

COMUNE DI ZOLA PREDOSA (BO)

DESCRIZIONE DEI LAVORI

- BIBLIOTECA COMUNALE - AMPLIAMENTO, SUPERAMENTO BARRIERE ARCHITETTONICHE E MIGLIORAMENTO SISMICO

COMMITTENTE :

Comune di Zola Predosa

PROGETTO ARCHITETTONICO :



STUDIO BETA ASSOCIATI
via Castiglione, 31 - 40124 BOLOGNA
tel: 051 270290 fax: 051 2915203
P.IVA 01998241200
e-mail: info@studiobeta.bo.it

ing. Giuseppe Tartarini

PROGETTO DELLE STRUTTURE :



STUDIO BETA ASSOCIATI
via Castiglione, 31 - 40124 BOLOGNA
tel: 051 270290 fax: 051 2915203
P.IVA 01998241200
e-mail: info@studiobeta.bo.it

ing. Giuseppe Tartarini

PROGETTO ESECUTIVO

OGGETTO:

RELAZIONE GEOLOGICA

SPAZIO RISERVATO ALL'UFFICIO TECNICO

POSIZIONE

02718

ELABORATO N.

RG

REV.

00

DATA

22.11.2018

N.

DATA

00

22.11.2018

OGGETTO

EMISSIONE

REVISIONI

NOME FILE: 02718_RG_00.DWG

REGIONE EMILIA ROMAGNA
PROVINCIA DI BOLOGNA
COMUNE DI ZOLA PREDOSA

RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA

ai sensi del DM del 11/03/1988; Circolare Ministero LL PP del 24/09/1988 n. 30483; DPR 554/1999; DPR 328/2001;
OPCM n. 3274 del 20/03/2003; DGR RER n. 1677 del 24/10/2005; DGR 2193/2015;
DM 17/01/2018 Norme Tecniche per le costruzioni;

Progetto

AMPLIAMENTO DELL'EDIFICIO SEDE DELLA BIBLIOTECA COMUNALE

Localita'

ZOLA PREDOSA - PIAZZA G. MARCONI, 4

Committente

AMM. COMUNALE DI ZOLA PREDOSA

Tecnico incaricato

DOTT. GEOL. CLAUDIO PRECI



Data

NOVEMBRE 2018

Studio Preci
Geologia, Geotecnica, Geofisica, Idrogeologia, Ambiente
Via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena
Tel: 059.823020 - Cell: 3398264394
e-mail: precigeo@virgilio.it

INDICE

1. Premessa.....	2
2. Modellazione geologica del sito.....	4
3. Metodologia d'indagine delle prove in sito.....	12
3.1 Indagini geognostiche - Prove penetrometriche statiche CPT.....	12
3.2 Indagini geognostiche - Prove penetrometriche dinamiche DPSH.....	14
3.3 Indagine geofisica - Misura del microtremore sismico.....	15
4. Modellazione geotecnica del volume significativo di terreno.....	16
5. Modellazione sismica e pericolosità sismica di base del sito.....	18
5.1 Suscettibilità alla liquefazione dei terreni incoerenti.....	20
5.2 Misura del microtremore sismico.....	21
5.3 Azione Sismica.....	24
6. Considerazioni conclusive.....	28
Allegato A - Elaborati delle indagini geognostiche.....	30

1. Premessa

La presente relazione geologica è stata eseguita per conto della committenza al fine di verificare le caratteristiche dei terreni del primo sottosuolo di un'area in Comune di Zola Predosa, per il progetto di ampliamento dell'edificio sede della Biblioteca Comunale.



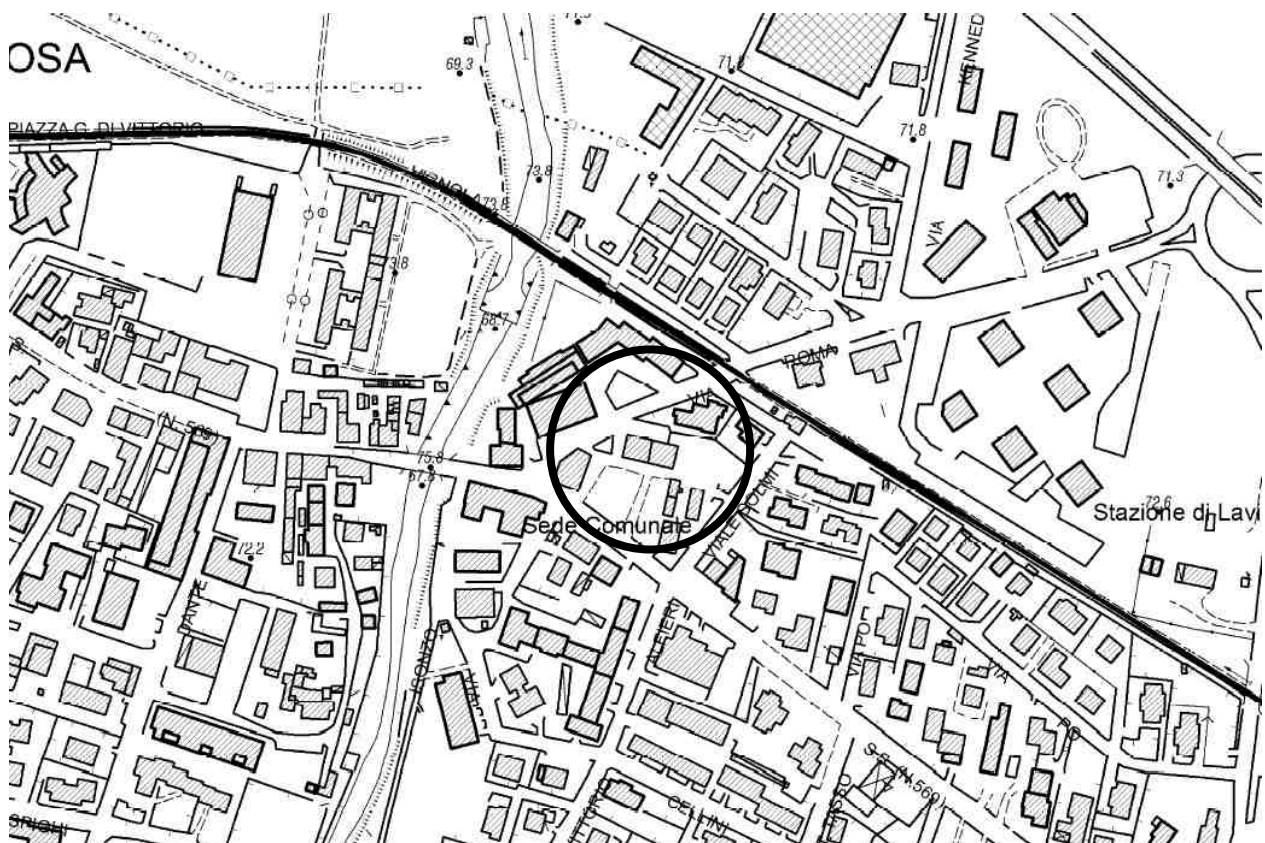
Secondo il DM 17/01/2018 Nuove Norme Tecniche per le costruzioni, le scelte progettuali devono tener conto delle prestazioni attese delle opere, dei caratteri geologici del sito e delle condizioni ambientali. Nella presente relazione vengono riportate la modellazione geologica e sismica dell'area in oggetto e la modellazione geotecnica sulle indagini geognostiche eseguite in sito, con particolare riferimento alla individuazione dei parametri geotecnici caratteristici del terreno studiato.

