

Agenzia Regionale per la Sicurezza Territoriale e la Protezione Civile
Servizio Area Reno e Po di Volano
Sede di Ferrara

**ACCORDO DI PROGRAMMA PER INTERVENTI URGENTI E PRIORITARI
PER LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO**

(art. 2, comma 240, della Legge 23 dicembre 2009, n. 191)

Provincia di Ferrara

Comune di Ferrara

Cod. 2ER1091 - Interventi urgenti di adeguamento e sistemazione del complesso di Valpagliaro per la regolazione dei deflussi del sistema idraulico del Po di Volano in comune di Ferrara (FE).
CUP: E64H17000100001

PROGETTO DEFINITIVO

Importo €. 1.000.000,00

Codice Rendis: 08IR244/G1

- INDAGINI GEOTECNICHE

**DOC. N.
2.2**

- **Relazione Geotecnica**
- **CPTU**



Ferrara,

Il Responsabile del Procedimento:
Dott. Claudio Miccoli

Progettisti:

Ing. Alessandro Buzzoni

Collaboratori:

Ing. Riccardo Battaglia

Geom. Giovanni Babbi

Geom. Giorgio Bettini



qualità

sistemi di gestione qualità – audit di prima e seconda parte – formazione – implementazione ISO 9001:2015



ambiente e geologia

sistemi di gestione ambientale – implementazione ISO 14001:2015 – rifiuti – VIA, AUA, AIA, emissioni in atmosfera – caratterizzazioni ambientali – analisi di rischio – due diligence – indagini geotecniche – geologia applicata – CPT, CPTU, permeabilità terreni BAT, georadar, MASW, tomografia elettrica 2D, 3D – monitoraggi ambientali



energia ed impianti

progettazione impianti elettrici – termici civili, industriali, pubblica illuminazione – verifiche – impianti ad energie alternative: fotovoltaico, geotermico, solare termico



costruzioni e strutture

progettazione civile e industriale in c.a., acciaio, legno – collaudi – direzione lavori – assunzione incarico Responsabile Lavori – verifiche strutturali



sicurezza sul lavoro e cantieri

sistemi di gestione salute e sicurezza UNI-EN ISO 45001:2018 – RSPP – due diligence – audit di prima e seconda parte – documenti di valutazione dei rischi – valutazioni rischi specifici – sicurezza in cantiere: incarichi di CSP, CSE, RL, documenti: PSC, PSS, POS, PIMUS, progettazione ponteggi – sicurezza degli alimenti – prevenzione incendi, CPI – formazione e addestramento – formazione e-Learning



marcatura CE

marcatura CE macchine, attrezzature, impianti, accessori di sollevamento e materiali – fascicoli tecnici, libretti di uso e manutenzione, valutazione dei rischi – assistenza macchine extra UE



acustica

valutazione impatto acustico – requisiti acustici passivi – clima acustico



miglioramento energetico

diagnosi, interventi migliorativi, progettazione involucro e impianti, APE, detrazioni fiscali – verifiche termoisolmetriche – termografia

Tecnologica srl
Via Combattenti Alleati d'Europa, 9/S
45100 ROVIGO
t./f. 0425.475453
www.tecnologicagroup.com
info@tecnologicagroup.com

RIFERIMENTO:

Indagini geotecniche di cui al quadro economico dei lavori "Cod. 2ER1091 - Interventi urgenti di adeguamento e sistemazione del complesso di Valpagliaro per la regolazione dei deflussi del sistema idraulico del Po di Volano in Comune di Ferrara – CIG Z152046170.

OGGETTO: prove penetrometriche con piezocono sismico

RELAZIONE GEOLOGICA

conforme al DPR 207/2010 (art. 26 comma 1 lettera a) ed agli atti di indirizzo della Regione Emilia Romagna per gli studi di Microzonazione sismica progr. N. 112 del 2 maggio 2007

Attuazione del D.M. 11 marzo 1988

L.R. 09/05/1988 n. 27

Legge 2 febbraio 1974, n. 64

L.R. 09/05/1988 n. 27

O.C.M n. 3274 del 20/03/2003

D.M. 14/01/2008 Norme Tecniche sulle Costruzioni

Comune di Ferrara

Provincia di Ferrara

Località Valpagliaro

Codice sito:	Nome sito:
Data: 19 dicembre 2017	Rif. Ns.: rel. geo 1331/17

COMMITTENTE:



SERVIZIO AREA RENO E PO DI VOLANO

SEDE DI FERRARA

AGENZIA REGIONALE PER LA SICUREZZA TERRITORIALE E LA PROTEZIONE CIVILE

TECNICO:

dott. geol. PAOLO CHIARION

Viale Combattenti Alleati d'Europa, 9/S
45100 ROVIGO



INDICE

1. PREMESSE

- 1.1.** Generalità
- 1.2.** Dati identificativi dell'area
- 1.3.** Normativa di riferimento

2. ASSETTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO LOCALE

3. MODELLO GEOTECNICO

- 3.1.** Indagini geognostiche
- 3.2.** Caratterizzazione stratigrafica dei terreni – parametri geotecnici

4. SISMICITA' E DATI PER LA PROGETTAZIONE SISMICA

- 4.1.** Sismicità storica
- 4.2.** Dati per la progettazione sismica
- 4.3.** La risposta sismica locale

5. STIMA DELLA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

6. CONCLUSIONI E PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO

7. ALLEGATI

- 7.1.** Planimetria generale con ubicazione prove penetrometriche
- 7.2.** grafici prove CPTU e SCPTU

1. PREMESSE

1.1. Generalità

Con determinazione Dirigenziale n. 19256 del 29/11/2017 L'agenzia Regionale per la sicurezza territoriale e la protezione civile - Servizio Area Reno e Po di Volano Sede di Ferrara - nell'ambito degli interventi urgenti di adeguamento e sistemazione del complesso di Valpagliaro per la regolazione dei deflussi del sistema idraulico del Po di Volano in Comune di Ferrara, nella persona del dott. Claudio Miccoli, Direttore dell'esecuzione, ha affidato allo scrivente dott. geol. Paolo Chiarion l'esecuzione di n. 4 (quattro) prove penetrometriche statiche con piezocono, di cui n. 2 (due) con sismocono, da effettuarsi nel Complesso idraulico di Valpagliaro, in particolare in corrispondenza delle spalle del ponte a valle della Conca di navigazione dismessa e due ai lati della stessa Conca.

L'indagine sul terreno è stata condotta mediante l'uso di un penetrometro statico/dinamico "Pagani" modello TG63-200 montato su camion Unimog ed un penetrometro statico "Pagani" modello TG63-100.

In particolare, in relazione all'attuale fase progettuale, si esamina la situazione geotecnica locale, si analizzano i dati acquisiti in sito e si illustrano:

- Modello geologico, idrogeologico e geotecnico locale del terreno interessato dal progetto;
- Resistenza del terreno investigato in relazione alle prevedibili geometrie della struttura;
- Verifiche di stabilità e Valutazioni del margine di sicurezza nei riguardi delle situazioni limite **SLU**, che si possono manifestare sia nelle fasi transitorie di costruzione sia nella fase definitiva per l'insieme manufatto-terreno;
- Valutazioni dei prevedibili spostamenti del complesso opera-terreno, dando un giudizio sull'ammissibilità di tali spostamenti in relazione alle condizioni di sicurezza, nonché alla funzionalità dell'edificio (**SLE**).

1.2. Dati identificativi dell'area

L'area di intervento è rappresentata dalla conca di Valpagliaro ubicata tra Via Massafiscaglia e Via Argine sinistro Volano in Comune di Ferrara. La quota media altimetrica è di 5.0m slmm.



1.3. normativa di riferimento

Il lavoro è stato svolto secondo quanto previsto dalle vigenti normative in materia:

- **D.M. 11.03.1988** - "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione."
- **Circ. Dir. Centr. Tecn. n° 97/81** - "Istruzioni relative alle norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione."
- **Circ. Min. LL.PP. 24.09.1988** - n°30483 Istruzioni applicative al D.M. 11/03/1988;
- **A.G.I.** Raccomandazione sulla esecuzione e programmazione delle indagini geognostiche 1977.
- **O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/03** l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri che detta i primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzione in zone sismiche.
- **D.M. 14.09.2005** – Norme Tecniche sulle Costruzioni.
- **Consiglio Superiore di LL.PP.:** Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale – All. al voto n. 36 del 27.07.2007;
- **Eurocodice 7:** progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali;
- **Eurocodice 8:** indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici;
- **progr. N. 112 del 2 maggio 2007:** atti di indirizzo della Regione Emilia Romagna per gli studi di Microzonazione sismica
- **DPR 207/2010:** Regolamento di esecuzione ed attuazione del decreto legislativo 12 aprile 2006, n. 163, recante «Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE». (10G0226);
- **Decreto del Ministero delle Infrastrutture 14 gennaio 2008** "Approvazione delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni", pubblicato in G.U. n. 29 del 4 febbraio 2008, suppl. ord. N. 30, che entrano in vigore il 6 marzo 2008.
- **Consiglio Superiore di LL.PP.:** Circolare 617 del 02/02/09: Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al D.M. 14.01.2008;
- **Determinazione n. 1105 del 03/02/2014** Regione Emilia Romagna

2. ASSETTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

Il territorio del Comune di Ferrara si trova nella Pianura Padana, una depressione tettonica formatasi fra le Alpi e gli Appennini, quando tali catene montuose si sollevarono ed emersero dal mare in seguito a fenomeni orogenetici, e colmata da depositi di materiali sciolti di origine marina e fluvio-deltizia.

L'area in particolare è situata sulla verticale delle Pieghe Ferraresi, archi dell'orogene appenninico costituiti da due fasci di anticlinali, pieghe-faglie e ricoprimenti, generalmente vergenti verso nord e con assi allungati in direzione WNW-ESE. Le spinte tangenziali che hanno dato origine a queste strutture si sono prodotte prevalentemente a partire dal Miocene. Nel Pliocene e nel Quaternario si sono verificati movimenti verticali che hanno inizialmente portato all'emersione delle culminazioni e ad un'accentuata sedimentazione nelle depressioni. Nel Quaternario, ha prevalso la subsidenza con conseguente seppellimento anche delle creste (Gargini e Bondesan 2003). Le strutture delle Pieghe Ferraresi sono responsabili dei terremoti che si sono verificati in passato nell'area in esame.

Per quanto riguarda i terreni di copertura, nella pianura del comune di Ferrara, in superficie affiorano in modo uniforme sedimenti olocenici di piana alluvionale e deltizia che si spingono in profondità per diversi metri. Seguono, all'aumentare della profondità, depositi più antichi di età plio-quadernaria di origine continentale, marina, lagunare e fluviopalustre e infine la roccia lapidea, di età pre-pliocenica.

