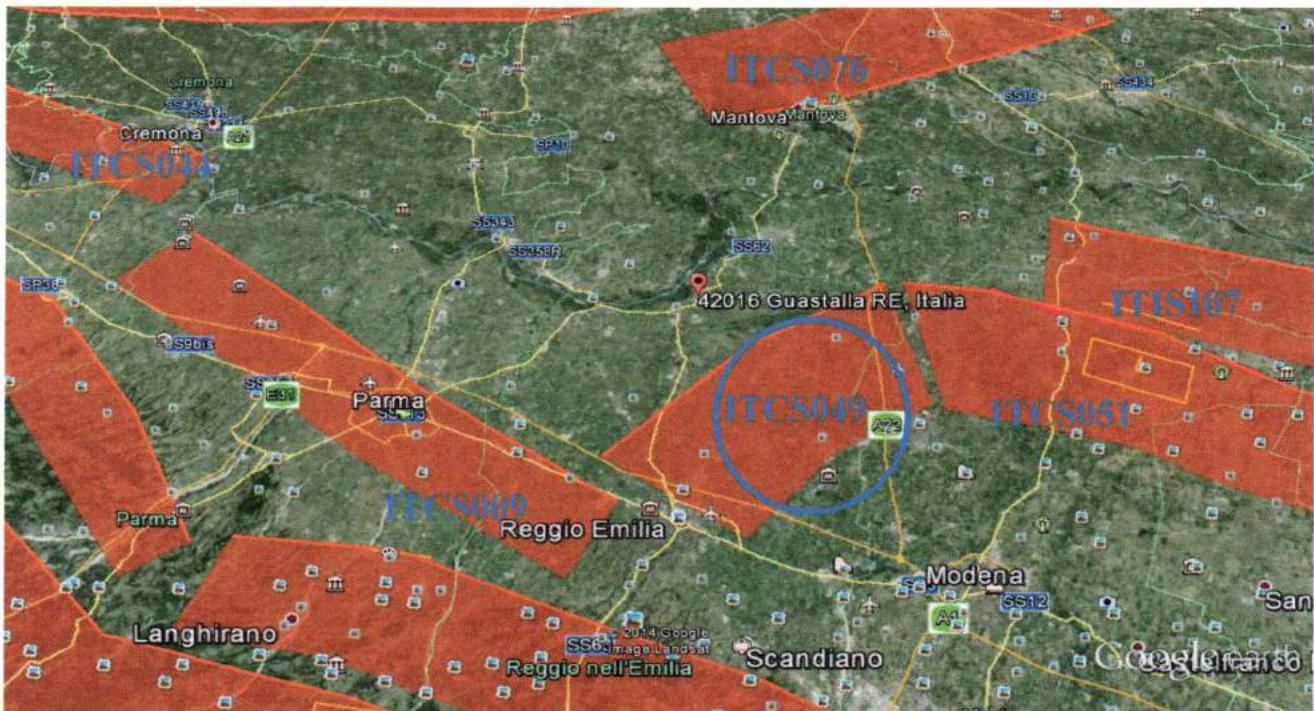


Figura n.26 Aree di faglia attive nell'area della pianura emiliano - romagnola (D.I.S.S. - Database of Individual Seismogenetic Sources - Istituto Nazionale di Geofisica). Il territorio comunale di Correggio si trova nell'ambito della zona sorgente sismogenetica ITCS049.

LE INDAGINI GEOGNOSTICHE

Al fine di definire lo schema litostratigrafico, geomeccanico e fisico del primo sottosuolo e in ottemperanza alle NTC2008, è stata eseguita una campagna di indagini geognostiche che è stata così articolata (figura n.24).

- N.2 (due) indagini di stratigrafia sismica passiva a stazione singola tipo H.V.S.R.;
- N.3 (tre) prove penetrometriche statiche CPT con punta meccanica tipo "Begemann";

Prove H.V.S.R. (tecnica dei rapporti spettrali - stratigrafia sismica passiva a stazione singola)

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} ;

INDAGINE: HVSR1 - VIA: MANDRIO N.13 - COMUNE: CORREGGIO (RE)

Il risultato dell'elaborazione è la curva dei rapporti spettrali della componente orizzontale su quella verticale delle onde di superficie (figura I), il profilo dell'andamento delle velocità delle onde di taglio con la profondità (figura II), la stratigrafia sismica del primo sottosuolo (tabella A - figura IV) e la tabella riassuntiva dei parametri ricavati dall'indagine sismica eseguita (tabella B). Nella figura III sono riportate le curve velocità/frequenze delle onde sismiche da microtremore, secondo le tre componenti tra loro ortogonali. Nel caso in esame si tratta di una registrazione che rispetta i criteri di validazione SESAME (Tabella D). La registrazione (figura I) mostra un chiaro picco di frequenza (f) a circa $f_0 \approx 0,7$ Hertz (6° sismostrato) che corrisponde ad un periodo di oscillazione caratteristico del sito desumibile dallo spettro HVSR pari a $T \approx 1,42$ secondi. Questo picco può essere messo in relazione ad un forte contrasto litologico che si individua a circa -100,00 m dalla quota del piano di campagna. Esso è riferibile al *bedrock sismico locale di base* cioè a quello strato basale del sottosuolo nel quale la velocità delle onde di taglio risulta essere pari a circa pari a $V_s \approx 500$ m/s. Altri picchi secondari sono presenti rispettivamente alle frequenze di circa $f_1 \approx 15,0$ Hertz (1° sismostrato), $f_2 \approx 7,3$ Hertz (2° sismostrato), $f_3 \approx 3,0$ Hertz (3° sismostrato), $f_4 \approx 1,9$ Hertz (4° sismostrato), $f_5 \approx 1,0$ Hertz (5° sismostrato). La velocità delle onde di taglio nel sottosuolo tende praticamente ad aumentare con la profondità. L'ampiezza del picco di frequenza

fondamentale del sottosuolo, che è risultata essere pari ad $A \approx 3,0$, è una stima dell'intensità del contrasto di rigidità del sottosuolo (si tratta di un contrasto di moderata intensità).

1° STRATO	2°STRATO	3° STRATO	4° STRATO	5° STRATO	6° STRATO	7° STRATO
$V_s = 120$	$V_s = 180$	$V_s = 220$	$V_s = 210$	$V_s = 280$	$V_s = 380$	$V_s = 560$ m/s
$d = 2,00$ m	$d = 3,00$ m	$d = 11,00$ m	$d = 10,00$ m	$d = 30,00$ m	$d = 60,00$ m	<i>bedrock sismico locale di</i>

Tabella n.6 Stratigrafia sismica del sottosuolo del sito di progetto di via Mandrio n.13 a Correggio (RE) in corrispondenza dell'indagine sismica HVSR1.

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

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,n}^{hi} vi}$$

Dove:

hi = spessore dello strato iesimo espresso in metri;

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

Ottenendo:

$$V_{s30} \approx 207 \text{ m/s}$$

Il valore equivalente della velocità delle onde di taglio (V_{s30}) riscontrato, rientra nell'intervallo numerico che permette al suolo di fondazione di essere ascritto alla categoria C (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: HVSR2 - VIA: MANDRIO N.13 - COMUNE: CORREGGIO (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 E - figura VIII) e la tabella riassuntiva dei parametri ricavati dall'indagine sismica eseguita (tabella F). Nella figura VII sono riportate le curve velocità/frequenze delle onde sismiche da microtremore, secondo le tre componenti tra loro ortogonali. Nel caso in esame si tratta di una registrazione che rispetta i criteri di validazione SESAME (Tabella H). La registrazione (figura V) mostra un chiaro picco di frequenza (f) a circa $f_6 \approx 0,8$ Hertz (6° sismostrato) che corrisponde ad un periodo di oscillazione caratteristico del sito desumibile dallo spettro HVSR pari a $T \approx 1,25$ secondi. Questo picco può essere messo in relazione ad un contrasto litologico che si individua a circa -100,00 m dalla quota del piano di campagna. Esso è riferibile al *bedrock sismico locale di base* cioè a quello strato basale del sottosuolo nel quale la velocità delle onde di taglio risulta essere pari a circa pari a $V_s \approx 500$ m/s. Altri picchi secondari sono presenti rispettivamente alle frequenze di circa $f_1 \approx 16,5$ Hz (1° sismostrato), $f_2 \approx 7,1$ Hertz (2° sismostrato), $f_3 \approx 2,8$ Hertz (3° sismostrato), $f_4 \approx 1,9$ Hertz (4° sismostrato), $f_5 \approx 1,1$ Hertz (5° sismostrato). La velocità delle onde di taglio nel sottosuolo tende praticamente ad aumentare con la profondità.

L'ampiezza del picco di frequenza fondamentale del sottosuolo, che è risultata essere pari ad $A \approx 2,5$, è una stima

dell'intensità del contrasto di rigidità del sottosuolo (si tratta di un contrasto di moderata intensità - tabella H).

1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO	4° STRATO	5° STRATO	6° STRATO	7° STRATO
$V_s = 200$	$V_s = 250$	$V_s = 210$	$V_s = 230$	$V_s = 330$	$V_s = 380$	$V_s = 580 \text{ m/s}$
$d = 3,00 \text{ m}$	$d = 5,00 \text{ m}$	$d = 11,00$	$d = 10,00$	$d = 30,00$	$d = 50,00$	<i>bedrock sismico locale di</i>

Tabella n.7 Stratigrafia sismica del sottosuolo del sito di progetto di via Mandrio n.13 a Correggio (RE) in corrispondenza dell'indagine sismica HVSR2.