Le indagini geognostiche e la presente relazione sono conformi a quanto disposto nelle normative seguenti:

- AGI Associazione Geotecnica Italiana “Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche” (1977);
- DM del 11/03/1988 “Norme Tecniche riguardanti le indagini sui terreni ecc.”;
- Circolare Ministero LL PP del 24/09/1988 n. 30483;
- DPR 554/1999;
- DPR 328/2001;
- OPCM n. 3274 del 20/03/2003;
- Delibera di Giunta Regionale DGR RER n. 1677 del 24/10/2005;
- Delibera di Giunta Regionale DGR RER n. 2193 del 21/12/2015;
- DM 17/01/2018 Norme Tecniche per le Costruzioni (Testo aggiornato delle NTC; sostituiscono quelle approvate con il decreto ministeriale 14 gennaio 2008).



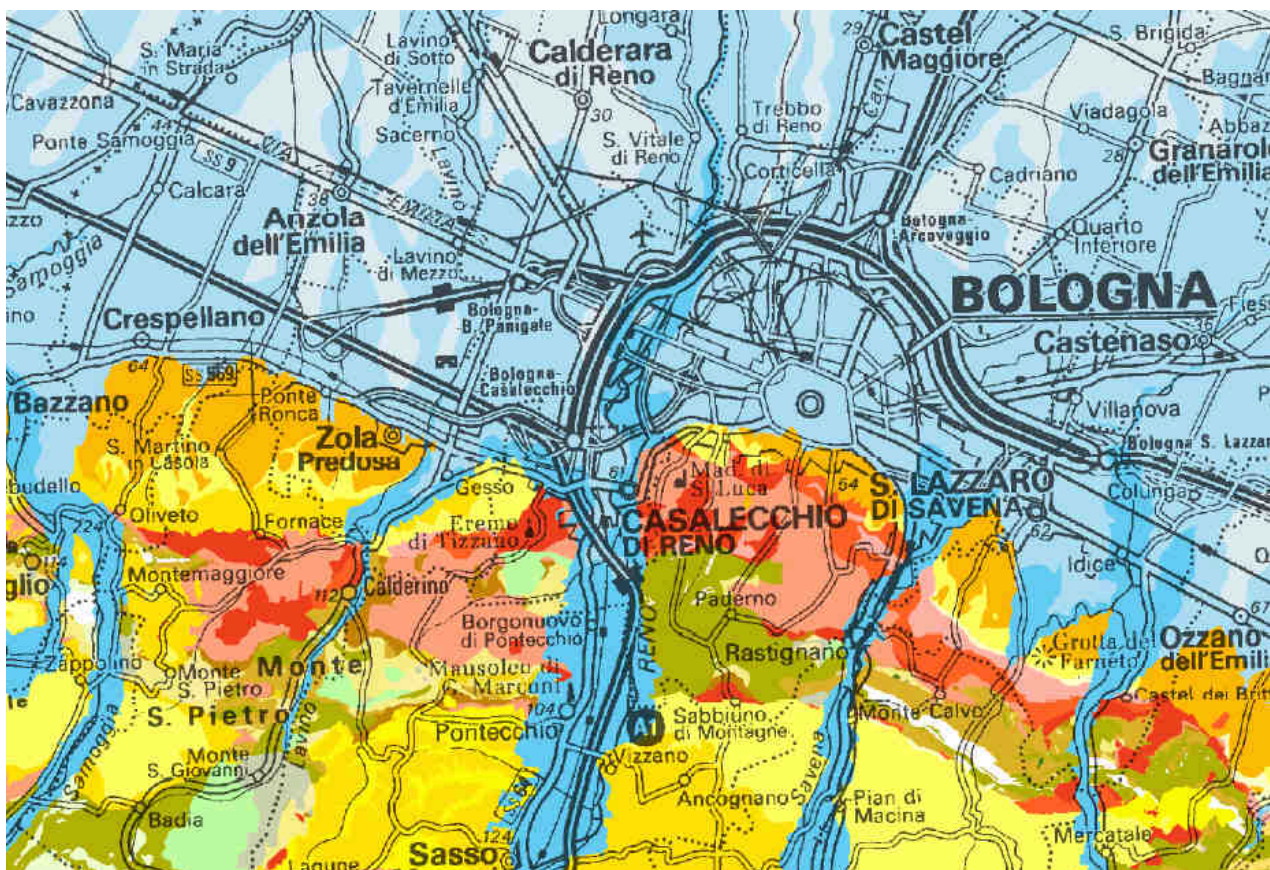
L'area oggetto d'indagine è ubicata nel nucleo urbano di Zola Predosa presso la sede della biblioteca comunale, in Piazza G. Marconi ed è compresa tra via Roma, via Risorgimento-SS 569 e la linea ferroviaria esistente, a una quota media di 74 m slm. Nell'archivio cartografico della Regione Emilia Romagna è rappresentata nella Carta Topografica a scala 1:25'000 nella Tavola 220 SE "Bologna Sud-Ovest" e nei CTR a scala 1:5'000 nell'elemento n. 220111 "Zola Predosa".



2. Modellazione geologica del sito

Il modello geologico di riferimento è la ricostruzione concettuale della storia evolutiva dell'area di studio, attraverso la descrizione delle peculiarità genetiche dei diversi terreni presenti, delle dinamiche dei diversi termini litologici, dei rapporti di giustapposizione reciproca, delle vicende tettoniche subite e dell'azione dei diversi agenti morfogenetici. La caratterizzazione e la modellazione geologica del sito deve comprendere la ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio, descritti e sintetizzati dal modello geologico di riferimento.

La Pianura Padana nel suo complesso costituisce un grande bacino sedimentario che, sin dal mesozoico, è stato caratterizzato da una notevole subsidenza con grande accumulo di sedimenti, raggiungendo i massimi apporti nel pliocene e nel quaternario, prima con sedimentazione marina e successivamente, dal pleistocene medio, con sedimentazione continentale. La messa in posto depositi più antichi è riconducibile all'idrodinamica fluviale determinata dall'alternarsi di fasi erosive e deposizionali, causate dalle variazioni climatiche che si sono succedute nel tempo ed in particolare del periodo interglaciale pre-Wurm (pleistocene superiore). Periodi umidi hanno portato alla deposizione dei sedimenti e alla messa in posto delle unità, periodi di minor piovosità hanno portato all'alterazione dei depositi con conseguente formazione dei suoli e all'erosione delle unità determinando la formazione di scarpate e incisioni fluviali.