Entro i primi 30-35 m di profondità, si trovano in successione sedimenti olocenici (mediamente primi 20-30 metri di profondità), dovuti ad accumulo detritico di tipo alluvionale e deltizio (sedimentazione di bassa pianura), seguiti da depositi sabbiosi di età fine-Pleistocene/primo-Olocene (sabbie würmiane, ambiente di steppa-taiga glaciale di media pianura) diffusi con continuità in tutto il territorio comunale e più superficiali a nord, dove il tetto delle sabbie glaciali si trova tra i 18 e i 25 m di profondità, più approfonditi a sud, dove il tetto si spinge fino a oltre 30 m (Gargini et al. 2003).

La deposizione di tipo fluviale in epoca olocenica, avvenuta in modo non uniforme, ha avuto come conseguenza diretta un'estrema eterogeneità granulometrica dei sedimenti presenti entro i primi 20-30 m di profondità, sia in senso verticale che areale, per cui l'assetto stratigrafico della zona risulta abbastanza complesso. L'area oggetto di studio era infatti interessata dall'apparato deltizio del Po, i cui rami erano liberi di espandere le proprie acque di piena nelle zone circostanti. Nelle sponde naturali dell'alveo e nelle aree immediatamente circostanti venivano depositati i materiali più grossolani (che essendo meno compressibili hanno originato quelle che oggi sono le fasce morfologicamente più elevate del territorio), mentre i sedimenti più fini e compressibili si distribuivano lontano, nelle aree situate tra un alveo e l'altro, dando origine a bacini depressi rispetto ai corsi d'acqua. Gli interventi antropici di regimentazione dei corsi d'acqua hanno accentuato il dislivello tra i fiumi e canali e la campagna circostante.

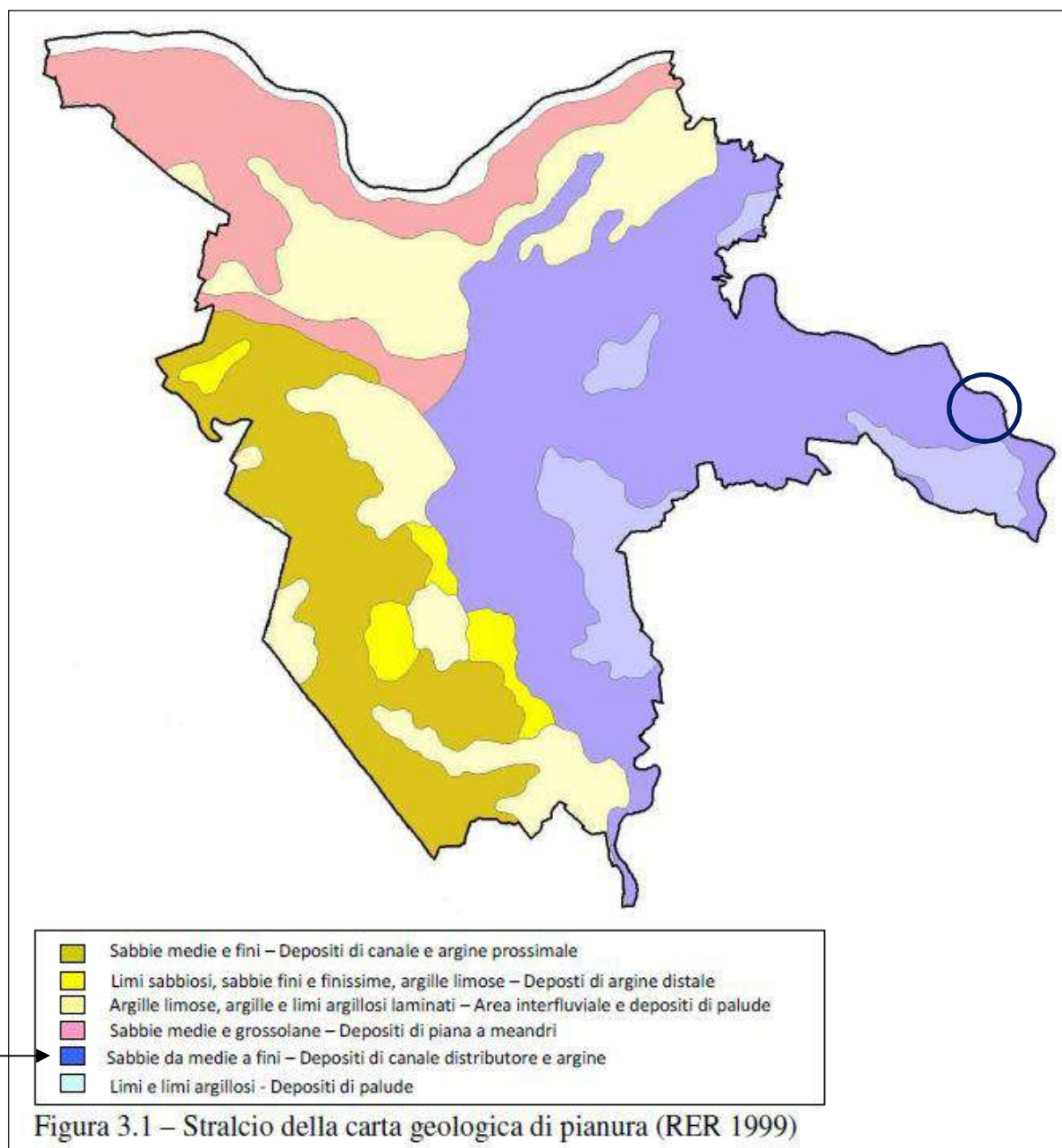
Nel territorio del comune si possono quindi distinguere entro i primi 20-30 m di profondità tre ambienti morfologici - deposizionali principali:

ambiente dei paleoalvei, caratterizzato dalla presenza di corpi sabbiosi inclusi in macrostrati di terreni fini. Tali corpi sabbiosi, talvolta affioranti, spesso sepolti, si sviluppano linearmente seguendo i corsi degli alvei fluviali attivi o estinti.

ambiente dei bacini interfluviali, costituito dalle aree di sedimentazione delle frazioni più fini. Tale ambito è caratterizzato dalla prevalenza di argille inorganiche, argille limose, limi argillosi laminati, argille organiche, con frequenti intercalazioni torbose.

ambiente di transizione dalle zone di paleoalveo a quelle dei bacini interfluviali, caratterizzato da alternanze di materiali fini e lenti sabbiose.

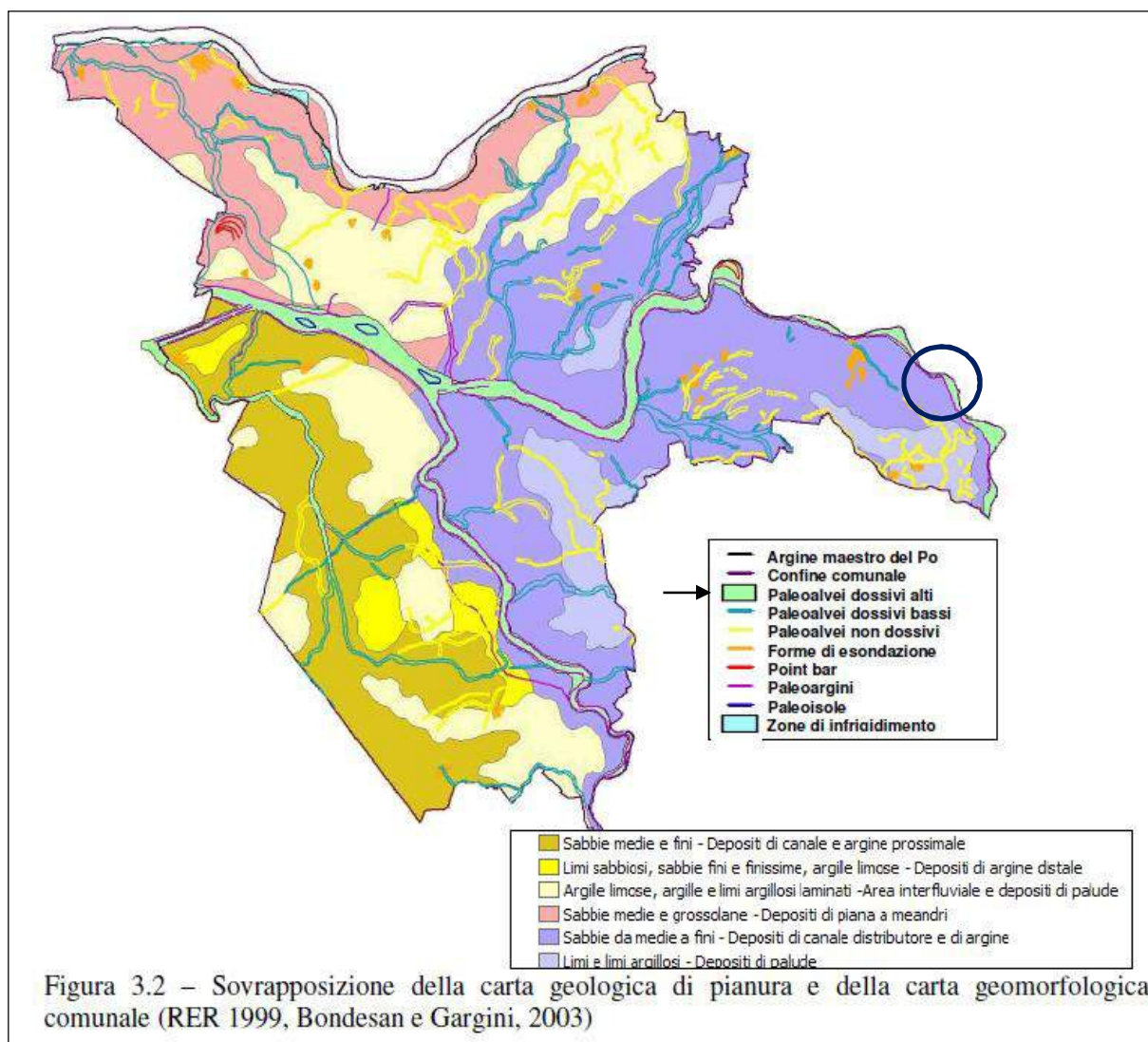
Tali ambienti deposizionali sono ben evidenziati nella Carta Geologica di Pianura (RER 1999). Lo stralcio della carta relativo al territorio comunale è riportato in Figura: si distinguono depositi di palude costituiti da limi e limi argillosi; depositi di canale distributore e argine costituiti da sabbie da medie a fini; depositi di piana a meandri, costituiti da sabbie medie e grossolane; aree interfluviali e depositi di palude costituiti da argille limose, argille e limi argillosi laminati; depositi di argine distale costituiti da limi sabbiosi, sabbie fini e finissime, argille limose e depositi di canale e argine prossimale, costituiti da sabbie medie e fini.