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

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,n}^{vi} hi}$$

Dove:

hi = spessore dello strato i esimo espresso in metri;

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

Ottenendo:

$$V_{s30} \approx 224 \text{ m/s}$$

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

- **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 di frequenza, riscontrati nell'analisi sismica, possono essere messi in relazione ad un contrasto di impedenza sismica nel sottosuolo, profondo circa $\approx -100,00 \text{ m}$ dalla quota del piano di campagna. Tale differenza di impedenza sismica è dovuta, molto probabilmente, al contrasto di rigidità tra la copertura alluvionale pleistocenico - olocenica superiore (alternanze di sabbie, limi e argille) e il basamento preesistente più rigido (dorsale ferrarese con coperture di marne oligoceniche e arenarie). È da segnalare come le risultanze delle analisi di sismica passiva eseguite siano sostanzialmente congruenti con quanto riportato dalla cartografia specialistica del P.S.C. (carta delle frequenze naturali dei terreni in scala 1:10.000 - microzonazione sismica Comune di Correggio - Tavola 1.7 Nord Est – 2013 - figura n.10) che prevede, per il sito progettuale, una frequenza naturale di vibrazione del terreno minore di 1,0 Hertz; (carta delle velocità delle onde di taglio V_s nei primi 30,00 m dalla quota del p.c. [V_{s30}] in scala 1:10.000 - microzonazione sismica Comune di Correggio - Tavola 2.2 Nord Est – 2013 - figura n.11) che prevede $220 \text{ m/sec} < V_{s30} < 230 \text{ m/sec}$ (per il sito progettuale è stato rilevato un intervallo di valori delle onde di taglio pari a $207 \text{ m/sec} < V_{s30} < 224 \text{ m/sec}$).

La frequenza principale di risonanza del sottosuolo è stata quindi accertata **minore di 1,0 Hertz**. Le frequenze importanti in campo ingegneristico sono quelle comprese tra a 1,00 Hertz e 20,00 Hertz. È molto importante che la frequenza stimata della struttura di progetto ($f \approx 2,3 \text{ Hertz}$) non sia comparabile con quella fondamentale, propria del modo di

vibrare del sottosuolo ([< 1,0 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.

Prove penetrometriche statiche

Per la caratterizzazione litostatografica e la determinazione indiretta dei principali caratteri geomeccanici e fisici del terreno (peso di volume, densità relativa, angolo di attrito, coesione, modulo di deformazione, profondità della falda acquifera) sono state effettuate n.3 (tre) prove penetrometriche statiche CPT con punta meccanica tipo "Begemann", denominate rispettivamente CPT1, CPT2 e CPT3. L'indagine è stata effettuata utilizzando un penetrometro statico cingolato, con spinta da 15 tonnellate (150 kN) modello "Deep Drill"; esse sono state eseguite in corrispondenza dell'area di sedime del sito progettuale (figura n.24).

Nei certificati di prova allegati al presente rapporto, costituiti da diagrammi, grafici e tabelle, sono stati riportati i seguenti valori di resistenza del terreno (rilevati dalle letture di campagna durante l'infissione delle aste dello strumento):

- ❖ Q_c (Kg/cm²) = resistenza alla punta conica;
- ❖ F_s (Kg/cm²) = resistenza laterale del manicotto della punta conica;
- ❖ Q_c/f_s = rapporto tra la resistenza alla punta conica e la resistenza laterale del manicotto della punta conica;

Q_c e f_s sono state rilevati ad intervalli regolari di 20 cm di profondità d'infissione della punta nel terreno. Inoltre, sempre nei certificati di prova, oltre che la natura litologica del terreno stesso sono riportati i principali parametri geotecnici del terreno, ottenuti per via indiretta tramite elaborazione dei valori di q_c e f_s :

- ❖ Coesione non drenata C_u (terreni coesivi);
- ❖ Modulo di deformazione non drenato E_u (terreni coesivi);
- ❖ Peso dell'unità di volume saturo γ_{sat} (terreni coesivi e granulari);
- ❖ Densità relativa D_r (terreni granulari normalconsolidati);
- ❖ Angolo di attrito interno efficace Φ' (terreni granulari);
- ❖ Modulo di deformazione drenato o Modulo di Young E' (terreni granulari);
- ❖ Modulo di deformazione edometrico M° (terreni coesivi e granulari);
- ❖ Grado di sovraconsolidazione O.C.R. (terreni coesivi);

Le penetrometrie sono state spinte fino alla profondità significativa d'indagine di -20,00 m dalla quota del piano dell'area cortiliva (q.p.a.c.); al termine della loro esecuzione è stato misurato, nei fori di prova, il livello idrico nel terreno che si attestato ad una quota di -0,90 m dalla q.p.a.c.; questo livello di soggiacenza è sicuramente variabile nell'arco dell'anno con un'escursione stagionale di circa $\pm 1,00$ m.

Le indagini hanno rilevato una stratigrafia del terreno formata da argille limose e/o da argille sabbiose, poco consistenti, fino a circa -8,00 m dalla q.p.a.c. mentre, le stesse litologie, tra i circa -8,00 m ed i -20,00 m dalla q.p.a.c., risultano essere mediamente consistenti; si rinviengono anche alcuni livelli, dello spessore di pochi decimetri, a maggiore componente sabbiosa; tra i -8,00 m ed i -20,00 m dalla q.p.a.c. si ha un tendenziale aumento del grado di consolidazione, con l'incremento della profondità, e quindi un miglioramento della resistenza del terreno derivante anche dall'aumento della pressione geostatica efficace. Il terreno risulta essere saturo di acqua e presenta valori di resistenza alla rottura q_c , compresi mediamente in un intervallo di valori che va da $q_c \approx 5$ kg/cm² a $q_c \approx 35$ kg/cm².

Il riconoscimento di massima dei terreni attraversati durante l'esecuzione delle penetrometrie è stato ottenuto in base al rapporto q_c/f_s fra la resistenza alla punta e la resistenza laterale del penetrometro (Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977), ovvero in base ai valori di q_c e del rapporto $FR = (f_s/q_c)\%$ (esperienze di Schmertmann - 1978).

Stratigrafia prova CPT1 (presenza idrica a -0,90 m dalla q.p.a.c.):

- -0,20 m + -8,00 m dalla quota dalla q.p.a.c. = argille limose e/o argille sabbiose, poco consistenti, $q_c = 784$ kPa, $N_{spt} = 3$, $\gamma_{sat} = 18,80$ kN/m³, $E_u = 2.050$ kN/m², $C_u = 42$ kPa, $G = 7.295$ kPa, $\phi' = 15^\circ$, $E' = 2.310$ kN/m², $v = 0,22$;
- -8,00 m + -20,00 m dalla q.p.a.c. = argille limose e/o argille sabbiose, mediamente consistenti, $q_c = 1.568$ kPa, $N_{spt} = 9$, $\gamma_{sat} = 19,20$ kN/m³, $E_u = 4.462$ kPa, $C_u = 61$ kPa, $G = 12.025$ kPa, $\phi = 22^\circ$, $E' = 3.450$ kPa, $v = 0,23$;

Stratigrafia prova CPT2 (presenza idrica a -0,90 m dalla q.p.a.c.):

- -0,20 m ÷ -8,00 m dalla q.p.a.c. = argille limose e/o argille sabbiose, poco consistenti, $q_c = 784 \text{ kPa}$, $N_{spt} = 3$, $\gamma_{sat} = 18,80 \text{ kN/m}^3$, $E_u = 2.050 \text{ kN/m}^2$, $C_u = 42 \text{ kPa}$, $G = 7.295 \text{ kPa}$, $\phi' = 15^\circ$, $E' = 2.310 \text{ kN/m}^2$, $v = 0,22$;
- -8,00 m ÷ -20,00 m dalla q.p.a.c. = argille limose e/o argille sabbiose, mediamente consistenti, $q_c = 1.568 \text{ kPa}$, $N_{spt} = 9$, $\gamma_{sat} = 19,20 \text{ kN/m}^3$, $E_u = 4.662 \text{ kPa}$, $C_u = 61 \text{ kPa}$, $G = 12.025 \text{ kPa}$, $\phi = 21^\circ$, $E' = 3.450 \text{ kPa}$, $v = 0,23$;

Stratigrafia prova CPT3 (presenza idrica a -0,90 m dalla q.p.a.c.):

- -0,20 m ÷ -8,00 m dalla q.p.a.c. = argille limose e/o argille sabbiose, poco consistenti, $q_c = 784 \text{ kPa}$, $N_{spt} = 3$, $\gamma_{sat} = 18,80 \text{ kN/m}^3$, $E_u = 2.050 \text{ kN/m}^2$, $C_u = 42 \text{ kPa}$, $G = 7.295 \text{ kPa}$, $\phi' = 15^\circ$, $E' = 2.310 \text{ kN/m}^2$, $v = 0,22$;
- -8,00 m ÷ -20,00 m dalla q.p.a.c. = argille limose e/o argille sabbiose, mediamente consistenti, $q_c = 1.568 \text{ kPa}$, $N_{spt} = 9$, $\gamma_{sat} = 19,20 \text{ kN/m}^3$, $E_u = 4.462 \text{ kPa}$, $C_u = 61 \text{ kPa}$, $G = 12.025 \text{ kPa}$, $\phi = 21^\circ$, $E' = 3.450 \text{ kPa}$, $v = 0,23$;

Valutazione delle resistenze del sottosuolo in base ai valori a rottura riscontrati all'infissione statica della punta del penetrometro: Il carico ammissibile del terreno, all'infissione statica della punta del penetrometro, indicativo in prima approssimazione delle caratteristiche generali di capacità portante del terreno, è riportato in tabella n.8 per le tre verticali penetrometriche investigate. Nella determinazione dei valori delle resistenze si è tenuto conto dei valori caratteristici di resistenza alla punta meccanica del penetrometro q_{ck} e della relazione del carico ammissibile: $q_a = q_{ck}/\alpha$ (con $12 < \alpha < 18$ in base alla granulometria del terreno per $q_c \leq 10 \text{ kg/cm}^2$ e $12 < \alpha < 30$ in base alla granulometria del terreno per $q_c \geq 10 \text{ kg/cm}^2$ - Herminier 1953 - Meyerhof 1965 - Sanglerat 1972).

Stima del modulo di reazione di sotterraneo del terreno (secondo Winkler) sulla base dell'elaborazione dei dati ottenuti dalle prove penetrometriche statiche: Per terreni argillo - limosi e/o argillo - sabbiosi, in base ai valori di coesione ottenuti dalle penetrometrie, il valore stimato del modulo di Winkler risulta essere pari a $K_b = 10,8 \text{ MN/m}^3 \approx 1,1 \text{ kg/cm}^3$ (valore consigliato dal Terzaghi, 1956 - pp.369 - 370 - Geotecnica - Colombo - III edizione). K_b è fortemente influenzato dalla geometria e dalla larghezza B della fondazione.