Depositi di argine, canale e rota fluviale

Depositi di canale fluviale

Depositi di piana a meandri del Po

Depositi di piana inondabile

B02 - Argille Azzurre

B05 - Corpi arenacei post-pliocene inferiore

B07 - Sabbie Gialle

D03 - Marne di Monte piano

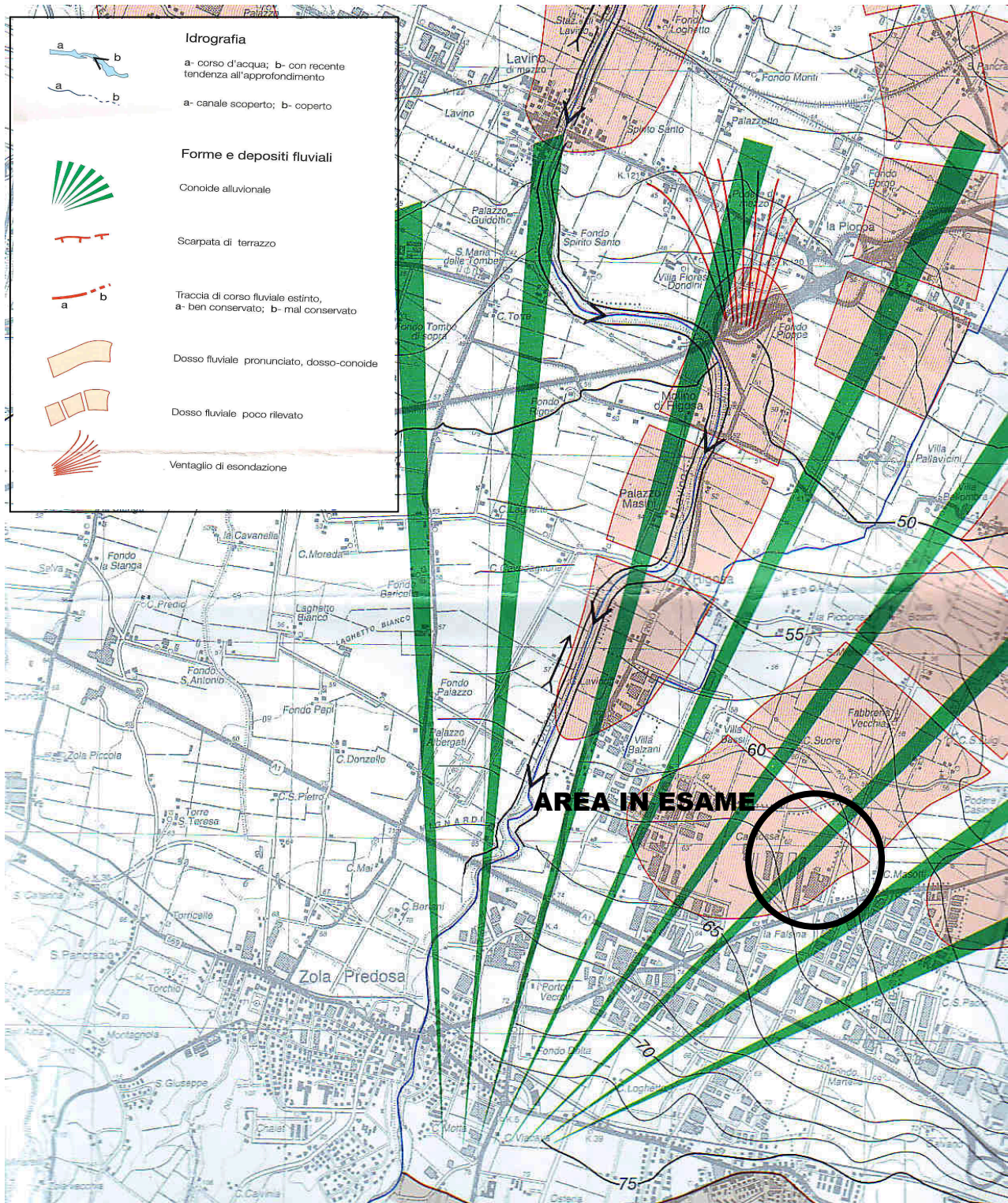
F05 - Complessi sedimentari pre-flysch

F10 - Argille varicolori liguri esterne

F12 - Flysch di Monte Caio s.l.

F20 - Unità Luretta - Marne Rosate

All'interno della pianura alluvionale sono state distinte, sulla base di sequenze litostratigrafiche tipiche determinate dalle stratigrafie dei pozzi idrici, due macro-ambienti deposizionali: la piana pedemontana, contraddistinta da depositi a sequenze prevalentemente grossolane (ghiaie) e la piana alluvionale vera e propria, caratterizzata da sequenze generalmente fini (sabbie, limi, argille). Questo tipo di pianura presenta una crescita di tipo verticale, dovuta prevalentemente a processi di tracimazione e rotta fluviale che hanno portato alla deposizione di strati suborizzontali a geometria lenticolare, probabilmente riferibili a singoli eventi alluvionali.