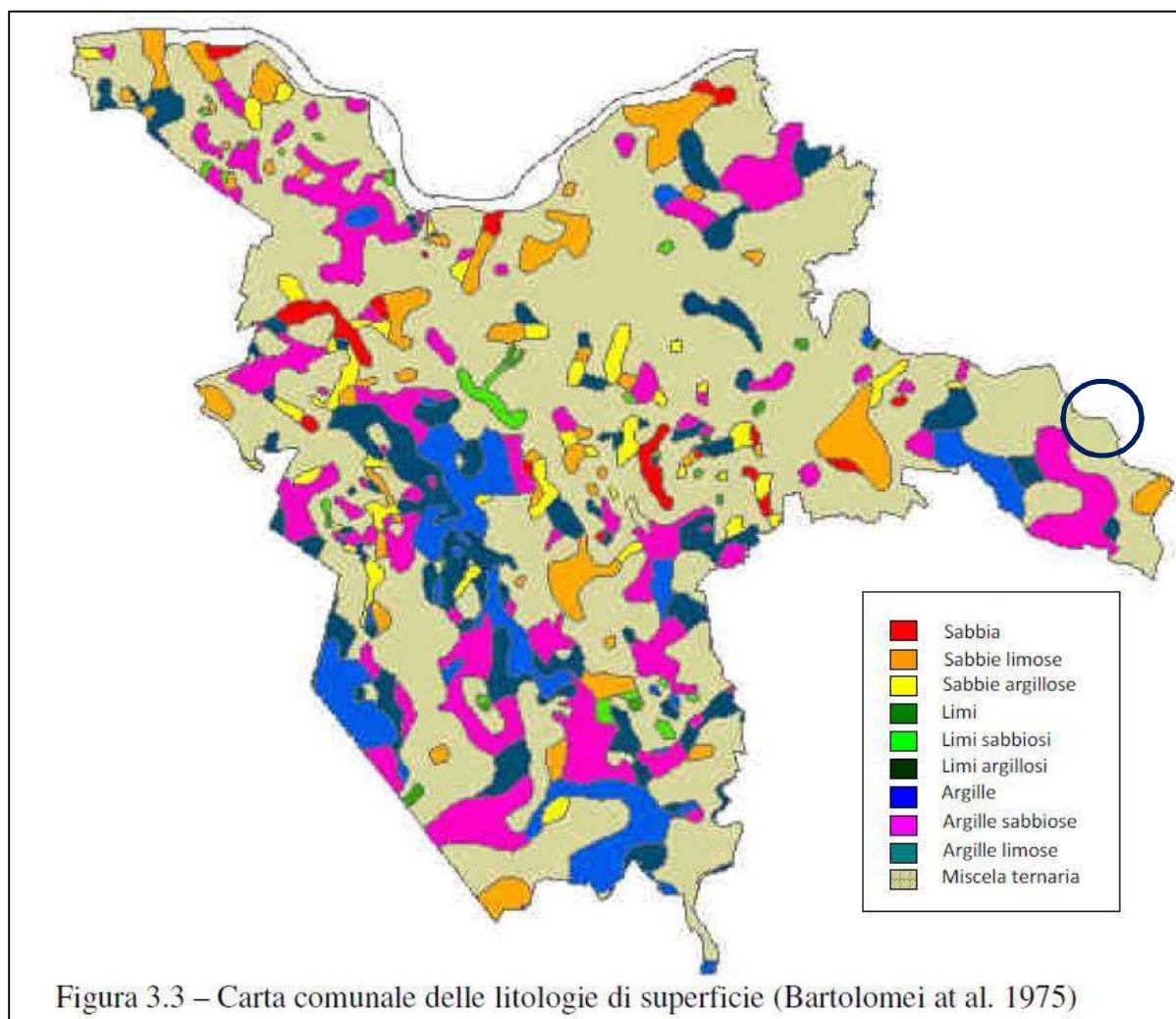


Nella carta geomorfologica sovrapposta alla carta geologica di pianura (Bondesan e Gargini, 2003) è invece rappresentato il complesso reticolo di antichi corsi d'acqua che hanno originato gli ambienti deposizionali descritti. La carta evidenzia la presenza di varie forme morfologiche rilevanti: i paleoalvei principali di tipo dossivo (paleoalveo del Po di Ferrara, paleoalveo del Po di Volano, paleoalveo del Po Morto di Primaro, paleoalveo o "paleodelta" del fiume Reno, paleoalveo del Canal Ladino, situato a Sud di Porotto, forse formato dal Reno o dal Panaro in età antica), i paleoalvei secondari non dossivi, i ventagli e canali di rotta, che si dipartono dai paleoalvei principali, e varie forme esclusivamente antropiche quali argini fluviali, tratti artificiali d'alveo, argini e terrapieni interni al territorio, canali attuali e canali abbandonati.

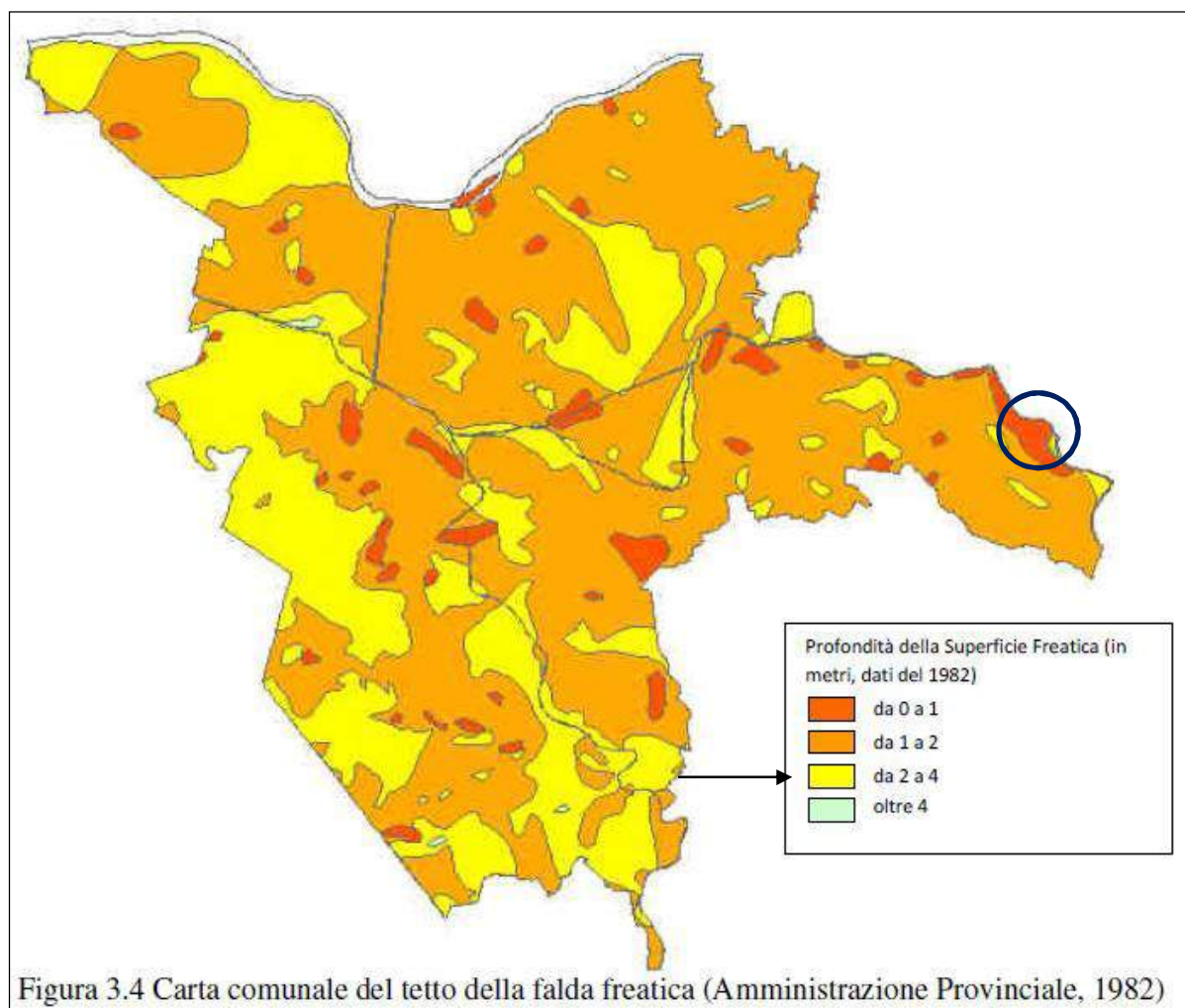
La sovrapposizione tra carta geologica e geomorfologica mostra che la distribuzione areale dei diversi ambienti deposizionali è funzione della storia morfologica del territorio ferrarese. I materiali più grossolani (sabbie) sono concentrati nelle aree di paleoalveo e nelle loro immediate vicinanze, i terreni a grana fine si sono depositati invece nelle zone più distanti.

La distribuzione litologica dei sedimenti più superficiali (primi 80 cm dal piano campagna locale) è anch'essa legata alla dinamica delle divagazioni fluviali del reticolo idrografico che caratterizzava la zona.