	CPT1	CPT2	CPT3
-0,20 m ÷ -8,00 m dalla quota del piano dell'area cortiliva (q.p.a.c.)	$q_a = q_{ck}/\alpha = 6 \text{ kg/cm}^2 : 12 \approx 0,500 \text{ kg/cm}^2$	$q_a = q_{ck}/\alpha = 6 \text{ kg/cm}^2 : 12 \approx 0,500 \text{ kg/cm}^2$	$q_a = q_{ck}/\alpha = 68 \text{ kg/cm}^2 : 12 \approx 0,500 \text{ kg/cm}^2$
-8,00 m ÷ -20,00 m dalla quota del piano dell'area cortiliva (q.p.a.c.)	$q_a = q_{ck}/\alpha = 13 \text{ kg/cm}^2 : 16 \approx 0,800 \text{ kg/cm}^2$	$q_a = q_{ck}/\alpha = 13 \text{ kg/cm}^2 : 16 \approx 0,800 \text{ kg/cm}^2$	$q_a = q_{ck}/\alpha = 13 \text{ kg/cm}^2 : 16 \approx 0,800 \text{ kg/cm}^2$

Tabella n.8 Valori delle resistenze del primo sottosuolo in corrispondenza delle tre verticali penetrometriche statiche.

PARAMETRI NOMINALI (CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA) E PARAMETRI CARATTERISTICI DEL SOTTOSUOLO

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

Caratterizzazione geotecnica del primo sottosuolo (parametri nominali):

- -0,20 m + -8,00 m dalla quota del piano dell'area cortiliva (q.p.a.c.) = argille limose e/o argille sabbiose, poco consistenti, peso di volume saturo $\gamma_{sat} = 18,80 \text{ kN/m}^3$, coesione non drenata $C_u = 42 \text{ kPa}$, angolo di resistenza al taglio drenato $\phi = 15^\circ$, coesione drenata $C' = 15 \text{ kPa}$, modulo di Young $E' = 2.310 \text{ kPa}$, modulo di deformazione non drenato $E_u = 2.050 \text{ kPa}$, modulo di taglio $G = 7.295 \text{ kPa}$, coefficiente di poisson $\nu = 0,22$;
- -8,00 m + -20,00 m dalla q.p.a.c. = argille limose e/o argille sabbiose, mediamente consistenti, peso di volume saturo $\gamma_{sat} = 19,20 \text{ kN/m}^3$, modulo di deformazione non drenato $E_u = 4.462 \text{ kPa}$, coesione non drenata $C_u = 61 \text{ kPa}$, modulo di taglio $G = 12.025 \text{ kPa}$, angolo di resistenza al taglio drenato $\phi = 21^\circ$, coesione drenata $C' = 20 \text{ kPa}$, modulo di Young $E' = 3.450 \text{ kPa}$, coefficiente di poisson $\nu = 0,23$;

I certificati di prova allegati riportano in dettaglio, per ogni verticale investigata, i principali parametri geotecnici del terreno ricavati per via indiretta con il programma di elaborazione per prove penetrometriche statiche denominato *WINCPT2010*.

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

- -0,20 m + -8,00 m dalla q.p.a.c. = argille limose e/o argille sabbiose, poco consistenti, peso di volume saturo $\gamma_{satk} = 18,80 \text{ kN/m}^3$, coesione non drenata $C_{uk} = 38 \text{ kPa}$, modulo di deformazione non drenato $E_{uk} = 1.840 \text{ kPa}$, modulo di taglio $G_k = 6.445 \text{ kPa}$, coefficiente di poisson $\nu_k = 0,22$;
- -8,00 m + -20,00 m dalla q.p.a.c. = argille limose e/o argille sabbiose, mediamente consistenti, peso di volume saturo $\gamma_{satk} = 19,20 \text{ kN/m}^3$, modulo di deformazione non drenato $E_{uk} = 3.815 \text{ kPa}$, coesione non drenata $C_{uk} = 55 \text{ kPa}$, modulo di taglio $G_k = 10.465 \text{ kPa}$, coefficiente di poisson $\nu_k = 0,23$;

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

- -0,20 m + -8,00 m dalla q.p.a.c. = argille limose e/o argille sabbiose, poco consistenti, peso di volume saturo $\gamma_{satk} = 18,80 \text{ kN/m}^3$, angolo di resistenza al taglio drenato $\phi'_k = 14^\circ$, coesione drenata $C'_k = 10 \text{ kPa}$, modulo di Young $E'_k = 1.990 \text{ kPa}$;
- -8,00 m + -20,00 m dalla q.p.a.c. = argille limose e/o argille sabbiose, mediamente consistenti, peso di volume saturo $\gamma_{satk} = 19,20 \text{ kN/m}^3$, angolo di resistenza al taglio drenato $\phi'_k = 18^\circ$, coesione drenata $C'_k = 15 \text{ kPa}$, modulo di Young $E'_k = 3.095 \text{ kPa}$;

(I dati dei parametri di resistenza caratteristici sono rappresentativi dell'insieme dei valori riferibili al valore medio della distribuzione statistica dei parametri stessi. Resistenze compensate da misure dirette).

RISPOSTA SISMICA LOCALE ED EFFETTI LOCALI ATTESI

In base a quanto prescritto dal D.M. 17/01/2018 (tabella 3.2.II - categorie del sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato) si procede alla caratterizzazione del sottosuolo al fine di definire l'azione sismica di progetto. Il primo sottosuolo, in base alle risultanze avutesi con le indagini di simica passiva tipo H.V.S.R., ha una velocità equivalente (per i primi 30 m di profondità dal piano di fondazione del fabbricato progettuale) pari a $V_{s30} \approx 207 \text{ m/s} \pm 224 \text{ m/s}$. Quindi, in base al valore misurato di dette velocità, il sottosuolo del sito di progetto ricade nella categoria:

C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiore a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

Il fattore di amplificazione stratigrafica corrispondente alla categoria di suolo C rientra nel seguente range di valori $1,00 < S_s < 1,50$. Le caratteristiche della superficie 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 $S_t = 1,0$. Le risultanze delle indagini penetrometriche statiche e geofisiche sono sostanzialmente congruenti con quanto riportato dalla cartografia della microzonazione sismica del territorio comunale di Correggio dell'ottobre 2013 (vedasi cartografie relative riportate in allegato). Infatti le velocità delle onde di taglio sono risultate essere ($V_{s30} \approx 207 \text{ m/s} \pm 224 \text{ m/s}$) [figura n.11]. La frequenza naturale di vibrazione del terreno ($f \approx 0,7 \text{ Hertz} \pm 0,9 \text{ Hertz}$) è risultata essere minore di uno [figura n.10]. Il terreno di fondazione è formato da argille limose e/o da argille sabbiose il cui grado di consistenza e di consolidazione aumenta generalmente con la profondità in funzione anche dell'aumento della pressione geostatica efficace [figura n.9]. Il rischio liquefazione del terreno, sotto un sisma di riferimento di magnitudo $M_I = 6,14$, risulta essere basso [figure n.8 e n.9]. I fattori di amplificazione della P.G.A. del sito progettuale risultano essere F.A. P.G.A. = $1,9 \pm 2,0$ [figura n.12]. I fattori di amplificazione di intensità sismica Housner nei periodi tra 0,1 sec. – 0,3 sec. = $1,9 \pm 2,0$ [figura n.13]. I fattori di amplificazione di intensità sismica Housner nei periodi tra 0,1 sec. – 0,5 sec. = $2,3 \pm 2,4$ [figura n.14]. I fattori di amplificazione di intensità sismica Housner nei periodi tra 0,3 sec. – 0,5 sec. = $2,3 \pm 2,4$ [figura n.15]. I fattori di amplificazione di intensità sismica Housner nei periodi tra 0,5 sec. – 1,0 sec. = $1,9 \pm 2,0$ [figura n.16]. I fattori di amplificazione di intensità sismica Housner nei periodi tra 1,0 sec. – 1,5 sec. = $1,5 \pm 1,6$ [figura n.17].

È possibile valutare l'accelerazione massima attesa al sito mediante la relazione (D.M. 17/01/2018): $a_{max} = S_s \times S_t \times ag$; dove: S_s = coefficiente che tiene conto dell'effetto dell'amplificazione stratigrafica; S_t = coefficiente che tiene conto dell'effetto dell'amplificazione topografica e ag = accelerazione orizzontale massima sul suolo di categoria A.

Nel caso in esame si assume, per la struttura progettuale, vita nominale = 50 anni, classe d'uso = II, Stato Limite S.L.V. e Tempo di Ritorno TR = 475 anni (paragrafo 7.1 D.M. 17/01/2018). Si ha quindi per un suolo ricadente in categoria sismica C la seguente espressione per il coefficiente di amplificazione stratigrafica: $S_s = 1,70 - 0,60 \times Fo \times ag/g = 1,70 - 0,60 \times 2,551 \times 0,155 \approx 1,46$; risulta pertanto che: $a_{max} = S_s \times S_t \times ag = 1,46 \times 1,0 \times 0,155 \approx 0,226g$. 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 Correggio (2013 - figura n.12) si ha un valore di a_{max} pari ad: $a_{max} = S_s \times S_t \times ag = 1,9 \times 1,0 \times 0,155 \approx 0,294g$ (PIANURA 1: settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un contrasto di impedenza significativo, tale da essere considerato coincidente con il tetto del substrato rigido, a profondità $\leq 100 \text{ m}$ dalla quota del p.c. - 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 Correggio (RE): $a_{max} = 0,150g$ (zona sismica 3 secondo l'O.P.C.M. n.3274 del 20/03/2003); $a_{max} = S_s \times S_t \times ag = 1,46 \times 1,0 \times 0,155 \approx 0,226g$ (analisi semplificata secondo il D.M. 17/01/2018); $a_{max} = 0,152g$ (Allegato A4 del D.A.R.E.R. n.112/2007). $a_{max} = S_s \times S_t \times ag = 1,90 \times 1,0 \times 0,155 \approx 0,294g$ (microzonazione sismica di secondo livello del territorio comunale di Correggio – Centrogeo – ottobre 2013).

PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE E DI SITO SECONDO NTC2018

PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

Vita nominale (Vn): 50 [anni]

Classe d'uso: II

Coefficiente d'uso (Cu): 1

Periodo di riferimento (Vr): 50 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLO: 30 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLD: 50 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLV: 475[anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLC: 975 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Coordinate geografiche del punto

Latitudine (WGS84): 44,7855949 [°]

Longitudine (WGS84): 10,7994585 [°]

Latitudine (ED50): 44,7865334 [°]

Longitudine (ED50): 10,8004684 [°]

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	15390	44,803260	10,743580	4859,08
2	15391	44,804860	10,813940	2298,54
3	15613	44,754880	10,816230	3732,98
4	15612	44,753290	10,745880	5677,43

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

Punto 1

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,041	2,538	0,247
SLD	50	0,053	2,506	0,262
	72	0,061	2,523	0,275
	101	0,071	2,482	0,280
	140	0,084	2,447	0,280
	201	0,100	2,440	0,281
SLV	475	0,146	2,544	0,274
SLC	975	0,196	2,534	0,277
	2475	0,281	2,446	0,287

Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,041	2,531	0,247
SLD	50	0,053	2,510	0,263
	72	0,060	2,543	0,275
	101	0,073	2,443	0,277
	140	0,087	2,445	0,273
	201	0,103	2,543	0,268
SLV	475	0,150	2,572	0,270
SLC	975	0,202	2,526	0,277
	2475	0,289	2,441	0,288

Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,044	2,494	0,250
SLD	50	0,056	2,497	0,265
	72	0,065	2,485	0,274
	101	0,076	2,478	0,275
	140	0,091	2,441	0,276
	201	0,109	2,476	0,272
SLV	475	0,156	2,558	0,273
SLC	975	0,207	2,532	0,277
	2475	0,294	2,438	0,290

Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,044	2,496	0,250
SLD	50	0,056	2,502	0,265
	72	0,065	2,492	0,273
	101	0,075	2,487	0,276
	140	0,088	2,485	0,277
	201	0,106	2,431	0,279
SLV	475	0,155	2,498	0,276
SLC	975	0,207	2,497	0,277
	2475	0,292	2,428	0,290

Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,043	2,517	0,248
SLD	50	0,054	2,505	0,264
SLV	475	0,152	2,551	0,273
SLC	975	0,203	2,524	0,277

PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO

Coefficiente 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	0,011	0,015	0,053	0,087
kv	0,006	0,007	0,027	0,044
amax [m/s ²]	0,626	0,793	2,185	2,764
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	0,064	0,081	0,223	0,282
kv	0,032	0,040	0,111	0,141
amax [m/s ²]	0,626	0,793	2,185	2,764
Beta	1,000	1,000	1,000	1,000

Coefficienti sismici per paratie

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

Spostamento ammissibile us: 0,015 [m]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,042	0,053	0,145	0,183
kv	--	--	--	--
amax [m/s ²]	0,626	0,793	2,185	2,764
Beta	0,650	0,650	0,650	0,650

Coefficienti sismici stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,013	0,016	0,053	0,079
kv	0,006	0,008	0,027	0,039
amax [m/s ²]	0,626	0,793	2,185	2,764
Beta	0,200	0,200	0,240	0,280

Muri di sostegno 2018

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0,038	0,085	--
kv	--	0,019	0,042	--
amax [m/s ²]	0,626	0,793	2,185	2,764
Beta	--	0,470	0,380	--

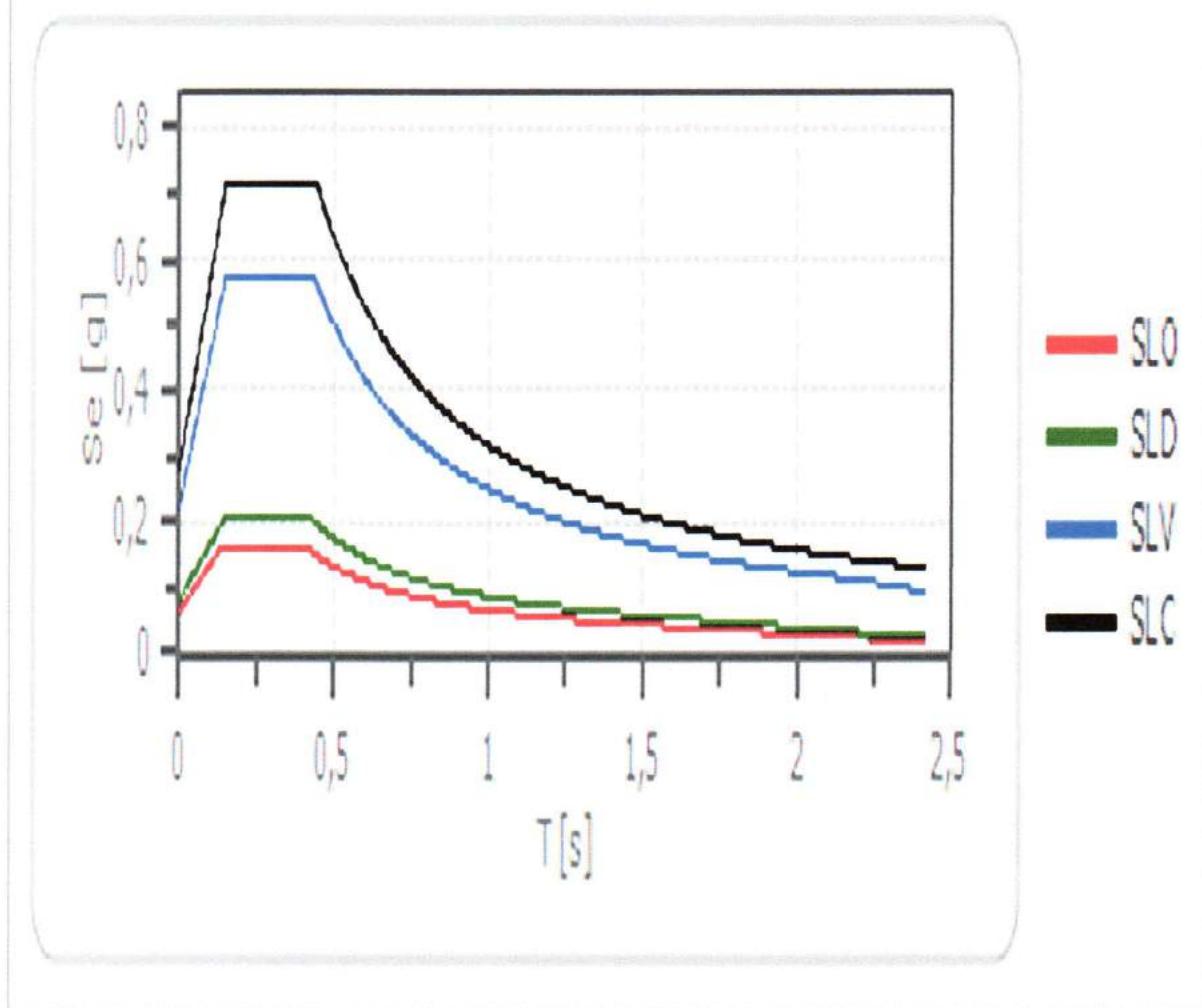
Fronti di scavo e rilevati

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0,038	0,085	--
kv	--	0,019	0,042	--
amax [m/s ²]	0,626	0,793	2,185	2,764
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

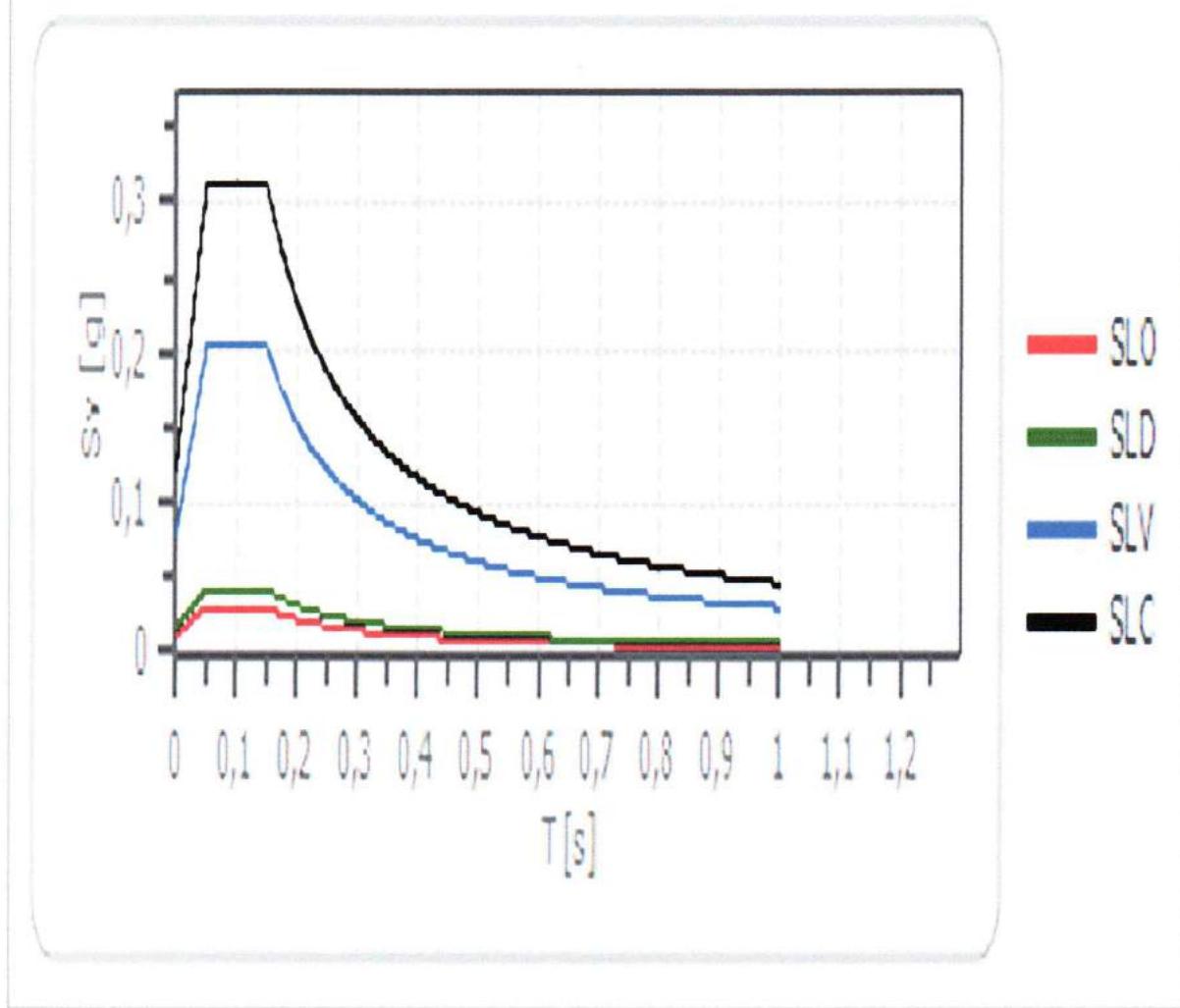


	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,043	2,517	0,248	1,500	1,660	1,000	1,500	1,000	0,137	0,412	1,770	0,064	0,161
SLD	1,0	0,054	2,505	0,264	1,500	1,630	1,000	1,500	1,000	0,143	0,430	1,816	0,081	0,203
SLV	1,0	0,152	2,551	0,273	1,470	1,610	1,000	1,470	1,000	0,146	0,439	2,206	0,223	0,569
SLC	1,0	0,203	2,524	0,277	1,390	1,600	1,000	1,390	1,000	0,148	0,443	2,411	0,282	0,711