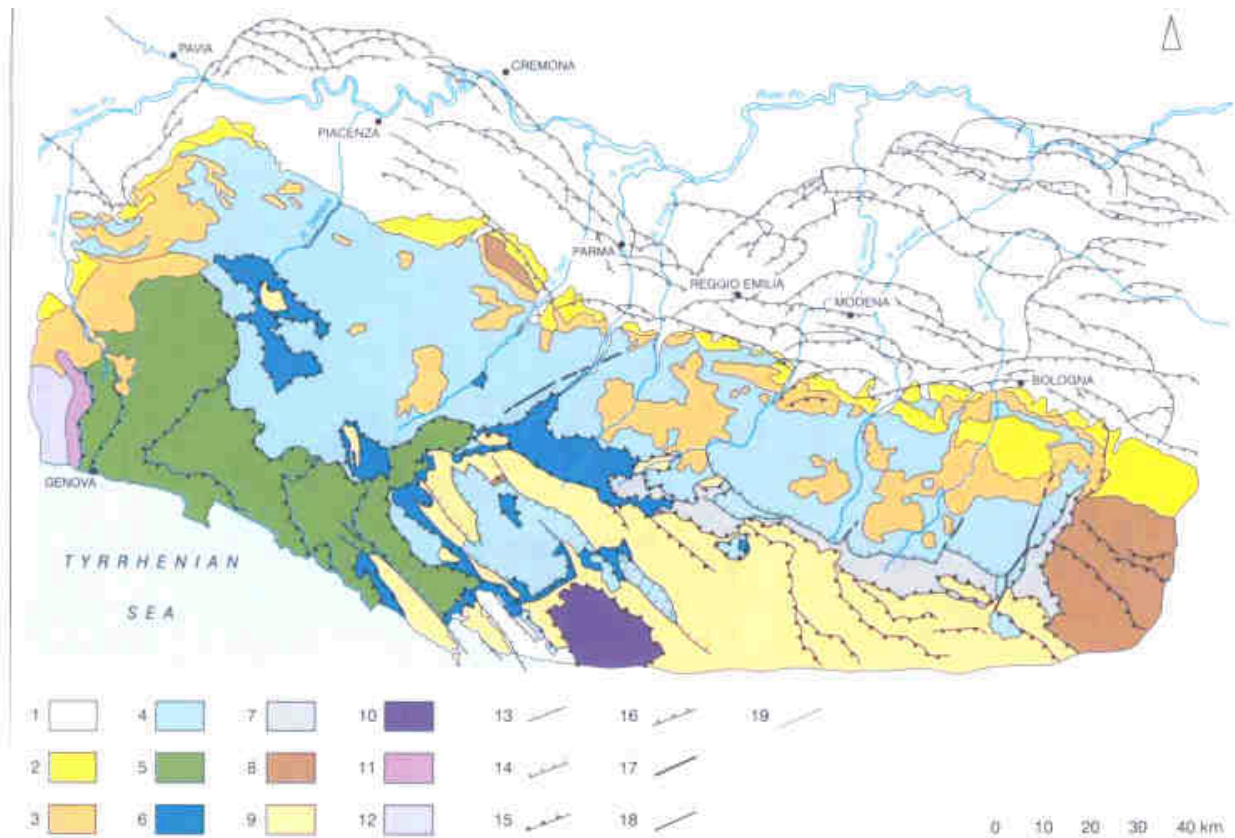


La granulometria superficiale e del sottosuolo appare quindi differenziata in base alla posizione rispetto al corso d'acqua o al paleoalveo di dominio: nella pianura sviluppatasi dall'olocene ad oggi, che si estende dal margine collinare al corso del fiume Po, gli attuali corsi d'acqua o i paleoalvei sono caratterizzati da depositi allungati in direzione nord-sud, costituiti da ghiaie nell'alta pianura e da sabbie e limi nella bassa. Litotipi argillosi, anche torbe e argille organiche, si ritrovano invece nelle aree depresse della bassa pianura. La fascia di passaggio tra il margine appenninico e l'alta pianura insiste su depositi alluvionali costituiti da terreni limo argilloso-sabbiosi consistenti con intercalazioni di ghiaie e sabbie ghiaiose addensate, che poggiano su una sedimentazione marino-continentale precedente. I depositi alluvionali della pianura compresa tra l'area pedemontana e la via Emilia sono il prodotto della sedimentazione prevalentemente verticale dovuta a processi di tracimazione di antichi corsi d'acqua sinuosi e meandriformi che si sviluppavano a valle dei corsi caratteristici delle aree collinari e pedemontane: i processi deposizionali hanno portato alla formazione di argini naturali prevalentemente sabbiosi e piane d'inondazione formate da limi e argille con stratificazione lenticolare derivata dai singoli episodi di tracimazione. La migrazione dei meandri e degli alvei ha condotto alla deposizione di corpi sabbiosi nastriformi allungati in senso sud-nord, in parte sepolti da depositi di piena più recenti. I dossi fluviali nel bolognese mostrano una direzione prevalente sud ovest-nord est e sono dovuti all'accumulo dei sedimenti abbandonati dai corsi d'acqua principali, i fiumi Panaro e Reno e dai corsi d'acqua minori, i torrenti Samoggia, Lavino, Savena, Idice, Quaderna e Sillaro. Questi termini prevalentemente sabbiosi tendono a localizzarsi in prossimità di dossi topografici, come gli allineamenti Minerbio-Baricella, Capo d'Argine-Alteto e il dosso fluviale di Castel Guelfo. Al contrario le aree contraddistinte da litotipi argilloso-limosi definiscono ambienti a bassa energia a sedimentazione lenta (ambienti palustri). I corsi d'acqua naturali, una volta raggiunta una determinata quota sui terreni a loro circostanti, tendevano infatti a mutare il loro corso in occasione di piene eccezionali, colmando così le aree più depresse di infraalveo. Ne consegue un incremento del dislivello tra fiume ed aree adiacenti poiché i materiali fini delle aree interfluviali sono soggetti ad un costipamento maggiore e più prolungato nel tempo, rispetto a quelli più grossolani formanti i corpi d'alveo abbandonati.

Nell'alta pianura invece i depositi quaternari continentali risultano di origine fluvioglaciale, riferibile al periodo interglaciale Mindel-Riss e sono costituiti prevalentemente da alluvioni ghiaiose (interglaciale Mindel-Ris), circondati da alluvioni più recenti (glaciazione Würm e olocene recente) e caratterizzate da un paleosuolo limo-argilloso rossastro per alterazione fisico-chimica (ferrettizzazione). La transizione tra le aree di conoide fluviale e la media pianura è molto graduale e mal distinguibile anche per i secolari effetti dell'antropizzazione ed è marcata solitamente da una notevole diminuzione della pendenza della superficie topografica.

L'Appennino Settentrionale è invece una catena orogenica strutturalmente complessa, costituita da un arco a virgazione semplice con vergenza verso nord-est e delimitato a nord dalla linea Sestri-Voltaggio, un grande lineamento tettonico a forte componente trascorrente, che lo separa dalle Alpi Liguri aventi vergenza opposta. Il limite meridionale è costituito dalla linea Ancona-Anzio, sempre a componente trascorrente. Come le altre catene montuose formatesi nel corso dell'orogenesi alpina, esso è formato da strutture rocciose di estensione areale e spessori notevoli, definite come Falde o Unità tettoniche.

Le diverse fasi dell'orogenesi hanno portato alla migrazione di queste unità dagli originari bacini di sedimentazione, con spostamenti nell'ordine anche delle centinaia di chilometri, e al loro impilamento come falde tettoniche separate da superfici di sovrascorrimento. Lo sviluppo dell'Appennino ebbe inizio nel cretaceo superiore con la cosiddetta fase eoalpina: l'avvicinamento della placca adriatica (zona dinarica) alla placca europea (zona iberica), portò prima alla tettonizzazione dell'Oceano Ligure-piemontese e poi alla sua subduzione sotto al margine europeo, costituito dal blocco Sardo-corso. Nell'eocene medio termina la fase oceanica dell'orogenesi appenninica con la completa chiusura dell'oceano; a partire dall'oligocene superiore comincia invece la fase intracontinentale, dovuta all'apertura del bacino del Mediterraneo Occidentale e alla conseguente rotazione in senso antiorario del blocco Sardo-Corso, che staccatosi dal margine della placca europea si portò nella sua posizione attuale nel miocene medio, provocando la completa chiusura dell'Oceano Ligure-piemontese.



CARTA GEOLOGICA SCHEMATICA DELL'APPENNINO SETTENTRIONALE

Legenda: 1 Depositi quaternari; 2 Depositi marini del Miocene sup.-Pleistocene; 3 Successione Epiliguri; 4 Unità Liguri esterne; 5 Unità Liguri interne; 6 Unità Subliguri; 7 Unità tettonica Sestola-Vidiciatico; 8 Unità Umbro-Romagnole; 9 Unità Toscane; 10 Unità metamorfiche Toscane; 11 Zona Sestri-Voltaggio; 12 Gruppo di Voltri; 13 Faglie dirette; 14 Faglie dirette nel sottosuolo; 15 Faglie inverse e sovrascorrimenti; 16 Faglie inverse nel sottosuolo; 17 Faglie trascorrenti, di strappo o di trasferimento; 18 Faglie ad alto angolo a cinematica ignota (nel sottosuolo); 19 Limiti litologici.