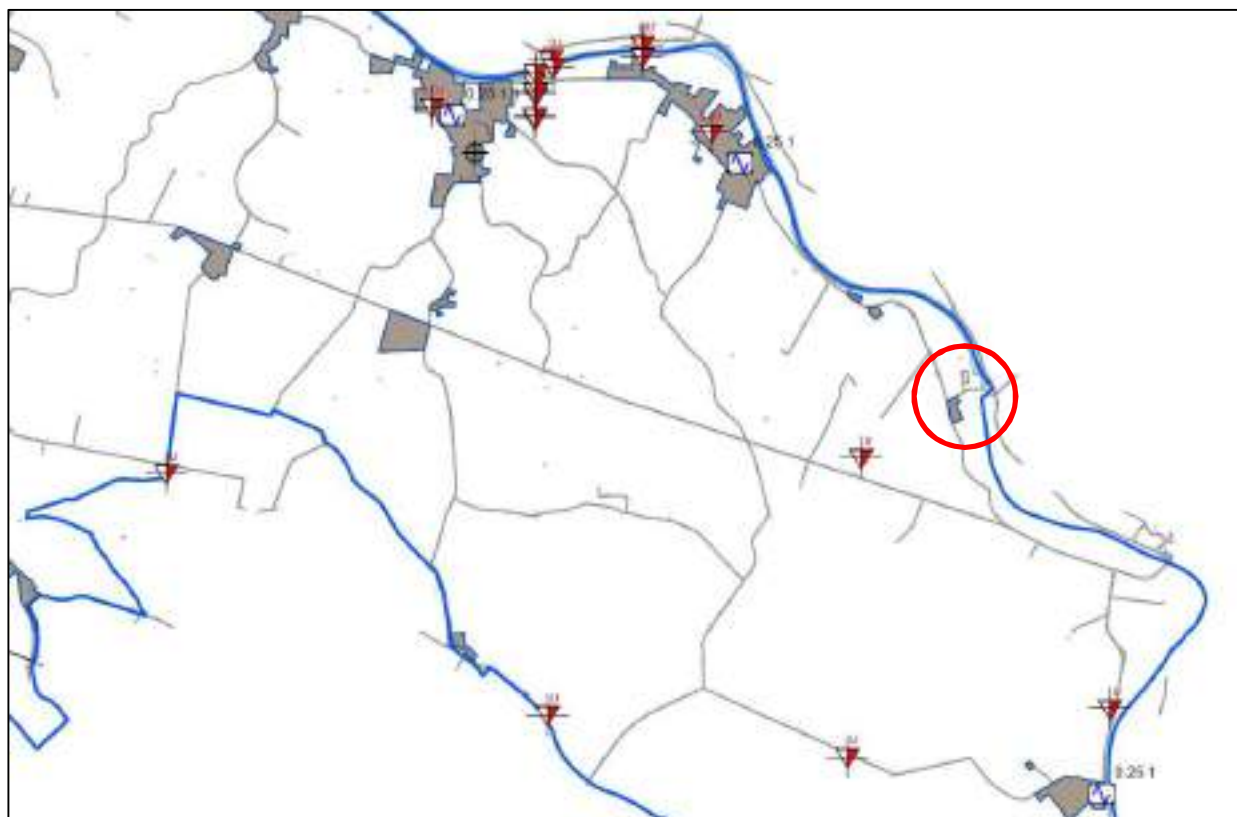




Infine, come evidenziato dalla Carta della profondità del tetto della falda freatica riportata in Figura 3.4 (Amministrazione Provinciale 1982) e come confermato dalla relazione idrogeologica allegata al quadro conoscitivo del PSC del Comune (Gargini e Bondesan 2003), la falda freatica ha superficie libera sempre molto prossima al piano campagna. Generalmente presenta degli “alti” in corrispondenza dei paleoalvei, e dei “bassi” relativi in corrispondenza dei catini interfluviali. Le escursioni della superficie libera tra periodo invernale e periodo estivo sono mediamente inferiori a 1 m. Come evidenziato nella relazione idrogeologica citata, la falda freatica, nella zona studiata, non è interpretabile come un corpo d’acqua continuo ma piuttosto come un insieme di corpi idrici, separati e fluenti nei litosomi sabbiosi e sabbio-limosi, separati da orizzonti argillosi o limoso-argillosi ove è più corretto parlare di zona di saturazione e non di falda vera e propria.



Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica



Legenda

Indagini



Prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)



Prova penetrometrica statica con punta elettrica



Prova penetrometrica statica con piezocono



Prova penetrometrica con cono sismico



Array sismico, ESAC



Pozzo per idrocarburi



Sondaggio a carotaggio continuo

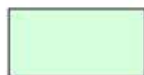
Punti di misura di rumore ambientale



0.25 0.85

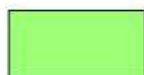
Punto di misura di rumore ambientale
con indicazione dei valori di f_0
 $f_{0,1}$ (bassissima) $f_{0,2}$ (bassa)

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



Zona 1

(Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille sabbiose, argille magre)



Zona 2

(Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità)

Zone suscettibili di instabilità



Liquefazioni



Confine Comunale



Perimetri territorio urbanizzato e urbanizzabile

3. MODELLO GEOTECNICO

3.1. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Indagini geognostiche – PROVE CPTU

L'esecuzione di una prova penetrometrica statica con piezocono CPTU rappresenta una significativa evoluzione rispetto ad una prova con punta meccanica (CPT), poiché consente di ottenere informazioni in maggior numero, più dettagliate ed attendibili.

Si sono monitorati, per intervalli di 2 cm d'avanzamento (anziché ogni 20 cm come nella prova CPT), i parametri seguenti:

q_c (resistenza di punta), f_s (attrito laterale), U (pressione idrostatica nei pori), inclinazione della batteria di aste su due assi a 90° , velocità d'avanzamento.

Le indagini sono state eseguite mediante l'impiego di un Penetrometro Statico/dinamico PAGANI mod. TG63 spinta 200KN.



Il sistema impiegato per il rilievo e la memorizzazione dei dati di prova è stato il PIEZOCONO G1-CPL2IN della ditta TECNOPENTA srl di Teolo (PD) che si compone di alcuni dispositivi fondamentali e di accessori:

- Centralina di interfaccia con computer portatile con registrazione, in una memoria interna, ogni 2 cm di avanzamento;
- Piezocono per la misura dei parametri R_p , R_l , pressione neutra, inclinazione;
- Sistema di sincronizzazione tra l'avanzamento della punta e il sistema d'acquisizione dati;
- Interruttore di comando;
- Software di gestione per la visualizzazione in tempo reale dell'andamento dei parametri rilevati, la loro registrazione, l'esecuzione delle prove di dissipazione delle pressioni neutrali.

Con il piezocono (CPTU), punta elettrica munita di un filtro poroso situato alla base del cono, è stato possibile misurare, durante la penetrazione, il valore della pressione interstiziale (U). Il rilievo dei valori di sovrappressione ha permesso di ottenere una classificazione del terreno molto più accurata rispetto ad altre prove.

Le prove sono state elaborate ed in allegato sono stati riportati grafici e tabelle:

- Q_c = res. di punta;
- F_s = res. di attrito laterale;
- Rapporto $Fr=100 \cdot F_s / Q_c$
- U = sovrappressione neutra;
- D = deviazione

PROVE SCPTU

Il sistema **G1-CPL2IN-SISMI** permette di eseguire contemporaneamente alla prova penetrometrica statica (CPTU), il calcolo della velocità delle onde S nel terreno (shear wave). Lo strumento aggiunge ad un normale piezocono la possibilità di registrare, alla profondità desiderata, per mezzo un sistema di acquisizione adeguato, le onde di taglio generate da un sistema energizzante presente in superficie e di calcolare di conseguenza la velocità delle onde S nel terreno.



ATTIVITÀ IN SITO

Nell'are di intervento sono state eseguite n. 3 prove penetrometriche; la prova CPTU02 in programma in sinistra idraulica sulla spalla del ponte a valle della Conca di navigazione, per la presenza di ciottoli e blocchi, non è stata eseguita per l'impossibilità di ancorarsi e di "passare" lo strato di riporto stimabile in alcuni metri; al fine di caratterizzare ugualmente i terreni lo scrivente allega alla seguente perizia i risultati di una prova CPTU effettuata a pochi metri di distanza per l'impresa CGX srl durante i lavori di realizzazione della nuova conca. La quota della CPTU è inferiore di circa 2.0m rispetto a quella in programma pertanto non viene caratterizzato da un punto di vista geotecnico proprio il riporto in materiale lapideo.



CPTU02 – CGX srl

3.2 CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA DEI TERRENI

I dati relativi alla stratigrafia ed alla capacità portante del terreno sono stati ricavati dall'interpretazione delle prove penetrometriche statiche con piezocono spinte fino alla profondità massima di 30.0 metri e da un attento rilievo geologico-geomorfologico della zona circostante il sito in esame.

Il terreno si presenta omogeneo in senso verticale e laterale con comportamento geomeccanico sia coesivo che incoerente.

STRATIGRAFIA TERRENO – parametri geotecnici CPTU02

Corr: Parametri con fattore di correzione (TERZAGHI)

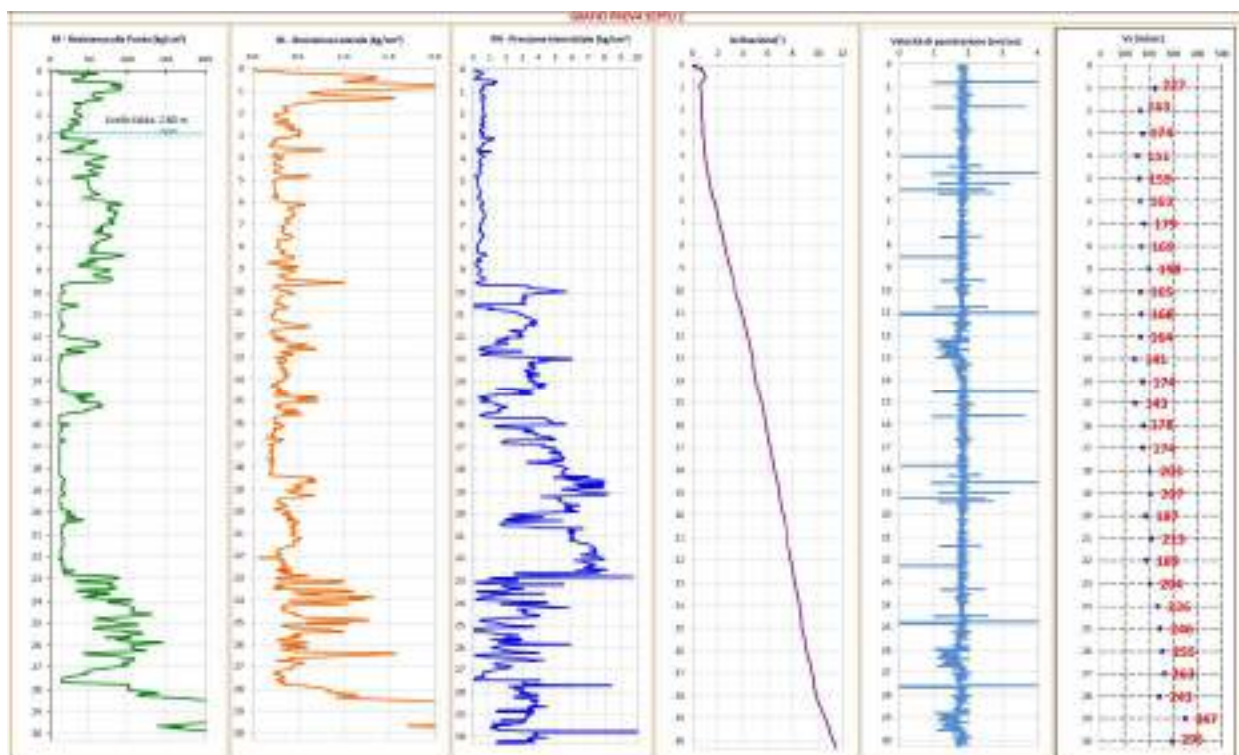
DH: Spessore strato; Gam: Peso unità di volume; Gams: Peso unità di volume saturo; Fi: Angolo di attrito; Ficorr: Angolo di attrito corretto secondo Terzaghi; c: Coesione; c Corr: Coesione corretta secondo Terzaghi; Ey: Modulo Elastico; Ed: Modulo Edometrico; Ni: Poisson; Cv: Coeff. consolidaz. primaria; Cs: Coeff. consolidazione secondaria; cu: Coesione non drenata