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

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

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1,0	0,043	2,517	0,248	1	1,660	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,012	0,030
SLD	1,0	0,054	2,505	0,264	1	1,630	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,017	0,042
SLV	1,0	0,152	2,551	0,273	1	1,610	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,080	0,203
SLC	1,0	0,203	2,524	0,277	1	1,600	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,123	0,311

RISCHIO E VERIFICA A LIQUEFAZIONE

Calcolo della suscettibilità alla liquefazione con il Metodo semplificato di Robertson & Wride (1998):

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

- Eventi sismici attesi di magnitudo M_w maggiore di 5 ($M_w > 5$);
- Accelerazione massima attesa al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero – *free field*) maggiore di 0,100g;
- Profondità media stagionale della falda acquifera del sottosuolo inferiore a 15,00 m dal piano campagna (per piano campagna suborizzontale e strutture con fondazioni superficiali);
- Depositi alluvionali, costituenti il sottosuolo, prevalentemente granulari con $q_{c1N} < 180$ kPa (dove q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche [Cone Penetration Test] normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa);

L'analisi della sismicità regionale indica che sussistono le condizioni sismiche per la liquefazione. Infatti i terremoti attesi, in un periodo di 475 anni, sono di intensità $I \geq VIII$ MCS con valori del picco di accelerazione $a_{max} \approx 0,275$ g; localmente sono anche possibili valori maggiori del picco di accelerazione per effetto di fenomeni di amplificazione della risposta sismica del terreno.

I dati sismici di progetto, derivati da un'analisi del rischio sismico eseguita utilizzando il catalogo sismico e la zonazione sismotettonica del G.N.D.T., sono i seguenti: Magnitudo $M_w = 6,14$ (Zona Sismogenetica 912 – Nuova Zona Sismogenetica 3); accelerazione di picco: $a_{ref}/g = a_{max} \times S_s = 0,155 \times 1,90 = 0,294$ g. Il fattore di scala della magnitudo, secondo Seed & Idriss (1982), è pari a MSF = 1,32 (per sisma di magnitudo circa $M_w = 6,0$ gradi). Tuttavia ai fini della sicurezza, nel prosieguo della nostra analisi, si preferisce utilizzare un valore di $a_{ref}/g = 0,300$ g.

Per verificare la possibilità di occorrenza di fenomeni di liquefazione sotto sisma si sono prese in considerazione le resistenze statiche delle prove penetrometriche eseguite sul sito progettuale (figura n.24). Le prove sono state spinte fino alla profondità di -20,00 m dalla quota del piano dell'area cortiliva (q.p.a.c.) mentre il primo livello della falda acquifera superficiale è stato rinvenuto a -0,90 m dalla q.p.a.c.

La metodologia di verifica di cui ci si avvale in questa sede è il metodo della stima della liquefazione semplificata, basato sulle prove penetrometriche statiche meccaniche CPT, tramite il *Metodo di Robertson & Wride (1998)* modificato poiché il software di elaborazione dati (EPC editore - S. Monaco 2014 - in ambiente Excel) apporta in automatico una riduzione di circa il 30% delle resistenze laterali penetrometriche f_s in quanto si tiene conto del fatto che la metodologia di elaborazione è stata tarata in origine per le indagini penetrometriche CPTU.

Si procede a valutare il coefficiente di sicurezza nei confronti della liquefazione: $F = (CRR/CSR) \times MSF$. Se il fattore $F > 1,25$ la liquefazione è da escludere; se è $F < 1,25$ è possibile che avvengano fenomeni di liquefazione (Sonmez -2003).

Si ha quindi:

$$F = (CRR/CSR) \times MSF$$

Dove:

- **MSF** (Seed & Idriss 1982) è un fattore di scala che è valutato in funzione della magnitudo dei terremoti attesi (per un sisma di $M = 5,5$ si ha $MSF = 1,43$, per $M = 6,0$ si ha $MSF = 1,32$ e per $M = 6,5$ si ha $MSF = 1,19$);
- **CSR = $0,65 \times (a_{ref}/g \times \sigma_v/\sigma'_v) \times r_d$** è la tensione indotta dal terremoto; dove $a_{ref}/g = 0,300$ è l'accelerazione massima alla superficie topografica del piano di campagna, sotto sisma di riferimento, moltiplicato per un fattore di amplificazione sismica; $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ è l'accelerazione di gravità; σ_v e σ'_v sono rispettivamente la tensione totale verticale e la tensione efficace verticale alla profondità considerata z ; r_d è un coefficiente riduttivo dell'azione sismica che tiene conto della deformabilità del sottosuolo. Si ha $r_d = 1 - 0,00765z$ per $z \leq 9,15$ m e $r_d = 1,174 - 0,0267z$ per $9,15 \text{ m} \leq z \leq 23$ m;

- $CRR = 93 \times (q_{c1N} / 1000)^3 + 0,08$ (per $q_{c1N} < 180$ kPa) è la resistenza normalizzata (rispetto alla tensione efficace verticale σ'_v). $q_{c1N} = (P_a / \sigma'_v)^n \times (q_{ck} / P_a) \times K_c$ è il valore della resistenza alla punta del cono, corretto e normalizzato; $P_a = 100$ kPa è la pressione atmosferica espressa nella stessa unità di misura degli altri parametri, q_{ck} è il valore della resistenza alla punta del penetrometro misurato in sito, n è un coefficiente che dipende dalla costituzione litologica del primo sottosuolo; K_c è un fattore di correzione che tiene conto del contenuto di terreno a granulometria fine nel sottosuolo.

Nelle tabelle seguenti sono riportati i risultati delle verifiche eseguite per strati dello spessore di 20 cm, fino ad una profondità di -20,00 m dalla quota del piano dell'area cortiliva; essendosi rilevato il primo livello della falda acquifera superficiale alla profondità media di -0,90 dalla q.p.a.c., la valutazione del rischio liquefazione sarà significativa a partire da detta quota. Nell'applicazione della metodologia di calcolo è stato considerato un peso di volume saturo pari $\gamma_{sat} = 18,80$ kN/m³ fino a -8,00 m dalla q.p.a.c. ed un $\gamma_{sat} = 19,20$ kN/m³ tra i -8,00 m dalla q.p.a.c. ed i -20,00 m dalla q.p.a.c. Nella tabella n.9 sono riportati, per ogni verticale investigata, gli spessori totali di terreno risultati essere potenzialmente liquefacibili cioè con un $F_s < 1,25$; nella tabella n.10 sono invece riportati i valori dell'indice del potenziale di liquefazione (I.P.L.) relativi agli spessori di terreno a rischio liquefazione mentre nella tabella n.11 sono infine riportate le classi di pericolosità di liquefazione corrispondenti a determinati intervalli di I.P.L.

Prova penetrometrica	CPT1	CPT2	CPT3
Totali strati di terreno potenzialmente liquefacibili	0,20 m	0,80 m	0,20 m

Tabella n.9

Prova penetrometrica	CPT1	CPT2	CPT3
Indice del potenziale di liquefazione IPL	0,351	0,632	0,333

Tabella n.10

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

Tabella n.11 (Iwasaki et al. - 1978)

Livello del primo sottosuolo potenzialmente liquefacibile sotto sisma

Dalle analisi eseguite (tabelle n.12, n.13 e n.14) risulta che il rischio liquefazione del terreno sotto un sisma di riferimento di magnitudo $M_w = 6,14$ (terremoto standard della Zona Sismogenetica 912 – Nuova Zona Sismogenetica 3), risulta essere basso ($0 < IPL \leq 2$ - tabella n.11).

Prof. (m)	Ic (n=1)		Ic (n=0,5)		Ic (n=0,75) valore	Verificare campione in lab.	Ic utilizzato	Fs
	valore	Classificazione	valore	Classificazione			valore	valore
0,20	1,54	Granulare	1,98	NPGranulare	1,74	--	1,98	2,98
0,40	1,96	Granulare	2,27	NPGranulare	2,10	--	2,27	N.C.
0,60	2,53	Granulare	2,81	PLimoso	2,66	C.Cinese	2,66	N.C.
0,80	2,46	Granulare	2,70	PLimoso	2,57	C.Cinese	2,57	N.C.
1,00	2,71	Argilloso	2,93	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
1,20	2,77	Argilloso	2,97	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
1,40	2,57	Granulare	2,76	PLimoso	2,66	C.Cinese	2,66	N.C.
1,60	2,71	Argilloso	2,89	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
1,80	2,87	Argilloso	3,03	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
2,00	2,91	Argilloso	3,06	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
2,20	3,02	Argilloso	3,16	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
2,40	2,99	Argilloso	3,12	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
2,60	2,89	Argilloso	3,00	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
2,80	2,96	Argilloso	3,07	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
3,00	2,96	Argilloso	3,07	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
3,20	3,04	Argilloso	3,15	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
3,40	3,06	Argilloso	3,15	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
3,60	2,98	Argilloso	3,06	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
3,80	2,94	Argilloso	3,02	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
4,00	2,95	Argilloso	3,03	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
4,20	2,91	Argilloso	2,98	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
4,40	3,08	Argilloso	3,15	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
4,60	2,81	Argilloso	2,89	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
4,80	2,68	Argilloso	2,75	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
5,00	2,35	Granulare	2,42	NPGranulare	2,38	--	2,42	0,78
5,20	2,68	Argilloso	2,73	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
5,40	3,18	Argilloso	3,23	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
5,60	1,35	Granulare	1,39	NPGranulare	1,37	--	1,39	N.C.
5,80	1,17	Granulare	1,21	NPGranulare	1,19	--	1,21	N.C.
6,00	1,54	Granulare	1,57	NPGranulare	1,56	--	1,57	N.C.
6,20	1,54	Granulare	1,57	NPGranulare	1,56	--	1,57	N.C.
6,40	1,49	Granulare	1,51	NPGranulare	1,50	--	1,51	N.C.
6,60	1,20	Granulare	1,23	NPGranulare	1,22	--	1,23	N.C.
6,80	1,41	Granulare	1,43	NPGranulare	1,42	--	1,43	N.C.
7,00	1,80	Granulare	1,82	NPGranulare	1,81	--	1,82	N.C.
7,20	1,90	Granulare	1,91	NPGranulare	1,91	--	1,91	N.C.
7,40	1,37	Granulare	1,38	NPGranulare	1,37	--	1,38	N.C.
7,60	1,56	Granulare	1,56	NPGranulare	1,56	--	1,56	N.C.
7,80	1,60	Granulare	1,60	NPGranulare	1,60	--	1,60	2,40
8,00	1,67	Granulare	1,67	NPGranulare	1,67	--	1,67	N.C.
8,20	1,93	Granulare	1,93	NPGranulare	1,93	--	1,93	N.C.
8,40	1,20	Granulare	1,19	NPGranulare	1,20	--	1,19	N.C.