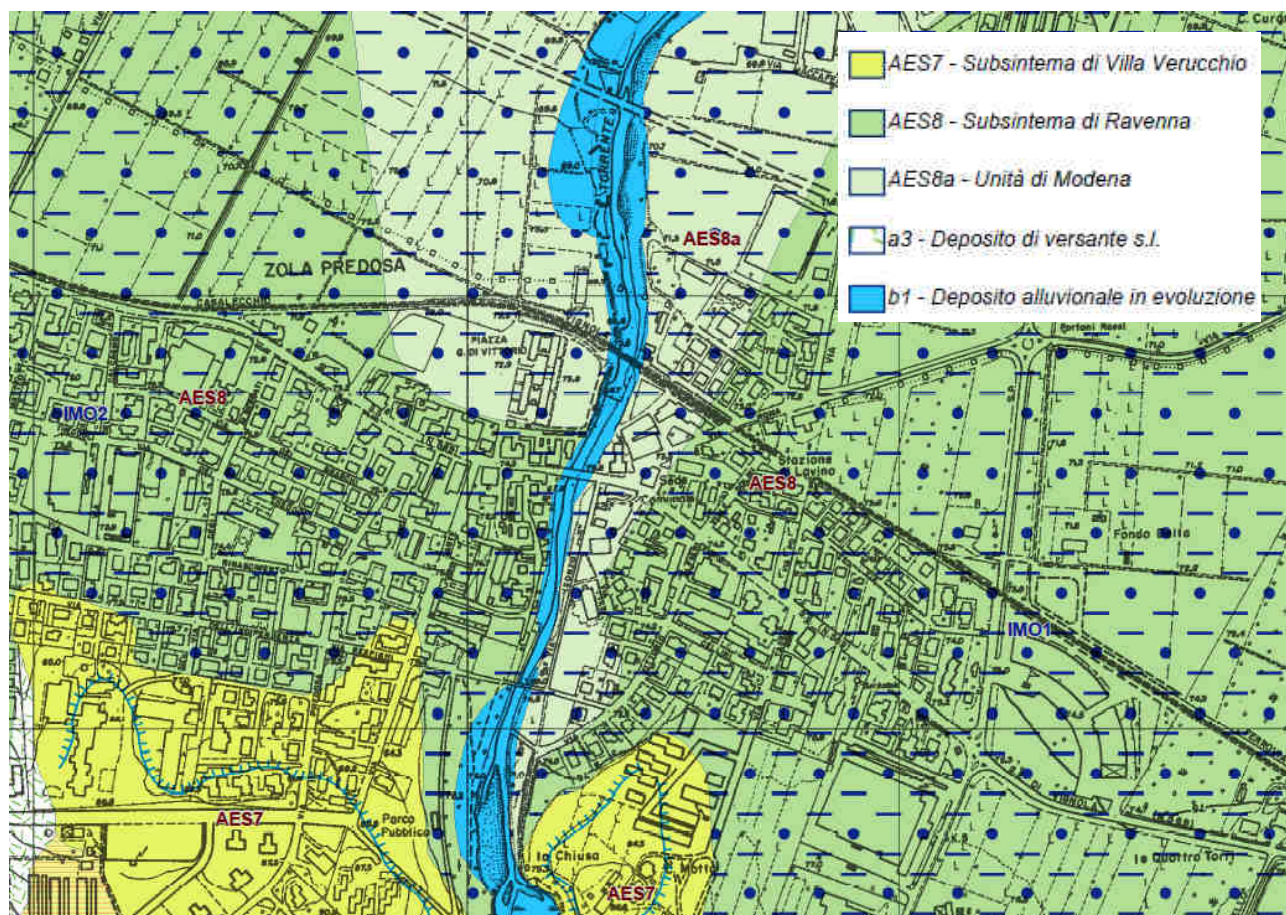
La rotazione del blocco che subduce la crosta oceanica portò a un fenomeno di migrazione dell'avanfossa verso est: fra le falde tettoniche che costituiscono i rilievi appenninici si trovano infatti le Unità Epiliguri sedimentatesi nelle diverse avanfosse, principalmente flysch torbiditici ed emipelagiti di chiusura. Lo spostamento del fronte compressivo verso est fu seguito dalla formazione di una zona di distensione crostale legata all'apertura del Bacino Tirrenico: si formarono, nelle aree più occidentali, una serie di depressioni tettoniche costituite da faglie principali normali immergenti verso ovest (si tratta probabilmente di faglie listriche che si raccordano in profondità a una faglia basale), che smembrarono la catena a falde del neo-appennino. Attualmente questi due opposti regimi tettonici coesistono: nella fascia adriatica della catena è attivo il fronte compressivo, in quella tirrenica il fronte distensivo. Nel caso dell'Appennino Settentrionale è difficile stabilire esattamente la portata, in termini di distanze e direzione, del trasporto tettonico subito dalle diverse Unità Tettoniche; è possibile invece risalire alle loro posizioni reciproche, ipotizzando la presenza di diversi domini paleogeografici a partire da quelli prossimi al margine europeo, detti interni, per arrivare ai più orientali, detti esterni. Si distinguono quindi due domini di sedimentazione su crosta oceanica, Liguridi interne e Liguridi esterne, e due domini su crosta continentale, Dominio Toscano e Dominio Umbro-romagnolo.

Dominio Ligure Interno Costituito essenzialmente dalle ofioliti, resti dell'antico fondale oceanico, dalla loro copertura sedimentaria di età giurassico-cretacica (brecce ofiolitiche, diaspri, calcari a calpionelle, argille a palombini, Formazione d. Val Lavagna e Arenarie d. Gottero) e da flysch torbiditici provenienti dallo smantellamento dei rilievi del Massiccio Sardo-Corso. **Dominio Ligure Esterno** Più orientale del Ligure Interno ma ancora di ambiente di piana abissale, si differenzia dal precedente poiché i flysch torbiditici (Flysch ad Elmintoidi), che

vanno a ricoprire i complessi basali formati da ofioliti e loro copertura sedimentaria, derivano dalla risedimentazione dei fanghi calcareo-marnosi provenienti dal margine settentrionale della placca europea. I movimenti traslativi che portarono all'impilamento in falde di questi domini oceanici, avvennero sempre in ambiente subacqueo e mentre prosegue la loro tettonizzazione, su questi terreni si formarono dei bacini di sedimentazione minori, nei quali si depongono sequenze di detriti silicoclastici che vanno a costituire i termini della cosiddetta Successione Epiligure. Queste formazioni sono contemporanee ad altre analoghe sequenze silicoclastiche che si depositarono sulle successioni di ambiente continentale. Dominio Sub-ligure E' un dominio di transizione tra quelli impostati su crosta oceanica e quelli di crosta certamente continentale, che mostra una sedimentazione basale analoga a quella dei bacini oceanici e una sedimentazione nella parte sommitale simile a quella dei domini continentali più esterni.

Nel territorio esaminato, lungo il margine pedecollinare, la successione delle unità litostratigrafiche affioranti è riferibile ai alcuni cicli sedimentari che hanno caratterizzato l'evoluzione geologica del margine appenninico:

- ciclo miocenico-Unità Epiliguri, Formazione di Bismantova (PAT), Marne del Termina (TER);
- ciclo pliocenico, Formazione delle Argille Azzurre (FAA);
- ciclo pliocene sup-pleistocene inf marino, Formazione delle Sabbie di Imola (IMO1/IMO2);
- ciclo quaternario continentale, Subsistema di Bazzano (AES6) e olocene, Subsistema di Ravenna (AES8) e Unità di Modena (AES8a).



Subsistema di Villa Verrucchio - AES7 (pleistocene sup.): depositi di conoide ghiaiosa e depositi intravallivi terrazzati, con ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati, localmente con copertura discontinua di limi argillosi. Il profilo della copertura di alterazione presenta uno spessore fino a 4/5 m. Si divide in Unità di Niviano (AES7a) e Unità di Vignola (AES7b).