DH [m]	Gam [kN/m³]	Gams [kN/m³]	Fi [°]	Fi Corr. [°]	c [kN/m²]	c Corr. [kN/m²]	cu [kN/m²]	Ey [kN/m²]	Ed [kN/m²]	Ni	Cv [cmq/s]	Cs
0.54	18.0	18.0	28.0	19.61	0.0	0.0	-19.21	-529.95	-1912.95	0.0	0.0	0.0
0.08	17.96	18.74	0.0	0	0.0	0.0	60.24	0.0	3962.08	0.0	0.0	0.0
0.9	18.63	21.57	34.98	25.12	0.0	0.0	0.0	3151.86	7879.64	0.0	0.0	0.0
0.04	18.39	19.18	0.0	0	0.0	0.0	78.54	0.0	4526.67	0.0	0.0	0.0
0.08	17.23	18.02	0.0	0	0.0	0.0	38.81	0.0	3024.14	0.0	0.0	0.0
0.12	18.1	18.89	0.0	0	0.0	0.0	65.69	0.0	4201.42	0.0	0.0	0.0
0.08	17.15	17.93	0.0	0	0.0	0.0	36.78	0.0	2923.49	0.0	0.0	0.0
0.02	18.71	19.5	0.0	0	0.0	0.0	95.36	0.0	4737.79	0.0	0.0	0.0
0.06	18.63	21.57	32.66	23.24	0.0	0.0	0.0	3141.85	7854.15	0.0	0.0	0.0
0.04	18.69	19.47	0.0	0	0.0	0.0	93.96	0.0	4731.27	0.0	0.0	0.0
0.78	18.63	21.57	31.24	22.12	0.0	0.0	0.0	2825.88	7064.71	0.0	0.0	0.0
0.08	18.67	19.46	0.0	0	0.0	0.0	92.91	0.0	4731.67	0.0	0.0	0.0
3.06	18.63	21.57	28.7	20.14	0.0	0.0	0.0	2627.99	6570.46	0.0	0.0	0.0
0.04	17.72	18.51	0.0	0	0.0	0.0	52.26	0.0	3926.6	0.0	0.0	0.0
0.92	17.0	17.79	0.0	0	0.0	0.0	33.76	0.0	3091.45	0.0	0.0	0.0
0.02	18.71	19.49	0.0	0	0.0	0.0	94.84	0.0	4748.61	0.0	0.0	0.0
1.52	18.63	21.57	28.7	20.14	0.0	0.0	0.0	2589.94	6475.33	0.0	0.0	0.0
0.18	17.61	18.4	0.0	0	0.0	0.0	48.83	0.0	3921.19	0.0	0.0	0.0
1.44	16.89	17.68	0.0	0	0.0	0.0	31.58	0.0	3172.39	0.0	0.0	0.0
0.02	18.01	18.8	0.0	0	0.0	0.0	62.35	0.0	4408.16	0.0	0.0	0.0
0.18	17.5	18.28	0.0	0	0.0	0.0	45.51	0.0	3867.86	0.0	0.0	0.0
0.04	18.01	18.79	0.0	0	0.0	0.0	62.01	0.0	4406.42	0.0	0.0	0.0
5.32	16.56	17.35	0.0	0	0.0	0.0	25.82	0.0	3095.27	0.0	0.0	0.0
0.02	19.18	19.96	0.0	0	0.0	0.0	126.49	0.0	4085.78	0.0	0.0	0.0
0.44	17.65	20.59	28.7	20.14	0.0	0.0	0.0	2897.87	7245.15	0.0	0.0	0.0
0.04	17.8	18.58	0.0	0	0.0	0.0	54.59	0.0	4395.72	0.0	0.0	0.0
2.98	17.1	17.88	0.0	0	0.0	0.0	35.79	0.0	3836.31	0.0	0.0	0.0
0.02	19.22	20.0	0.0	0	0.0	0.0	129.35	0.0	4283.87	0.0	0.0	0.0
0.1	17.65	20.59	28.7	20.14	0.0	0.0	0.0	2815.88	7040.19	0.0	0.0	0.0
0.04	18.2	18.99	0.0	0	0.0	0.0	69.82	0.0	4712.55	0.0	0.0	0.0
0.28	18.63	21.57	28.7	20.14	0.0	0.0	0.0	2810.0	7024.5	0.0	0.0	0.0
0.04	17.87	18.65	0.0	0	0.0	0.0	57.04	0.0	4543.46	0.0	0.0	0.0
0.14	17.89	18.67	0.0	0	0.0	0.0	57.64	0.0	4556.98	0.0	0.0	0.0
0.04	18.85	19.64	0.0	0	0.0	0.0	103.74	0.0	4454.21	0.0	0.0	0.0
0.02	18.63	21.57	28.7	20.14	0.0	0.0	0.0	3845.97	9614.44	0.0	0.0	0.0
0.06	18.1	18.88	0.0	0	0.0	0.0	65.58	0.0	4678.68	0.0	0.0	0.0
0.12	17.3	18.08	0.0	0	0.0	0.0	40.39	0.0	4112.68	0.0	0.0	0.0
0.04	18.03	18.81	0.0	0	0.0	0.0	62.8	0.0	4646.74	0.0	0.0	0.0
0.56	17.73	18.52	0.0	0	0.0	0.0	52.49	0.0	4467.34	0.0	0.0	0.0
0.04	18.66	19.45	0.0	0	0.0	0.0	92.46	0.0	4642.78	0.0	0.0	0.0
0.4	18.4	19.19	0.0	0	0.0	0.0	78.96	0.0	4746.99	0.0	0.0	0.0
0.34	18.91	19.7	0.0	0	0.0	0.0	107.39	0.0	4313.79	0.0	0.0	0.0
0.24	17.65	20.59	28.7	20.14	0.0	0.0	0.0	5195.96	12989.89	0.0	0.0	0.0
0.18	19.07	19.85	0.0	0	0.0	0.0	118.0	0.0	4059.89	0.0	0.0	0.0
4.3	19.0	19.0	28.0	19.61	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Tecnologica srl

via Combattenti Alleati d'Europa, 9/S
45100 Rovigo (RO)
t/f. 0425.475453

Grafici prova SCPTU02



Unità litotecniche

La successione delle Unità litotecniche in base ai risultati delle indagini e alle relative valutazioni, può essere riassunta come segue. Per i parametri geotecnici, si assumono valori caratteristici pari ai valori medi.

Unità A – comprende i terreni limo-sabbiosi ed argillosi da m 0,00 a m 9,80

$$\gamma_a = 18 \text{ KN/m}^3$$

$$c_u = 30-40 \text{ KN/m}^2$$

$$\phi = 28^\circ$$

$$M_o = 3.000 - 5.000 \text{ KN/m}^2$$

Unità B - comprende argille e argille limose da m 9,80 a m 11,90

$$\gamma_a = 18 \text{ KN/m}^3$$

$$c_u = 30 \text{ KN/m}^2$$

$$\phi = 0^\circ$$

$$M_o = 3.000 \text{ KN/m}^2$$

Unità C - comprende sabbie limose da m 11,90 a m 12,60

$$\gamma_a = 19 \text{ KN/m}^3$$

$$c_u = 0$$

$$\phi = 29^\circ$$

$$M_o = 6.500 \text{ KN/m}^2$$

Unità D – comprende i terreni argillo-limosi con interstrati sabbiosi da m 12,60 a m 23,20

$\gamma_a = 18 \text{ KN/m}^3$

$c_u = 30-50 \text{ KN/m}^2$

$\phi = 28^\circ$

$M_o = 4.000 - 7.000 \text{ KN/m}^2$

Unità E – comprende i terreni argillo-limosi con interstrati sabbiosi da m 23,20 a m 27,70

$\gamma_a = 18 \text{ KN/m}^3$

$c_u = 80 \text{ KN/m}^2$

$\phi = 28^\circ$

$M_o = 4.000 \text{ KN/m}^2$

Unità F – comprende i terreni sabbioso-limosi da m 27,70 a m 30,00

$\gamma_a = 19 \text{ KN/m}^3$

$c_u = 0 \text{ KN/m}^2$

$\phi = 30^\circ$

$M_o = 8.000 - 12.000 \text{ KN/m}^2$

ove:

γ_a peso di volume naturale del terreno

c_u coesione non drenata

ϕ° angolo attrito

M_o modulo edometrico

Il livello della falda è localizzato a c.a m 2.6 dal piano campagna.

4. SISMICITA' E DATI PER LA PROGETTAZIONE SISMICA

4.1. Sismicità storica

La zona è caratterizzata da una modesta sismicità storica, così come riportata dai Cataloghi. In realtà la cronaca del tempo (Giacomo da Marano, XIV sec.) riporta di un forte terremoto a Ferrara nel 1346, quando il 22 Febbraio “cascarono molte case, palazzi e torri...e nelle ville casamenti, fenili, pieze et altri edifitii”. L’evento fu risentito anche a Modena l’8 Febbraio (Giovanni da Bazzano, XV sec.) e forse in altre città della pianura padana per cui si potrebbe trattare di una sequenza protrattasi per diversi giorni.

Così è stato anche per il terremoto del 1570 di magnitudo calcolata pari a 5.5 che non è dovuto alle medesime due strutture interessate attualmente ma ad una struttura più orientale. L’evento principale del 17 novembre diede comunque inizio ad una sequenza sismica lunga quattro anni. La documentazione storica, oltre agli effetti distruttivi su edifici e monumenti, ricorda, riguardo quegli eventi sismici, una brusca variazione nel livello del Po a Stellata e fenomeni di liquefazione dei terreni.