8,60	1,47	Granulare	1,47	NPGranulare	1,47	--	1,47	N.C.
8,80	1,48	Granulare	1,47	NPGranulare	1,47	--	1,47	N.C.
9,00	1,92	Granulare	1,91	NPGranulare	1,92	--	1,91	N.C.
9,20	2,31	Granulare	2,30	NPGranulare	2,30	--	2,30	1,57
9,40	1,66	Granulare	1,64	NPGranulare	1,65	--	1,64	N.C.
9,60	1,50	Granulare	1,48	NPGranulare	1,49	--	1,48	N.C.
9,80	2,18	Granulare	2,16	NPGranulare	2,17	--	2,16	N.C.
10,00	3,06	Argilloso	3,04	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
10,20	2,96	Argilloso	2,93	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
10,40	3,12	Argilloso	3,09	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
10,60	3,16	Argilloso	3,13	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
10,80	3,17	Argilloso	3,13	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
11,00	3,05	Argilloso	3,01	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
11,20	3,30	Argilloso	3,26	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
11,40	3,02	Argilloso	2,97	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
11,60	2,91	Argilloso	2,86	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
11,80	2,90	Argilloso	2,85	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
12,00	3,16	Argilloso	3,11	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
12,20	3,41	Argilloso	3,36	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
12,40	3,30	Argilloso	3,25	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
12,60	3,22	Argilloso	3,17	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
12,80	3,22	Argilloso	3,17	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
13,00	3,40	Argilloso	3,35	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
13,20	3,19	Argilloso	3,12	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
13,40	3,20	Argilloso	3,13	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
13,60	3,38	Argilloso	3,31	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
13,80	3,53	Argilloso	3,46	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
14,00	3,18	Argilloso	3,11	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
14,20	3,22	Argilloso	3,14	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
14,40	3,49	Argilloso	3,42	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
14,60	3,35	Argilloso	3,27	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
14,80	3,27	Argilloso	3,19	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
15,00	3,41	Argilloso	3,33	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
15,20	3,30	Argilloso	3,22	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
15,40	3,28	Argilloso	3,20	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
15,60	2,93	Argilloso	2,84	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
15,80	3,46	Argilloso	3,37	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
16,00	3,17	Argilloso	3,08	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
16,20	3,49	Argilloso	3,39	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
16,40	3,37	Argilloso	3,27	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
16,60	3,79	Argilloso	3,69	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
16,80	3,56	Argilloso	3,46	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
17,00	3,26	Argilloso	3,16	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.

17,20	3,05	Argilloso	2,95	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
17,40	3,21	Argilloso	3,10	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
17,60	3,53	Argilloso	3,42	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
17,80	3,38	Argilloso	3,27	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
18,00	3,15	Argilloso	3,05	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
18,20	3,19	Argilloso	3,08	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
18,40	3,00	Argilloso	2,89	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
18,60	3,17	Argilloso	3,05	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
18,80	3,43	Argilloso	3,31	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
19,00	3,42	Argilloso	3,31	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
19,20	3,21	Argilloso	3,09	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
19,40	3,15	Argilloso	3,04	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
19,60	3,01	Argilloso	2,89	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
19,80	2,75	Argilloso	2,62	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
20,00	2,90	Argilloso	2,77	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.

Tabella n.12 Verifica a liquefazione prova CPT1.

Prof. (m)	Ic (n=1)		Ic (n=0,5)		Ic (n=0,75) valore	Verificare campione in lab.	Ic utilizzato valore	Fs valore
	valore	Classificazione	valore	Classificazione				
0,20	1,90	Granulare	2,25	NPGranulare	2,05	--	2,25	N.C.
0,40	2,21	Granulare	2,51	NPGranulare	2,35	--	2,51	N.C.
0,60	2,26	Granulare	2,55	NPGranulare	2,40	--	2,55	N.C.
0,80	2,61	Argilloso	2,88	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
1,00	2,64	Argilloso	2,89	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
1,20	2,69	Argilloso	2,94	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
1,40	2,72	Argilloso	2,94	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
1,60	2,79	Argilloso	3,00	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
1,80	2,81	Argilloso	2,99	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
2,00	2,99	Argilloso	3,18	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
2,20	2,57	Granulare	2,74	PLimoso	2,65	C.Cinese	2,65	1,13
2,40	2,66	Argilloso	2,83	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
2,60	3,12	Argilloso	3,28	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
2,80	2,81	Argilloso	2,95	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
3,00	2,70	Argilloso	2,85	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
3,20	2,72	Argilloso	2,86	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
3,40	3,21	Argilloso	3,34	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
3,60	2,47	Granulare	2,60	NPGranulare	2,53	--	2,60	0,96
3,80	2,66	Argilloso	2,77	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
4,00	3,01	Argilloso	3,12	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
4,20	2,92	Argilloso	3,03	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
4,40	3,02	Argilloso	3,12	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
4,60	2,83	Argilloso	2,92	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
4,80	2,63	Argilloso	2,73	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.

5,00	3,11	Argilloso	3,19	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
5,20	2,81	Argilloso	2,89	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
5,40	2,67	Argilloso	2,74	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
5,60	3,16	Argilloso	3,23	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
5,80	2,97	Argilloso	3,03	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
6,00	3,01	Argilloso	3,06	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
6,20	3,19	Argilloso	3,24	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
6,40	3,31	Argilloso	3,35	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
6,60	3,27	Argilloso	3,31	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
6,80	3,40	Argilloso	3,44	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
7,00	3,62	Argilloso	3,66	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
7,20	3,71	Argilloso	3,75	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
7,40	3,65	Argilloso	3,68	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
7,60	3,28	Argilloso	3,30	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
7,80	2,84	Argilloso	2,86	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
8,00	2,73	Argilloso	2,75	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
8,20	2,54	Granulare	2,55	NPGranulare	2,55	--	2,55	0,83
8,40	3,06	Argilloso	3,07	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
8,60	2,54	Granulare	2,55	NPGranulare	2,54	--	2,55	0,76
8,80	2,83	Argilloso	2,83	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
9,00	2,96	Argilloso	2,96	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
9,20	3,07	Argilloso	3,07	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
9,40	3,15	Argilloso	3,14	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
9,60	3,28	Argilloso	3,27	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
9,80	3,57	Argilloso	3,56	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
10,00	2,99	Argilloso	2,98	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
10,20	2,75	Argilloso	2,74	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
10,40	3,04	Argilloso	3,02	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
10,60	3,19	Argilloso	3,17	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
10,80	3,38	Argilloso	3,36	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
11,00	3,30	Argilloso	3,27	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
11,20	3,21	Argilloso	3,18	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
11,40	3,10	Argilloso	3,06	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
11,60	3,28	Argilloso	3,24	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
11,80	3,41	Argilloso	3,37	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
12,00	3,18	Argilloso	3,14	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
12,20	3,13	Argilloso	3,09	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
12,40	3,07	Argilloso	3,03	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
12,60	2,83	Argilloso	2,78	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
12,80	2,97	Argilloso	2,92	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
13,00	2,86	Argilloso	2,81	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
13,20	3,23	Argilloso	3,18	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
13,40	3,27	Argilloso	3,22	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
13,60	3,24	Argilloso	3,18	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.

13,80	3,41	Argilloso	3,35	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
14,00	3,46	Argilloso	3,40	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
14,20	3,39	Argilloso	3,33	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
14,40	3,21	Argilloso	3,15	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
14,60	3,53	Argilloso	3,47	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
14,80	3,14	Argilloso	3,08	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
15,00	3,23	Argilloso	3,16	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
15,20	3,46	Argilloso	3,38	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
15,40	3,45	Argilloso	3,36	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
15,60	3,25	Argilloso	3,16	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
15,80	3,61	Argilloso	3,53	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
16,00	3,28	Argilloso	3,19	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
16,20	3,44	Argilloso	3,34	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
16,40	3,54	Argilloso	3,45	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
16,60	3,17	Argilloso	3,08	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
16,80	3,29	Argilloso	3,20	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
17,00	3,38	Argilloso	3,29	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
17,20	3,21	Argilloso	3,11	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
17,40	3,18	Argilloso	3,08	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
17,60	3,23	Argilloso	3,12	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
17,80	3,30	Argilloso	3,20	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
18,00	3,32	Argilloso	3,22	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
18,20	3,46	Argilloso	3,36	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
18,40	3,39	Argilloso	3,28	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
18,60	3,09	Argilloso	2,98	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
18,80	3,29	Argilloso	3,18	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
19,00	3,48	Argilloso	3,37	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
19,20	3,29	Argilloso	3,18	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
19,40	3,17	Argilloso	3,06	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
19,60	2,94	Argilloso	2,82	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
19,80	3,00	Argilloso	2,89	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
20,00	3,12	Argilloso	3,00	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.

Tabella n.13 Verifica a liquefazione prova CPT2.