Unità di Niviano - AES7a (pleistocene medio-sup): comune in tutto il fronte del margine appenninico comprende vari corpi sedimentari, prima di ambiente marino (sabbie con grado di cementazione variabile e bancate di arenarie fossilifere) e poi di ambiente di transizione

marino-continentale (depositi di conglomerati marini e di litotipi limo-argillosi di conoide fluviale). Ricca di numerosi fossili di vertebrati e mammiferi, testimonia la regressione marina in atto in questa epoca e la graduale emersione della catena appenninica con sviluppo delle prime conoidi alluvionali.

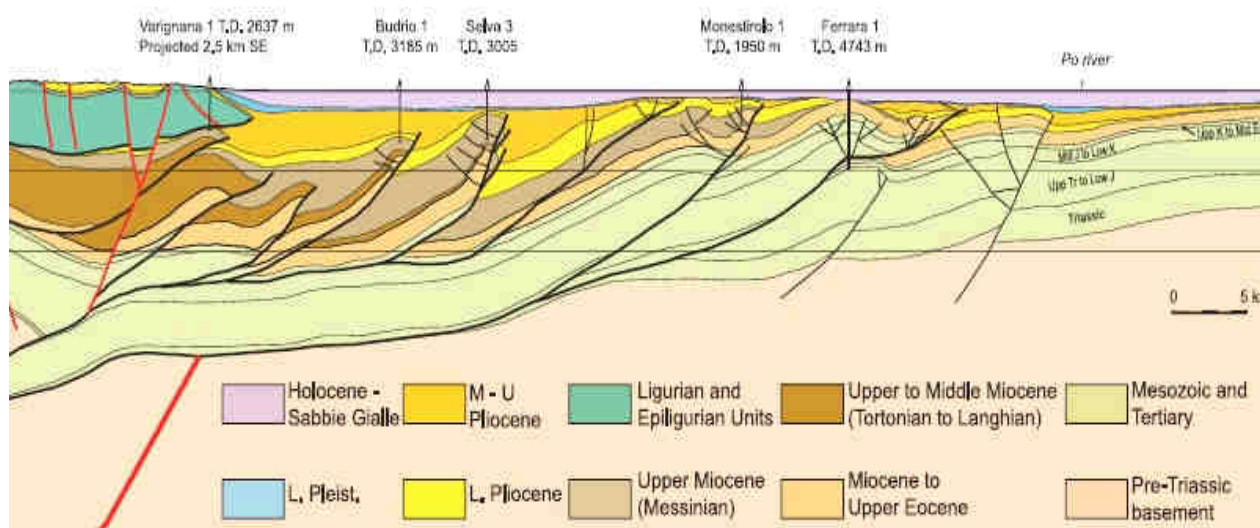
Unità di Vignola - AES7b (quaternario): depositi di conoide ghiaiosa e depositi intravallivi terrazzati, con ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati, localmente con copertura discontinua di limi argillosi. Il profilo della copertura di alterazione presenta uno spessore fino a 2 m.

Subsistema di Ravenna - AES8 (quaternario): depositi continentali ghiaioso-sabbiosi o limosi nei terrazzi fluviali, copertura limosa e argillosa alla base dei versanti. Al tetto suoli e paleosuoli alterati. Il contatto di base è discordante sulle unità più antiche. Lo spessore massimo dell'unità è inferiore a 20 m.

Unità di Modena - AES8a (olocene recente): depositi ghiaiosi passanti a sabbie e limi di terrazzo alluvionale. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. Lo spessore massimo dell'unità è di alcuni metri.

In particolare il sito in esame insiste sui depositi alluvionali attribuibili al Subsistema di Ravenna AES8 e costituiti da alternanze di terreni limo-argillosi consistenti con intercalazioni di limi argilloso sabbiosi e/o sabbie limose mediamente addensati, in corpi lentiformi, passanti a sabbie ghiaiose/ghiaie addensate.

Dal punto di vista strutturale, il substrato profondo di questa parte della pianura alluvionale è caratterizzata da strutture tettoniche con asse parallelo alla catena appenninica, che ne rappresentano la sua continuazione sepolta. La media e bassa pianura sono inoltre caratterizzate da strutture plicative sepolte associate a famiglie di faglie, tra cui le principali sono le anticlinali di Anzola, Budrio, Imola, Selva e Lugo e le sinclinali di Bologna e Conselice. Sono anche presenti fenomeni tettonici recenti o attuali, che molto probabilmente continuano anche al di sotto della copertura alluvionale. A seconda della maggiore o minore importanza di tali dislocazioni si sono venuti a formare, tra valli contigue, blocchi a sollevamento differenziato, che hanno influenzato l'idrografia e lo sviluppo delle conoidi. Partendo dal margine appenninico, dove affiorano le formazioni argilose di età pliocenica, procedendo verso NE, si ha un rapido abbassamento dei terreni marini del substrato: all'altezza della Via Emilia la base del Pliocene è posta a profondità variabile che può raggiungere anche i 3000 m, mentre quella del Quaternario i 1500. A nord di questa zona, separata da una faglia diretta longitudinale, si sviluppa una vasta struttura sinclinale (sinclinale di Reggio Emilia-Bologna) che costituisce una delle più profonde depressioni della Pianura Padana.



In generale il substrato marino di età pliocenica e plio-pleistocenica è interessato da un complicato reticolato di faglie e tutta quest'area costituisce uno degli alti strutturali più elevati della zona assiale della Pianura Padana.

La coltre alluvionale di copertura risente anch'essa della situazione profonda, sia per il suo spessore notevolmente variabile, sia per gli effetti di movimenti neotettonici.