Si ricordano gli eventi successivi del 1695 (M=4), del 1743 (M=4.6) e del 1787 (M=4) a Ferrara e del 1908 e 1922 nella zona di Cento. Maggiormente interessata da eventi sismici è l’area modenese colpita dal terremoto dell’8 maggio 1987 di magnitudo M = 4.6.

Anno	Epicentro	Intensità epicentro
1234	FERRARA	7.0
1249	MODENA	6.5
1285	FERRARA	6.5
1346	FERRARA	7.5
1410	FERRARA	6.5
1425	FERRARA SUD	6.0
1474	MODENA	6.0
1508	FERRARA SUD	6.0
1561	FERRARA	5.5
1570	FERRARA	7.5
1574	FINALE EMILIA	7.0
1695	FERRARA	5.5
1743	FERRARA	6.5
1780	BOLOGNESE	5.5
1834	BOLOGNA	5.5
1922	CENTO	3.5
1928	CARPI	6.5
1967	CORREGGIO	5.5
1986	BONDENO	6.0
1996	CORREGGIO	7.0

Dall'elenco dei terremoti riportati nel catalogo parametrico dei terremoti italiani (Scala Mercalli-Cancani-Sieberg)

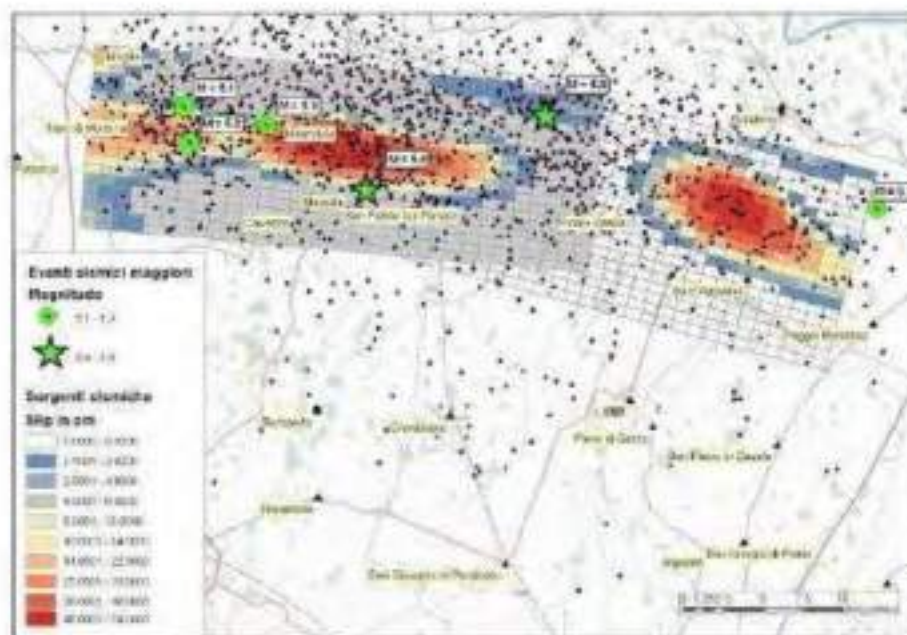
Un terremoto di Magnitudo (MI) 5.9 è avvenuto il giorno 20 maggio 2012 alle ore 4.03 con epicentro nei pressi di Finale Emilia, Lat. 44,89°N, Long. 11,23°E, alla profondità di Km 6,3, preceduto da un episodio di MI = 4.1 alle ore 1.13.

Sono seguite numerose repliche fra cui una scossa di MI = 4.9 alle ore 7.30 e una di MI 5.1 alle ore 15.18. Le due scosse principali di magnitudo 5.9 e 5.1 hanno epicentri allineati NW-SE, distanti c.a 10 Km e la sismicità è distribuita lungo un'area allungata per c.a 40 Km con direzione simile.

Il 29 maggio alle ore 9.30 una scossa MI = 5.8 con epicentro alla profondità di Km 10,2 si è verificata in provincia di Modena nel comune di Medolla, Lat. 44.85°N, Long. 11.09°E, con replica alle ore 12.55 con MI = 5.3 ed epicentro alla profondità di 6,8 Km, seguita il 3 giugno alle ore 21.20 da una scossa MI = 5.1 con epicentro alla profondità di Km 9,2, Lat. 44.90°N, Long. 10.94°E, con spostamento quindi del fenomeno verso ovest.

tabella dei terremoti con M>5 (aggiornata al 13 luglio 2012)						
data	ora UTC (ora locale)	latitudine	longitudine	profondità	magnitudo	fonte
20/05/2012	02:03:52 (04:03:52)	44.889	11.228	6.3	5.9	iside.rm.ingv.it
20/05/2012	02:07:31 (04:07:31)	44.863	11.370	5.0	5.1	iside.rm.ingv.it
20/05/2012	13:18:02 (15:18:02)	44.831	11.490	4.7	5.1	iside.rm.ingv.it
29/05/2012	07:00:03 (09:00:03)	44.851	11.086	10.2	5.8	iside.rm.ingv.it
29/05/2012	10:55:57 (12:55:57)	44.888	11.008	6.8	5.3	iside.rm.ingv.it
29/05/2012	11:00:25 (13:00:25)	44.879	10.947	5.4	5.2	iside.rm.ingv.it
03/06/2012	19:20:43 (21:20:43)	44.899	10.943	9.2	5.1	iside.rm.ingv.it

La sequenza sismica è continuata con più di 2000 repliche.

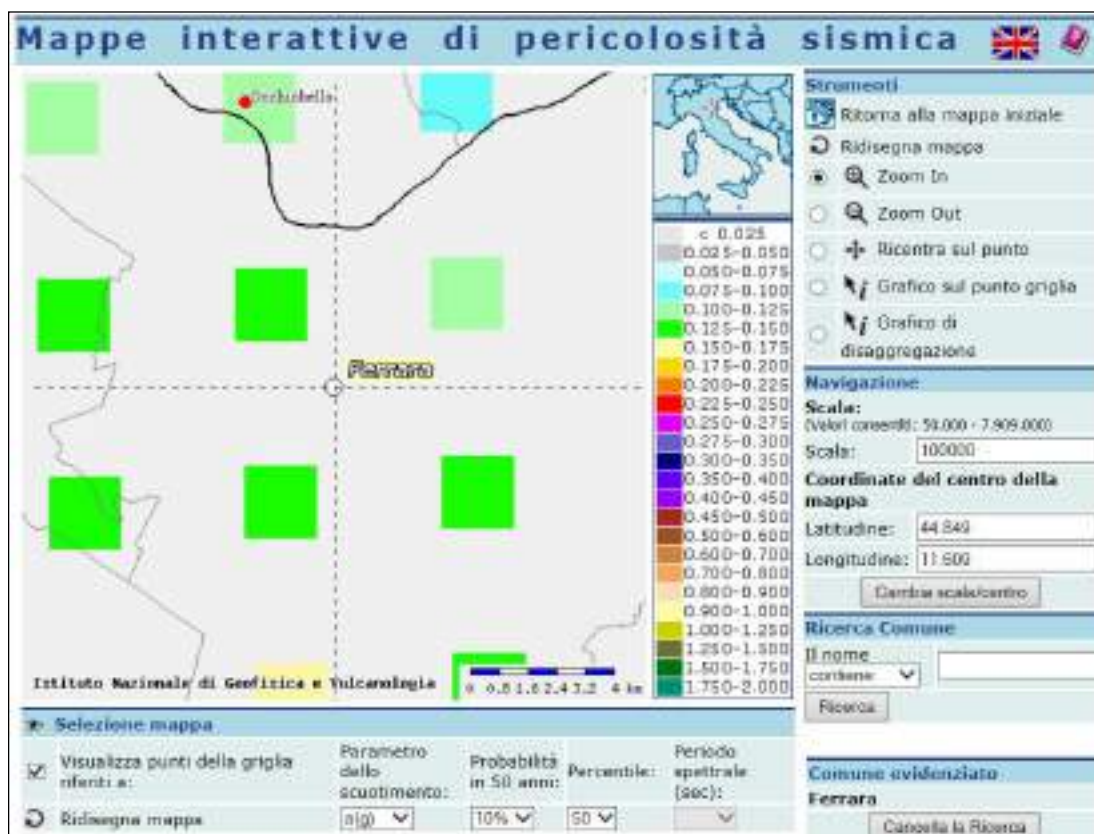


Sorgenti sismiche (da Atzori et al. 2012)

Le due sequenze sono legate a due strutture compressive del margine appenninico. Per ambedue le sequenze di eventi il meccanismo focale è di tipo compressivo con direzione di massima compressione NS e orientazione dei piani di faglia EW.

4.2. Dati per la progettazione sismica

La classificazione sismica introdotta dall'O.P.C.M. 3519/2006 - "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone"- recepita dal D.M. 14/01/2008, attribuisce al Comune di Ferrara un valore di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo appartenente agli intervalli 0.125g-0.150g, con $T=0$, su suolo rigido $180 < V_s < 360$ m/s ($15 < N_{SPT} < 50$, $70 < c_u < 250$ kPa) e con probabilità di superamento del 10% in 50 anni. Secondo il vigente D.M., gli spettri di risposta rappresentano delle componenti (orizzontale e verticale) delle azioni sismiche di progetto di un generico sito del territorio nazionale. Nella figura seguente si riporta un particolare della mappa di pericolosità sismica redatta dall'INGV, secondo la Tabella 1, allegata alle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.



Per la scelta della strategia di progettazione, il progettista procede in funzione delle caratteristiche dell'opera progettata e definisce lo spettro di risposta. Ai fini della normativa, le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento ne periodo di riferimento P_{vr} a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

a_g = accelerazione orizzontale massima al sito;

F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_c = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;

In allegato alla norma per tutti i siti italiani, sono forniti i valori di a_g , F_0 e T_c necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

Nella Tabella che segue si riportano i valori di probabilità di superamento per i diversi stati limiti a cui si può spingere la progettazione.

Di seguito si riportano i parametri sismici calcolati secondo un approccio "sito indipendente". Come indicato nell'allegato A del D.M. 14 gennaio 2008, si possono ottenere i valori dei suddetti parametri spettrali (a_g , F_0 e T_c) del sito in esame utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento.