Prof. (m)	Ic (n=1)		Ic (n=0,5)		Ic (n=0,75) valore	Verificare campione in lab. valore	Ic utilizzato	Fs valore
	valore	Classificazione	valore	Classificazione			valore	valore
0,20	1,93	Granulare	2,33	NPGranulare	2,11	--	2,33	N.C.
0,40	2,10	Granulare	2,42	NPGranulare	2,25	--	2,42	N.C.
0,60	2,51	Granulare	2,79	PLimoso	2,65	C.Cinese	2,65	N.C.
0,80	2,54	Granulare	2,80	PLimoso	2,66	C.Cinese	2,66	N.C.
1,00	2,60	Granulare	2,85	PLimoso	2,72	C.Cinese	2,72	N.C.
1,20	2,53	Granulare	2,77	PLimoso	2,65	C.Cinese	2,65	2,13

1,40	2,58	Granulare	2,80	PLimoso	2,69	C.Cinese	2,69	1,97
1,60	3,01	Argilloso	3,20	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
1,80	2,81	Argilloso	2,99	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
2,00	2,96	Argilloso	3,13	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
2,20	2,98	Argilloso	3,15	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
2,40	2,91	Argilloso	3,08	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
2,60	3,05	Argilloso	3,21	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
2,80	2,85	Argilloso	3,00	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
3,00	2,86	Argilloso	3,01	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
3,20	2,80	Argilloso	2,94	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
3,40	2,94	Argilloso	3,07	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
3,60	2,98	Argilloso	3,10	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
3,80	3,03	Argilloso	3,14	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
4,00	2,93	Argilloso	3,05	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
4,20	2,96	Argilloso	3,08	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
4,40	3,00	Argilloso	3,10	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
4,60	3,01	Argilloso	3,10	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
4,80	3,30	Argilloso	3,39	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
5,00	2,83	Argilloso	2,92	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
5,20	2,84	Argilloso	2,91	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
5,40	2,95	Argilloso	3,02	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
5,60	3,45	Argilloso	3,51	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
5,80	3,16	Argilloso	3,22	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
6,00	3,14	Argilloso	3,20	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
6,20	3,19	Argilloso	3,24	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
6,40	3,13	Argilloso	3,18	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
6,60	3,17	Argilloso	3,21	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
6,80	3,02	Argilloso	3,06	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
7,00	2,88	Argilloso	2,92	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
7,20	3,17	Argilloso	3,20	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
7,40	3,18	Argilloso	3,21	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
7,60	3,12	Argilloso	3,15	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
7,80	2,99	Argilloso	3,01	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
8,00	3,00	Argilloso	3,01	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
8,20	2,98	Argilloso	3,00	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
8,40	2,73	Argilloso	2,74	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
8,60	3,02	Argilloso	3,03	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
8,80	2,83	Argilloso	2,84	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
9,00	3,00	Argilloso	3,00	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
9,20	3,07	Argilloso	3,07	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
9,40	3,20	Argilloso	3,20	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
9,60	3,42	Argilloso	3,41	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
9,80	2,67	Argilloso	2,66	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
10,00	2,47	Granulare	2,46	NPGranulare	2,46	--	2,46	0,65
10,20	3,00	Argilloso	2,98	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.

10,40	3,13	Argilloso	3,11	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
10,60	3,36	Argilloso	3,34	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
10,80	3,26	Argilloso	3,24	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
11,00	3,19	Argilloso	3,16	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
11,20	3,16	Argilloso	3,13	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
11,40	3,06	Argilloso	3,03	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
11,60	3,22	Argilloso	3,19	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
11,80	3,20	Argilloso	3,17	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
12,00	3,10	Argilloso	3,06	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
12,20	3,12	Argilloso	3,08	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
12,40	3,04	Argilloso	3,00	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
12,60	2,77	Argilloso	2,73	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
12,80	3,31	Argilloso	3,26	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
13,00	3,00	Argilloso	2,95	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
13,20	3,10	Argilloso	3,05	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
13,40	3,03	Argilloso	2,97	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
13,60	3,29	Argilloso	3,23	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
13,80	3,48	Argilloso	3,42	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
14,00	3,42	Argilloso	3,36	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
14,20	3,35	Argilloso	3,29	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
14,40	3,26	Argilloso	3,19	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
14,60	3,44	Argilloso	3,37	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
14,80	3,52	Argilloso	3,45	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
15,00	3,43	Argilloso	3,36	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
15,20	3,70	Argilloso	3,62	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
15,40	3,52	Argilloso	3,44	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
15,60	3,36	Argilloso	3,28	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
15,80	3,47	Argilloso	3,39	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
16,00	3,36	Argilloso	3,28	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
16,20	3,48	Argilloso	3,39	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
16,40	3,28	Argilloso	3,19	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
16,60	3,61	Argilloso	3,51	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
16,80	3,34	Argilloso	3,25	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
17,00	3,44	Argilloso	3,34	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
17,20	3,43	Argilloso	3,33	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
17,40	3,22	Argilloso	3,12	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
17,60	2,86	Argilloso	2,76	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
17,80	2,80	Argilloso	2,69	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
18,00	3,24	Argilloso	3,14	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
18,20	3,25	Argilloso	3,14	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
18,40	3,34	Argilloso	3,24	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.
18,60	3,24	Argilloso	3,14	N.L.	N.L.	--	N.L.	N.L.



Figura n.27 Stralcio della Mappa della Pericolosità Idrogeologica in scala 1:25.000 - Foglio 201 Nord Ovest "Correggio" (Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del 03/03/2016 - Autorità di Bacino del fiume Po).

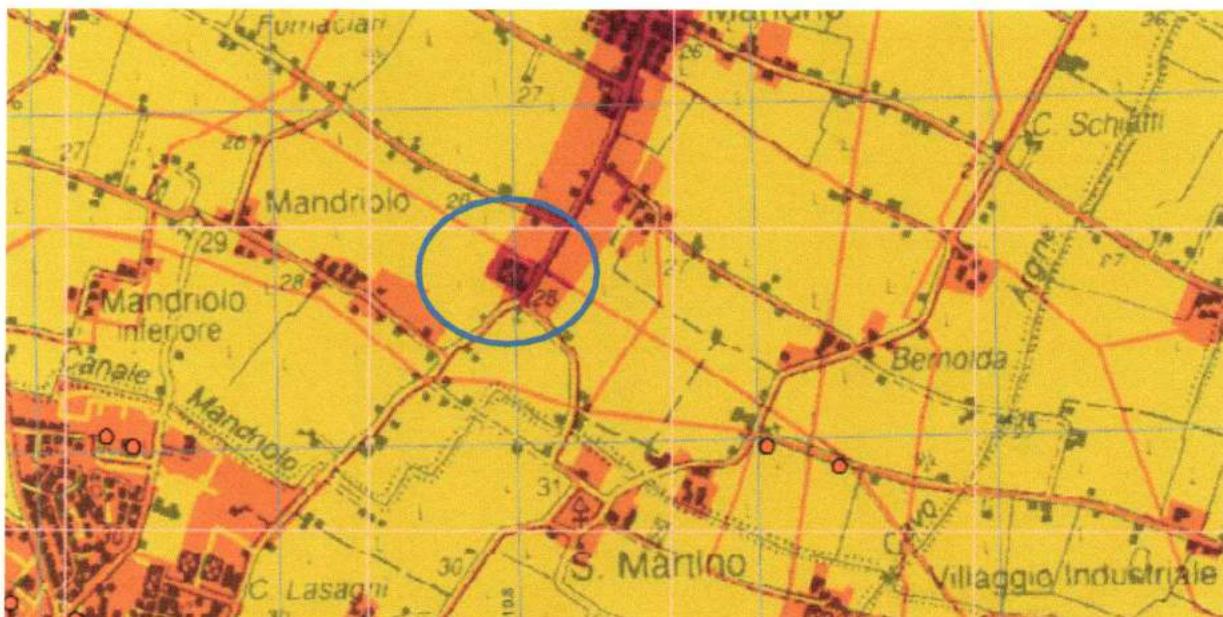


Figura n.28 Stralcio della Mappa del Rischio Potenziale in scala 1:25.000 - Foglio 201 Nord Ovest "Correggio" (Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del 03/03/2016 - Autorità di Bacino del fiume Po).

SUBSIDENZA

Nell'area padana le misure geodetiche dimostrano che l'abbassamento del suolo varia in relazione alla configurazione strutturale del sottosuolo, mostrandosi superiore nelle zone di bacino dove già nel corso del Pliocene una maggiore subsidenza aveva accompagnato l'accumulo di grandi spessori di sedimenti. Infatti esso supera i 2,5 mm/anno nel depocentro dell'avanfossa pliocenica (area di Reggio Emilia) mentre non va oltre i 2,5 mm/anno sulla contigua Dorsale Ferrarese (a Nord del territorio comunale carpigiano).

I fenomeni relativi alla subsidenza, nell'ambito del territorio comunale, sono essenzialmente ascrivibili a quelli naturali e a quelli antropici (estrazione di fluidi dal sottosuolo) tipici delle aree di pianura alluvionale. Infatti emarginamenti 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) in **corrispondenza del territorio comunale di Correggio sono maggiori di 2,5 mm/anno** (figura n.23 - Agenzia Regionale per l'Ambiente dell'Emilia Romagna - 2012). Tale fenomeno è direttamente collegato alla presenza di un cono di depressione (diametro dell'ordine del chilometro) permanentemente delineato nelle falde acquifere determinato da un prelievo continuativo da parte dei pozzi che estraggono acqua dal sottosuolo tuttavia negli ultimi vent'anni il prelievo dei pozzi dalle falde acquifere è notevolmente diminuito.

CHIMISMO ACQUE DI SATURAZIONE DEL SOTTOSUOLO

I composti chimici che naturalmente troviamo nelle acque del primo sottosuolo sono principalmente i carbonati di calcio e di magnesio tanto che le acque sono principalmente classificate come bicarbonato - calciche; a profondità superiori ai 300,00 m le falde acquifere profonde hanno spessore e continuità maggiore ma cambia sensibilmente il chimismo delle acque (da bicarbonato - calciche - magnesiache diventano bicarbonato - sodiche) infatti, a maggiore profondità, i lunghi tempi di permanenza nel sottosuolo rendono le acque ricche in sodio (Na^+) e cloro (Cl^-). Nelle aree molto antropizzate si rileva la presenza nelle acque di elevate quantità di nitrati (NO_3^-) che derivano prevalentemente dai reflui delle attività zootecniche, dai concimi chimici usati in agricoltura e dalle perdite delle reti fognarie.