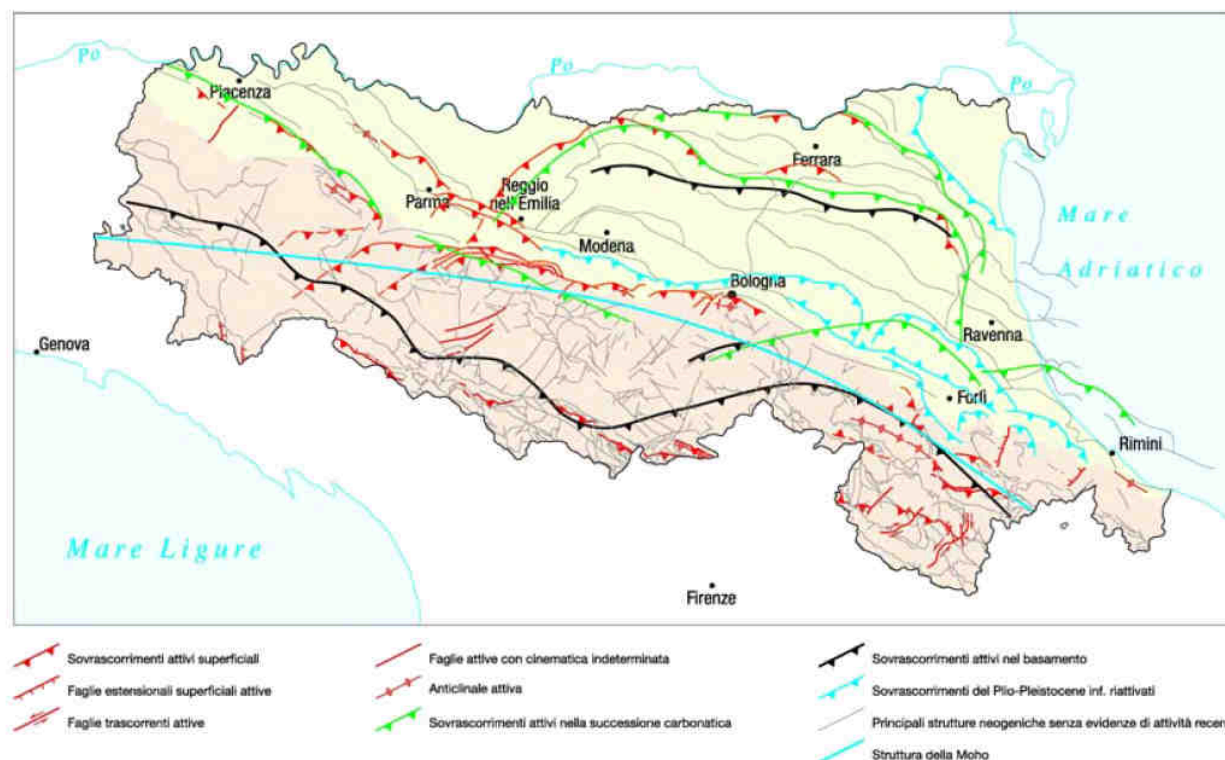


Figura 1 - Attività neotettonica in Emilia-Romagna (da: "Note illustrative - Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna" - Servizio Geologico Sismico e dei Suoli - Regione Emilia-Romagna - 2004)

Sotto il profilo tettonico le recenti ricerche avviate dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna, sintetizzate nella "Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna" (2004), hanno messo in evidenza gli elementi strutturali del territorio, riconosciuti sulla base di dati morfologici e geologici. La fascia di alta pianura si inserisce in un contesto geodinamico caratterizzato da una tettonica a stile compressivo, che ha determinato un generale raccorciamento del margine appenninico e dell'edificio padano. Tale raccorciamento si è prodotto attraverso due importanti fasci paralleli di strutture di embricazione sepolte aventi direzione NW-SE e vergenza verso NE, le cui superfici di distacco interessano la copertura mesozoica e terziaria. Il fascio più settentrionale, denominato Fronte di accavallamento esterno (External Thrust Front = ETF), appartiene all'arco delle "Pieghe Emiliane e Ferraresi" che costituiscono il fronte della catena appenninica, sepolto dai sedimenti quaternari padani, che circa all'altezza del Po sovrascorre verso nord sulla piattaforma padano-veneta.

Il fascio meridionale, coincidente con il margine morfologico appenninico, si sviluppa nel sottosuolo in corrispondenza dei terrazzi pre-wurmiani ed è denominato Fronte di accavallamento pedeappenninico (Pedeappenninic Thrust Front = PTF), evidenziato da morfostrutture tipiche delle strutture attive e dallo sviluppo di una piccola anticlinale di thrust. Anche questo fronte risulta coinvolto da discontinuità trasversali (linee) coincidenti con alcuni corsi d'acqua appenninici, che delimitano settori a diverso comportamento tettonico-sedimentario. L'attività recente ed attuale di tale struttura si manifesta nella morfologia, determinando il tilting di paleosuperfici (sia verso la pianura che verso i rilievi) e modificazioni sull'andamento idrografico locale. Infatti durante il sollevamento tettonico, mentre i corsi d'acqua principali mantengono il loro andamento originario, mostrando quindi relazioni di antecedenza rispetto all'anticlinale, i corsi d'acqua minori sono notevolmente influenzati dalla crescita dell'anticlinale. Di conseguenza tali corsi d'acqua subiscono talvolta deflessioni, mentre

in altri casi si osserva una inversione di drenaggio locale, con piccoli torrenti costretti a scorrere verso sud prima di essere catturati dal corso d'acqua principale.

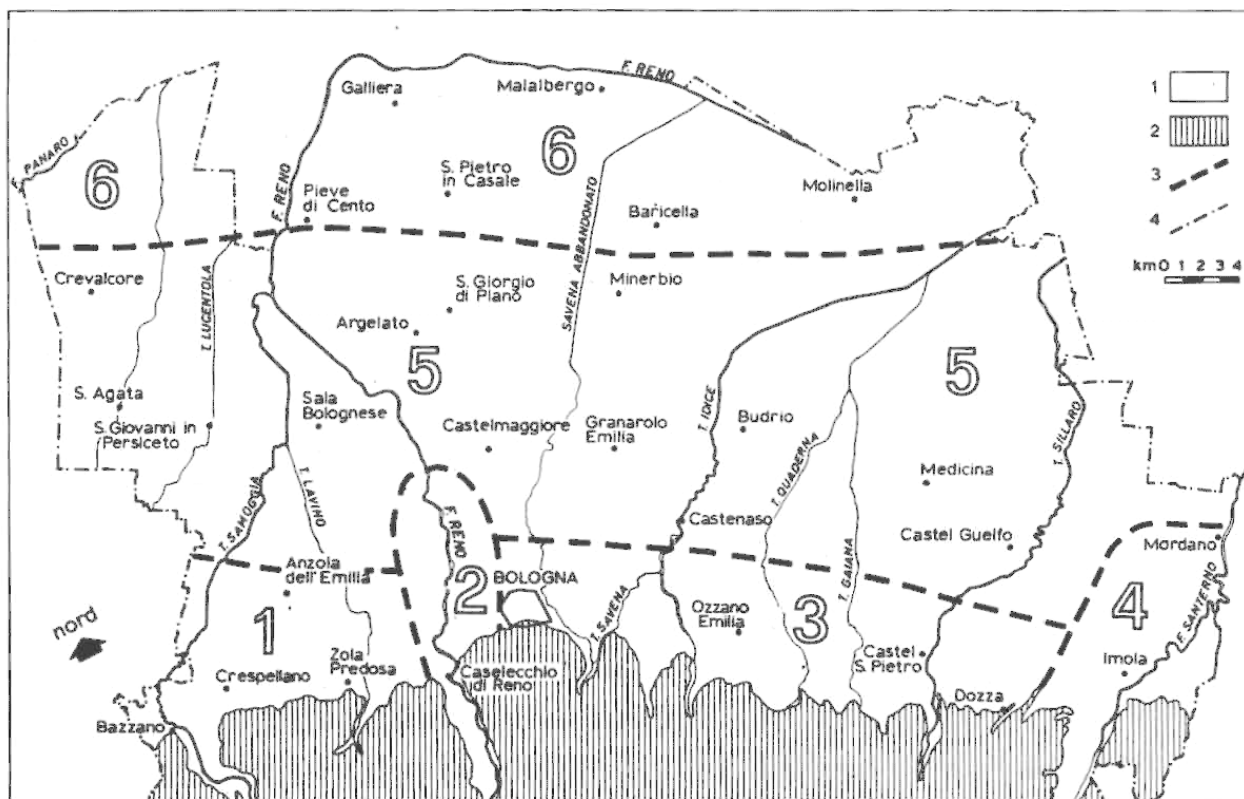


Fig. 9 - Settori idrogeologici. 1) pianura: depositi di conoide ed alluvioni fluviali (Olocene-Pleistocene); 2) zona collinare: sabbie, ghiaie, conglomerati, marne e argille grigio-azzurre con faune di età varia (Miocene, Pliocene, Pleistocene marino); 3) settori idrogeologici; 4) limiti di Provincia.