Stati Limite	P_{vr} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento T_r	
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Si valutano i parametri spettrali a_g , F_0 e T_c per il sito di progetto (approccio "sito-dipendente") considerando l'amplificazione stratigrafica e topografica (T1) (cap. 3.2 del D.M. 2008) la categoria del sottosuolo C e la classe d'uso della costruzione (IV) (cap. 2.4 del D.M. 2008). Si ricava:

Via:

Comune:

Provincia:

Latitudine:

Longitudine:

Sito:

WGS84 (*)

Cerca

[1]* Coordinate WGS84 (*)

Latitudine:

Longitudine:

[1]* Coordinate ED50 (*)

Latitudine:

Longitudine:

Classe dell'edificio:

IV. Funzioni pubbliche o strategiche importanti

Gr=2

Vita normale (Opere provvisorie <-10, Opere ordinarie >-50, Grandi opere >-100)

Media ponderata

Calcola

Visualizza vertici della maglia di appontamento

(1)* Il software converte i dati dal sistema WGS84 al sistema ED50, prima di elaborare i risultati e comunque possibile riportare direttamente le coordinate nel sistema ED50. I punti sulla mappa sono da considerarsi esclusivamente in coordinate WGS84.

(2)* Il file creato con "Salva file" può essere importato automaticamente negli applicativi GeoSitu.

Sotto Limite	T _r [anni]	a _g [g]	F ₀	T _c [s]
Operatività (SLO)	120	0,054	2,517	0,290
Danno (SLD)	201	0,082	2,573	0,282
Salvaguardia vite (SLV)	1000	0,199	2,541	0,291
Prevenzione crollo (SLC)	2475	0,220	2,523	0,293
Periodo di riferimento per l'azione sismica	200			

CALCOLO COEFFICIENTE SISMICA

☐ Muri di sostegno ☐ Forate

☒ Stabilità dei pendii e fondazioni

☐ Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti

H (m):

se (m):

Categoria sottosuolo:

Categoria topografica:

	SLO	SLD	SLV	SLC
S _s *	1,50	1,50	1,40	1,37
Amplificazione stratigrafica				
C _s *	1,58	1,59	1,58	1,57
Coeff. fissi categoria				
S _t *	1,00	1,00	1,00	1,00
Amplificazione topografica				

☐ Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]:

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
k _h	0,019	0,025	0,067	0,084
k _v	0,018	0,012	0,033	0,042
Amax [m/s ²]	0,946	1,295	2,735	2,955
Beta	0,298	0,208	0,140	0,280

* I valori di S_s, C_s ed S_t possono essere variati.

Calcola

Stampa [2]* Salva file Salva PDF

SISMA

Accelerazione massima (ag/g)	0.096
Effetto sismico secondo	NTC(C7.11.5.3.1)
Fattore di struttura [q]	3
Periodo fondamentale vibrazione [T]	0.25
Coefficiente intensità sismico terreno [Khk]	0.0193
Coefficiente intensità sismico struttura [Khi]	0.2429

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe IV
Vita nominale:	100.0 [anni]
Vita di riferimento:	200.0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	120.0	0.63	2.52	0.29
S.L.D.	201.0	0.8	2.57	0.28
S.L.V.	1898.0	1.95	2.54	0.29
S.L.C.	2475.0	2.16	2.52	0.29

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera:	Stabilità dei pendii e Fondazioni
--------	-----------------------------------

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.945	0.2	0.0193	0.0096
S.L.D.	1.2	0.2	0.0245	0.0122
S.L.V.	2.724	0.24	0.0667	0.0333
S.L.C.	2.9526	0.28	0.0843	0.0422

4.3. La risposta sismica locale

Studiare la Risposta sismica locale vuol dire definire la Funzione di trasferimento o la Funzione di amplificazione rappresentativa della situazione geologico-strutturale al di sotto della zona esaminata.

In generale la forma della Funzione Amplificazione o Trasferimento è legata alla modalità di trasmissione delle onde all'interno dello strato superficiale e, in particolare, alle interferenze che si generano tra queste onde.

Nel caso di basamento rigido (bedrock) ricoperto da sedimenti soffici l'onda sismica proveniente dal basso rimane intrappolata all'interno dello strato sedimentario a causa della presenza di forti contrasti di impedenza alla base (interfaccia basamento-copertura) e alla superficie (interfaccia sedimenti-aria). Le onde intrappolate tra forti contrasti di impedenza interferiscono fra loro portando alla amplificazione. Se il contrasto di impedenza è piccolo l'amplificazione riguarda solo alcune frequenze, sulla base del rapporto Vs/H.

All'interno dello strato sedimentario la velocità delle onde S cambia con la profondità e naturalmente cambia anche l'amplificazione. Il processo di propagazione dipende dalle proprietà meccaniche del terreno, proprietà come la rigidità e lo smorzamento.

Attraverso codici di calcolo, tenendo conto di quattro parametri: *spessore dello strato*, *densità dei terreni*, *modulo di taglio* e *smorzamento*, per ciascuno strato, si esegue la valutazione dell'amplificazione stratigrafica. L'amplificazione viene calcolata in funzione della frequenza (o del periodo) scelta come il rapporto fra gli spettri di risposta del moto di input (al basamento) e quello di output (al di sopra del sedimento) di un terremoto di riferimento (condizioni 1D).

Oltre allo spettro di risposta del terremoto di riferimento, per il calcolo della RSL è necessario riferirsi ad un idoneo gruppo di accelerogrammi (NTC 2008) ricavati da Banche Dati.

Tale studio è stato eseguito per il territorio comunale di Ferrara. Nella zona è confermato un fattore di amplificazione FA pari a 1,5. Tale valore è infatti quello indicato dalla Regione E-R per i terreni di tali caratteristiche nella zona denominata Pianura 2.

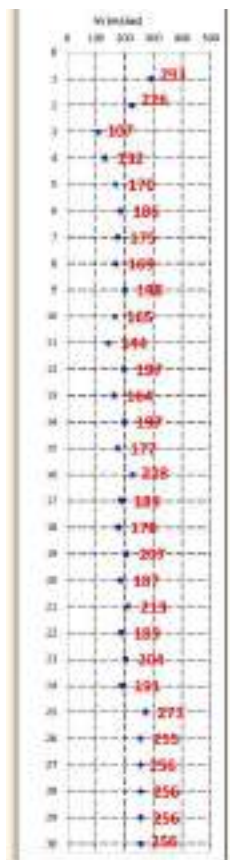
Categoria di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto è necessario valutare l'effetto della risposta sismica basandosi sull'individuazione della categoria di sottosuolo di riferimento.

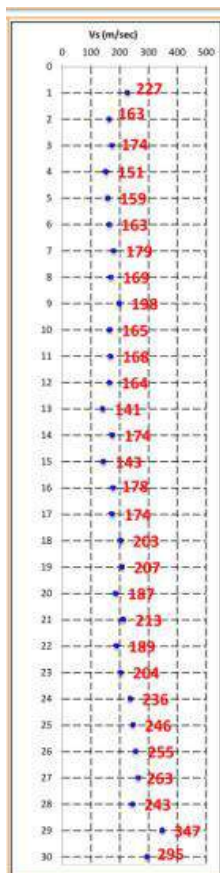
Questa classificazione si basa sui valori della velocità equivalente $V_{s,30}$ di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 metri di profondità.

L'indagine effettuata con il cono sismico (SCPTU) ha consentito di ricostruire il quadro sismico del sottosuolo dell'area indagata fino alla massima profondità d'indagine raggiunta di 30 m.

SCPTU01



SCPTU02

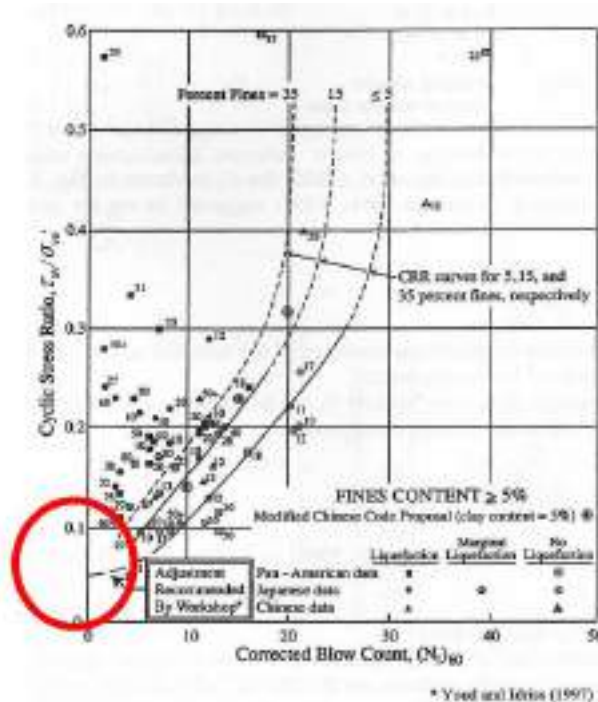


$V_{s30} = 190-191\text{m/s}$. Il sottosuolo ricade in Depositi riferibili alla **categoria di suolo C** - depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o di argilla a media consistenza con spessori variabili da diverse decine sino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V_{s30} compresi fra 180 e 360 m/s ($15 < N_{spt} < 50$, $70 < c_u < 250\text{ KPa}$)

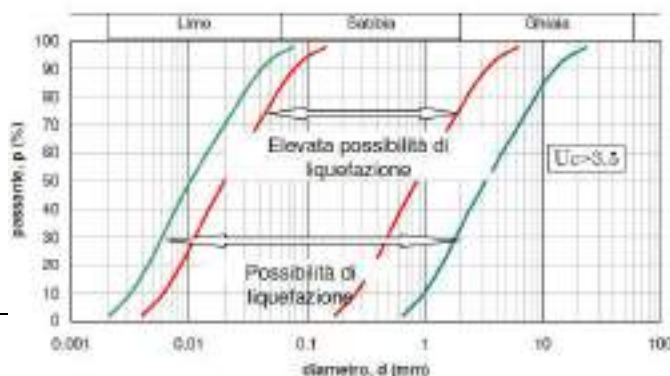
5. STIMA DELLA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

Le indagini geognostiche mostrano che i terreni superficiali incontrati sono sia coesivi che incoerentemente dopo i 15 metri si hanno orizzonti limo-sabbiosi. La falda è stata riscontrata a -2.6m da p.c. attuale.

Il paragrafo 7.11.3.4.2 delle NTC afferma che la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:



- Eventi sismici di Magnitudo inferiore a 5;
- Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
- Profondità media stagionale della falda superiore a 15 metri dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (SPT) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100kPa;
- Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficienti di uniformità $U_c > 3,5$.



Il rischio di liquefazione nei terreni è stato calcolato con il metodo semplificato di *Seed e Idriss* elaborando i dati della prova CPTU02 (cantiere CGX srl).