Per l'area del territorio comunale di Correggio, da studi precedenti eseguiti in sede di P.S.C. (G.P. Mazzetti - 2009), 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): $\rho = 700 \div 1300 \mu\text{S}/\text{cm}$;
- 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): $D = 45^\circ\text{F} \div 57^\circ\text{F}$;
- Temperatura (espressa in gradi centigradi): $T = 8^\circ\text{C} \div 12^\circ\text{C}$;
- PH (indicativo della concentrazione idrogenionica nelle acque sotterranee – PH > 7 basico – PH < 7 acido – PH = 7 neutro): $\text{pH} = 7,2 \div 7,4$;

L'interfaccia acque dolci/acque salmastre (dati AGIP, SPI, IDROSER e RER) è posizionata ad una profondità di -450,00 m \div -500,00 m dalla quota del piano di campagna e risale a -410,00 m dalla quota del p.c. procedendo in direzione Nord, in territorio comunale di Rio Saliceto.

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 [SO_4^{2-}], nitrati [NO_3^-] e cloruri [Cl^-]) può interferire con la stabilità dei legami della miscela cementizia della struttura di fondazione portando a episodi di corrosione del calcestruzzo (tabella n.15).

Grado di attacco rispetto al calcestruzzo della fondazione.	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.15 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).

CONCLUSIONI

Il primo sottosuolo del sito progettuale di Mandrio n.13, in territorio comunale di Correggio (RE), è un terreno alluvionale formato da argille limose e/o da argille sabbiose, poco consistenti fino circa a -8,00 m dalla quota del piano dell'area cortiliva mentre, le stesse litologie, tra i -8,00 m ed i -20,00 m dalla q.p.a.c., risultano essere mediamente consistenti; si rinvengono anche alcuni livelli, dello spessore di pochi decimetri, a maggiore componente sabbiosa. Infatti, tra i circa -8,00 m ed i circa -20,00 m dalla q.p.a.c., si ha un tendenziale aumento del grado di consolidazione con l'incremento della profondità e quindi un miglioramento della resistenza del terreno derivante anche dall'aumento della pressione geostatica efficace. Il primo sottosuolo è riportato nella carta geologica progetto C.A.R.G. in scala 1:10.000 (figura n.2) come *Unità di Modena* (AES8a - Pleistocene superiore/Olocene).

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

Caratterizzazione geotecnica del primo sottosuolo (parametri nominali):

- -0,20 m + -8,00 m dalla quota del piano dell'area cortiliva (q.p.a.c.) = argille limose e/o argille sabbiose, poco consistenti, peso di volume saturo $\gamma_{sat} = 18,80 \text{ kN/m}^3$, coesione non drenata $C_u = 42 \text{ kPa}$, angolo di resistenza al taglio drenato $\phi = 15^\circ$, coesione drenata $C' = 15 \text{ kPa}$, modulo di Young $E' = 2.310 \text{ kPa}$, modulo di deformazione non drenato $E_u = 2.050 \text{ kPa}$, modulo di taglio $G = 7.295 \text{ kPa}$, coefficiente di poisson $\nu = 0,22$;
- -8,00 m + -20,00 m dalla q.p.a.c. = argille limose e/o argille sabbiose, mediamente consistenti, peso di volume saturo $\gamma_{sat} = 19,20 \text{ kN/m}^3$, modulo di deformazione non drenato $E_u = 4.462 \text{ kPa}$, coesione non drenata $C_u = 61 \text{ kPa}$, modulo di taglio $G = 12.025 \text{ kPa}$, angolo di resistenza al taglio drenato $\phi = 21^\circ$, coesione drenata $C' = 20 \text{ kPa}$, modulo di Young $E' = 3.450 \text{ kPa}$, coefficiente di poisson $\nu = 0,23$;

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

- -0,20 m + -8,00 m dalla q.p.a.c. = argille limose e/o argille sabbiose, poco consistenti, peso di volume saturo $\gamma_{satk} = 18,80 \text{ kN/m}^3$, coesione non drenata $C_{uk} = 38 \text{ kPa}$, modulo di deformazione non drenato $E_{uk} = 1.840 \text{ kPa}$, modulo di taglio $G_k = 6.445 \text{ kPa}$, coefficiente di poisson $\nu_k = 0,22$;
- -8,00 m + -20,00 m dalla q.p.a.c. = argille limose e/o argille sabbiose, mediamente consistenti, peso di volume saturo $\gamma_{satk} = 19,20 \text{ kN/m}^3$, modulo di deformazione non drenato $E_{uk} = 3.815 \text{ kPa}$, coesione non drenata $C_{uk} = 55 \text{ kPa}$, modulo di taglio $G_k = 10.465 \text{ kPa}$, coefficiente di poisson $\nu_k = 0,23$;

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

- -0,20 m + -8,00 m dalla q.p.a.c. = argille limose e/o argille sabbiose, poco consistenti, peso di volume saturo $\gamma_{satk} = 18,80 \text{ kN/m}^3$, angolo di resistenza al taglio drenato $\phi'_k = 14^\circ$, coesione drenata $C'_k = 10 \text{ kPa}$, modulo di Young $E'_k = 1.990 \text{ kPa}$;
- -8,00 m + -20,00 m dalla q.p.a.c. = argille limose e/o argille sabbiose, mediamente consistenti, peso di volume saturo $\gamma_{satk} = 19,20 \text{ kN/m}^3$, angolo di resistenza al taglio drenato $\phi'_k = 18^\circ$, coesione drenata $C'_k = 15 \text{ kPa}$, modulo di Young $E'_k = 3.095 \text{ kPa}$;

Nei fori di prova è stato misurato il livello statico della falda acquifera superficiale che è risultato essere di -0,90 m dalla quota del piano dell'area cortiliva; tale livello idrico è suscettibile di variazione in relazione all'andamento delle precipitazioni meteoriche stagionali; al coefficiente d'infiltrazione delle acque dilavanti nel primo sottosuolo e alle dispersioni di subalveo del reticolto idrografico minore. L'escursione media annua della falda acquifera superficiale è di circa $\pm 1,00 \text{ m}$.

Nella sottostante tabella n.16 è riportato, indicativamente, il carico ammissibile del terreno (resistenze del terreno ai sensi del D.M. 17/01/2018) rilevato alla punta del penetrometro statico.

	CPT1	CPT2	CPT3
-0,20 m ÷ -8,00 m dalla quota del piano dell'area cortiliva (q.p.a.c.)	$q_a = q_{ck}/\alpha = 6 \text{ kg/cm}^2 : 12 \approx 0,500 \text{ kg/cm}^2$	$q_a = q_{ck}/\alpha = 6 \text{ kg/cm}^2 : 12 \approx 0,500 \text{ kg/cm}^2$	$q_a = q_{ck}/\alpha = 68 \text{ kg/cm}^2 : 12 \approx 0,500 \text{ kg/cm}^2$
-8,00 m ÷ -20,00 m dalla quota del piano dell'area cortiliva (q.p.a.c.)	$q_a = q_{ck}/\alpha = 13 \text{ kg/cm}^2 : 16 \approx 0,800 \text{ kg/cm}^2$	$q_a = q_{ck}/\alpha = 13 \text{ kg/cm}^2 : 16 \approx 0,800 \text{ kg/cm}^2$	$q_a = q_{ck}/\alpha = 13 \text{ kg/cm}^2 : 16 \approx 0,800 \text{ kg/cm}^2$

Tabella n.16 Valori delle resistenze del primo sottosuolo in corrispondenza delle tre verticali penetrometriche statiche.

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 delle opere di fondazione, si ricorda che quest'ultime devono sempre essere congruenti alle seguenti indicazioni: 1) sottostare alla massima profondità del gelo del terreno; 2) essere più profonde del cosiddetto *strato attivo* cioè di quello strato superficiale del suolo soggetto a ritiro/rigonfiamento in conseguenza dell'andamento delle precipitazioni stagionali (strato sovraconsolidato per essiccazione); 3) sottostare ad eventuali strati di terreno superficiale di origine antropica.

Pertanto le profondità di fondazione del fabbricato progettuale dovranno essere poste ad almeno -1,80 m (meno centottanta centimetri) dalla quota del piano dell'area cortiliva (q.p.a.c.); tra le quote di -1,80 m (meno centottanta centimetri) dalla q.p.a.c. ed i -2,3 m (meno duecentotrenta centimetri) dalla q.p.a.c. si dovrà posizionare uno strato di materiale inerte (ghiaia o frantumato di roccia o aggregato di riciclo ai sensi del D.M. n.203/2003 e della Circolare del Ministero Ambiente n.5205/2005) alquanto addensato e compattato, potente quindi 0,50 m (cinquanta centimetri); quest'ultimo strato sarà parte integrante della struttura di fondazione. Tale accorgimento è necessario al fine di ridurre il rischio di eventuali cedimenti assoluti e/o differenziali. Quindi in totale la profondità di scavo sarà di -2,30 m (meno duecentotrenta centimetri) dalla quota del piano dell'area cortiliva.

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

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

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

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

Il valore di accelerazione orizzontale massima di ancoraggio dello spettro di risposta elastico è pari ad $a_{max} \approx 0,226g$ (per tempi di riferimento per l'azione sismica di 475 anni - Classe II - Vita nominale = 50) mentre lo stesso, in base alla microzonazione sismica di secondo livello del territorio comunale di Correggio (Centrogeo – ottobre 2013) è pari ad a_{max}

≈ 0,294g. La frequenza fondamentale propria di vibrazione del sottosuolo è risultata essere minore di 1,0 Hertz (le frequenze importanti in campo ingegneristico sono in genere quelle comprese tra a 1,00 Hertz e 20,00 Hertz). È fondamentale che la frequenza stimata del fabbricato progettuale ($f \approx 2,3$ Hertz) non sia confrontabile con quella fondamentale propria del sottosuolo in modo da evitare il cosiddetto fenomeno della "doppia risonanza". La doppia risonanza è la causa delle più importanti distruzioni dei manufatti che avvengono durante un terremoto. Dalle analisi eseguite risulta che il rischio liquefazione del terreno, sotto un sisma di magnitudo $M_w = 6,14$ (riferimento per la Zona Sismogenetica 912 - Nuova Zona Sismogenetica 3), risulta essere basso.

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), gli interventi edilizi di progetto risultano essere compatibili con le risultanze determinate da questo studio.

Bibbiano (RE), ottobre 2018

Il Tecnico

Dott. Geologo Antonio Infante