Seed e Idriss

Il metodo utilizzato dal software Loadcap per la valutazione della liquefacibilità di un terreno sabbioso saturo durante un evento sismico è quello proposto da Seed e Idriss, il più noto e utilizzato dei metodi semplificati.

Si basa sul numero di colpi della prova Standard Penetration Test e richiede solo la conoscenza di pochi parametri geotecnici: la granulometria, la densità relativa, il peso di volume.

Con tale metodo il fattore di resistenza alla liquefazione FS viene valutato dal rapporto tra la capacità di resistenza normalizzata (R) e la domanda di resistenza ciclica (T), moltiplicato per un fattore di scala valutato considerando un evento sismico atteso di magnitudo M=6.5 che assume un valore costante pari a 1.19 (condizione peggiore).

La capacità di resistenza normalizzata rispetto alla tensione verticale efficace iniziale viene espressa dalla seguente relazione:

$$R = \frac{\tau_{ult}}{\sigma'_{v0}}$$

e può essere determinata dal grafico rappresentato in Fig. 4.5.11, funzione di parametri desunti da prove SPT opportunamente corretti e normalizzati.

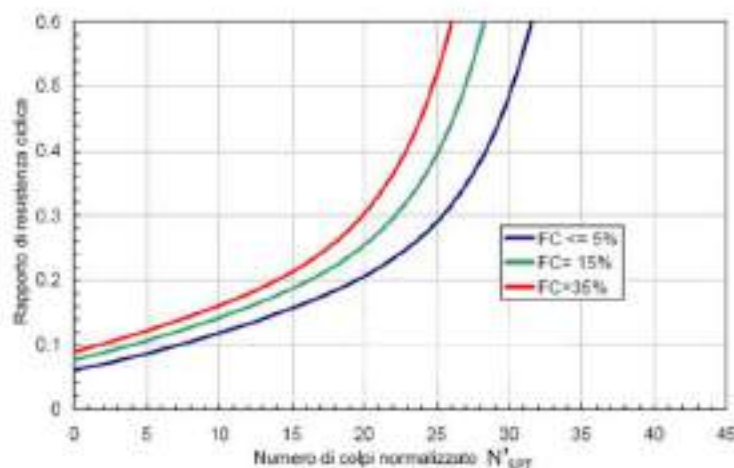


Figura 4.5.11 – Correlazione fra capacità di resistenza ciclica e numeri di colpi corretto della prova penetrometrica dinamica (N'_{SPT})

La domanda di resistenza ciclica viene espressa dalla relazione:

$$T = 0.65 \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} r_d$$

dove:

g accelerazione di gravità;

σ_v σ'_v rispettivamente la tensione verticale totale e quella efficace alla profondità considerata;

$rd = 1 - 0.015z$ coefficiente correttivo che tiene conto della deformabilità del terreno al passaggio delle onde sismiche di taglio.

Nell'espressione della domanda di resistenza (T), per tenere conto del carattere sporadico dei picchi di accelerazione, si corregge lo sforzo massimo ciclico indotto dall'evento sismico del 35% ottenendo un valore di "sforzo equivalente uniforme".

Se $FS > 1.3$ il deposito viene considerato non liquefacibile.

Nel ns. caso si ha:

Verifica a liquefazione

La verifica a liquefazione viene eseguita nei seguenti casi: terreno incoerente, strato sotto falda, presenza di sisma.

Seed-Idriss

Strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Nspt'	P0 (kN/m ²)	P'0 (kN/m ²)	T	R	SF	Condizione:
3	1.52	16.00	27.62	27.923	27.923	0.061	1.253	20.553	Livello non liquefacibile
4	1.56	11.00	18.85	28.659	28.659	0.061	0.252	4.132	Livello non liquefacibile
5	1.64	6.00	10.14	30.037	30.037	0.061	0.133	2.191	Livello non liquefacibile
6	1.76	10.00	16.53	32.209	32.209	0.061	0.198	3.252	Livello non liquefacibile
7	1.84	6.00	9.78	33.581	33.581	0.061	0.131	2.157	Livello non liquefacibile
8	1.86	14.00	22.75	33.955	33.955	0.061	0.464	7.654	Livello non liquefacibile
9	1.92	16.00	25.72	35.073	35.073	0.061	0.839	13.836	Livello non liquefacibile
10	1.96	14.00	22.34	35.821	35.821	0.061	0.431	7.116	Livello non liquefacibile
11	2.74	14.00	20.49	52.528	45.271	0.069	0.316	4.553	Livello non liquefacibile
12	2.82	14.00	20.35	54.084	46.043	0.070	0.310	4.410	Livello non liquefacibile

Ok ?

Verifica a liquefazione

La verifica a liquefazione viene eseguita nei seguenti casi: terreno incoerente, strato sotto falda, presenza di sisma.

Seed-Idriss

Strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Nspt'	P0 (kN/m ²)	P'0 (kN/m ²)	T	R	SF	Condizione:
12	2.82	14.00	20.35	54.084	46.043	0.070	0.310	4.410	Livello non liquefacibile
13	5.88	13.00	14.38	120.087	82.037	0.083	0.169	2.023	Livello non liquefacibile
14	5.92	9.00	9.93	120.828	82.385	0.083	0.132	1.582	Livello non liquefacibile
15	6.84	6.00	6.32	137.194	89.729	0.086	0.105	1.221	Liquefazione incerta o discutibile
16	6.86	15.00	15.77	137.584	89.923	0.086	0.186	2.168	Livello non liquefacibile
17	8.38	13.00	12.28	170.370	107.802	0.086	0.149	1.732	Livello non liquefacibile
18	8.56	9.00	8.43	173.682	109.349	0.086	0.121	1.401	Livello non liquefacibile
19	10.00	6.00	5.28	199.141	120.686	0.088	0.096	1.093	Liquefazione incerta o discutibile
20	10.02	11.00	9.68	199.517	120.866	0.088	0.130	1.486	Livello non liquefacibile
21	10.20	8.00	6.98	202.807	122.391	0.088	0.110	1.256	Livello non liquefacibile

Ok ?

Verifica a liquefazione									
La verifica a liquefazione viene eseguita nei seguenti casi: terreno incoerente, strato sotto falda, presenza di sisma.									
Seed-Idriss									
Strato	Prof. Strato (m)	Nspt	Nspt'	P0 (kN/m ²)	P'0 (kN/m ²)	T	R	SF	Condizione:
	21	10.20	8.00	6.98	202.807	122.391	0.088	0.110	1.256 Livello non liquefacibile
	22	10.24	11.00	9.58	203.559	122.750	0.088	0.129	1.477 Livello non liquefacibile
	23	15.56	6.00	4.32	295.859	162.878	0.087	0.086	0.995 Livello liquefacibile
	24	15.58	21.00	15.11	296.258	163.082	0.087	0.177	2.036 Livello non liquefacibile
	25	16.02	15.00	10.57	305.318	167.826	0.086	0.137	1.583 Livello non liquefacibile
	26	16.06	11.00	7.74	306.061	168.177	0.086	0.116	1.345 Livello non liquefacibile
	27	19.04	8.00	5.11	359.343	192.234	0.083	0.094	1.129 Liquefazione incerta o discutibile
	28	19.06	22.00	14.05	359.743	192.438	0.083	0.165	1.981 Livello non liquefacibile
	29	19.16	14.00	8.90	361.802	193.516	0.083	0.124	1.498 Livello non liquefacibile
	30	19.20	13.00	8.26	362.561	193.883	0.083	0.120	1.441 Livello non liquefacibile
	31	19.48	14.00	8.78	368.601	197.177	0.083	0.124	1.497 Livello non liquefacibile
	32	19.52	12.00	7.52	369.347	197.531	0.083	0.114	1.384 Livello non liquefacibile
	33	19.66	12.00	7.48	371.961	198.772	0.082	0.114	1.383 Livello non liquefacibile
	34	19.70	18.00	11.21	372.746	199.165	0.082	0.141	1.715 Livello non liquefacibile
	35	19.72	20.00	12.44	373.178	199.400	0.082	0.151	1.831 Livello non liquefacibile
	36	19.78	13.00	8.07	374.310	199.945	0.082	0.118	1.441 Livello non liquefacibile
	37	19.90	9.00	5.57	376.480	200.937	0.082	0.098	1.197 Liquefazione incerta o discutibile
	38	19.94	13.00	8.03	377.232	201.297	0.082	0.118	1.440 Livello non liquefacibile
	39	20.50	11.00	6.67	387.603	206.177	0.081	0.108	1.323 Livello non liquefacibile
	40	20.54	17.00	10.30	388.381	206.562	0.081	0.135	1.657 Livello non liquefacibile
	41	20.94	15.00	8.96	396.057	210.315	0.081	0.125	1.550 Livello non liquefacibile
	42	21.28	19.00	11.22	402.755	213.679	0.080	0.141	1.764 Livello non liquefacibile
	43	21.52	26.00	15.21	407.697	216.267	0.080	0.178	2.237 Livello non liquefacibile
	44	21.70	21.00	12.21	411.269	218.075	0.079	0.149	1.874 Livello non liquefacibile

I depositi sabbiosi risultano in generale non liquefacibili; si rilevano strati limo-sabbiosi di potenza metrica a bassa/incerta liquefacibilità alla profondità di c.a. 10,5m, 12,0m e 20,0m.

Pertanto per sisma di M = 6,14, per l'area è minimo il rischio del fenomeno di liquefazione.

6. CONCLUSIONI E PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO

sismicità

Il sito investigato è inserito in Classe 3 e in Categoria C secondo quanto prescritto dall'O.C.M. n. 3274 del 20/03/2003 e smi.

stratigrafia terreno

Le indagini eseguite permettono di individuare orizzonti stratigrafici dalle seguenti caratteristiche geotecniche: limi sabbiosi debolmente argillosi mediamente addensati da p.c. a circa 10m; argille limose mediamente coesive da tale profondità a circa 11.9m; sabbie limose mediamente addensate fino a circa 12.6m; da tale profondità fino a circa 23.2m si rilevano argille limose mediamente coesive con rari strati di potenza metrica di limi sabbiosi poco addensati; da 23.2m a 27.7m si rilevano argille limose e sabbiose mediamente coesive; da tale profondità a 30.0m sabbie limose addensate.

Stabilità area

Il rilevamento di campagna eseguito nell'intorno dell'area non presenta situazioni di instabilità potenziale. I processi morfogenetici sono limitati. Le aree non evidenziano tracce di cedimenti e deformazioni del terreno. In relazione al contesto morfologico e alle caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione si ritiene di definire come stabile l'area di edificazione.

dicembre 2017

dott. geol. Paolo Chiarion