Dal punto di vista idrogeologico l'area in esame ricade al limite tra le unità idrogeologiche dell'alta e media, nelle conoidi minori dei torrenti Samoggia e Lavino, delimitate a est e a ovest dalle conoidi maggiori dei fiumi Panaro e Reno. Il bacino del Torrente Samoggia è parte del bacino interregionale del Fiume Reno ed è posizionato all'estremità ovest di esso. Il territorio del bacino confina ad ovest con il bacino del Panaro, ricompreso nel bacino nazionale del Po; a sud, ad est ed a nord con il bacino del Reno e dei suoi affluenti montani. Lo spartiacque del bacino, da valle verso monte e da ovest verso est, corre lungo l'argine sinistro del Torrente Samoggia, dal punto in cui tale argine si unisce all'argine sinistro di Reno fino al centro abitato di Bazzano dove terminano le arginature dopo uno sviluppo di circa 31 chilometri. Da Bazzano lo spartiacque prosegue verso sud per raggiungere le massime quote a Monte Acuto e Monte Pigna. Fino a questo punto lo spartiacque tra Samoggia e Panaro è anche spartiacque del Bacino Interregionale del Fiume Reno. Il Torrente Lavino, più grande affluente del Torrente Samoggia, presenta un proprio distinto bacino montano che si chiude presso il centro abitato di Zola Predosa per continuare verso valle lungo l'argine destro del Torrente Lavino fino al suo sbocco nel Torrente Samoggia, in località Forcelli. A partire da queste zone al limite tra l'alta e la media pianura, il sistema acquifero, monostrato per la parte a monte, viene frazionato a causa del comparire di corpi sedimentari lenticolari limo-argillosi, che procedendo verso la bassa pianura aumentano in numero e spessore, creando vari livelli acquiferi separati tra loro o collegati esclusivamente per il fenomeno della drenanza. Il limite inferiore dell'acquifero si individua invece al contatto fra i depositi e le argille Plioceniche che costituiscono il basamento della Pianura Padana e sono pressoché impermeabili. Dallo studio del moto della falda emergono l'elevata trasmissività delle aree di conoide, separate tra loro da marcate linee di drenaggio fluviale ed alimentate dai principali corsi d'acqua della pianura, generalmente fino al limite tra la media e la bassa pianura.

3. Metodologia d'indagine delle prove in sito

L'indagine geognostica di campagna per la caratterizzazione dei terreni è stata eseguita il giorno 23/10/2018 nell'area in oggetto, mediante n. 2 prove penetrometriche statiche CPT/dinamiche DPSH che hanno raggiunto la profondità massima di -9 m rispetto all'attuale piano campagna del piazzale parcheggio e area verde adiacente, per la presenza di orizzonti di ghiaie addensate.

L'ubicazione e la modalità di esecuzione delle indagini sono state vincolate dalla presenza di materiali di riporto e/o gettate di cemento, al di sotto dell'area verde circostante il fabbricato esistente, oggetto di ampliamento, che hanno impedito il posizionamento del penetrometro nonostante i numerosi tentativi eseguiti.

Al momento dell'esecuzione dell'indagine non è stata rilevata la presenza della falda libera superficiale nei fori di prova, che risultavano asciutti.

Inoltre è stata svolta nel sito un'indagine geofisica, basata sulla registrazione a stazione singola del microtremore sismico con strumentazione TROMINO, per misurare la frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo, valutare i possibili effetti sismici di sito e definire l'andamento della V_s , come richiesto dalle normative vigenti.



3.1 Indagini geognostiche - Prove penetrometriche statiche CPT

Per l'esecuzione dell'indagine di campagna si è utilizzato un penetrometro statico PAGANI TG63, attrezzato con punta meccanica Begemann (punta conica standard \varnothing 3.57 cm e angolo d'apertura 60° , con manicotto mobile di 150 cm^2 , infissa nel terreno ad una velocità costante di 2 cm/sec).

I dati acquisiti attraverso una cella estensimetrica di carico hanno permesso di determinare:

- R_p resistenza alla punta in Kg/cm^2
- R_{lt} resistenza laterale totale (punta+manicotto) in Kg/cm^2
- R_l resistenza laterale locale (al manicotto) in Kg/cm^2

Successivamente il processo di discretizzazione dei parametri di campagna, ha permesso la determinazione di:

- classificazione litologica (Begemann - Schmestron)
- peso specifico medio del terreno naturale

- peso specifico efficace
- pressione litostatica eff. al centro dello strato
- coesione non drenata
- angolo d'attrito
- densità relativa
- coefficiente di compressibilità di volume
- modulo di reazione orizzontale
- permeabilità
- liquefazione

I grafici delle curve di R_p e R_l sono riportati nell'allegato A. Di seguito si descrivono alcune delle modalità seguite per la determinazione delle grandezze fisiche considerate.

▪ Peso specifico naturale ed efficace (γ_t , γ'_t)

Questo parametro è determinato in base al valore medio di R_p applicando relazioni ottenute sperimentalmente sui litotipi della pianura Padana. Definito γ_t il peso specifico naturale per il terreno sotto falda e γ_w il peso specifico dell'acqua, si applica la relazione $\gamma'_t = \gamma_t - \gamma_w$, che considera la spinta di Archimede dovuta all'elemento liquido.

▪ Pressione litostatica efficace (σ'_v)

Il calcolo della pressione litostatica efficace è effettuato applicando la relazione:

$\sigma'_v = \sum \gamma_{ti} \cdot h_{im} + \sum \gamma_{ti} \cdot h_{im}$ riferita alla pressione relativa al punto medio dello strato considerato (h_m). E' considerata la falda freatica se presente. Infatti si ha ($\sigma'_v = \sigma - u$) dove " σ " è il carico totale (= $\gamma \cdot z$ in condizioni idrostatiche) e " u " è la pressione interstiziale (= $\gamma_w \cdot z_w$ in condizioni idrostatiche).

▪ Coesione non drenata (C_u)

Si utilizza la relazione di De Beer che consente il calcolo della C_u in base al valore di R_p per i livelli coesivi saturi (coesione non drenata apparente, cioè la resistenza al taglio dei terreni a comportamento coerente in situ).

▪ Angolo d'attrito (θ°)

La determinazione dell'angolo d'attrito per i terreni incoerenti segue la metodologia di Durgunoglu e Mitchell, applicando l'equazione $\theta^\circ = f(R_p; \sigma'_v)$. Per i terreni coerenti in condizioni non drenate si utilizza la relazione (Durgunoglu): $\theta^\circ = 14.4 + 4.8 \ln(q_c) - 4.5 \ln(\sigma'_v)$.

▪ Densità relativa (D_r)

Per questo parametro si utilizza il diagramma proposto da Jamiolkowski mod.

▪ Coefficiente di compressibilità di volume (M_v)

Si utilizzano le correlazioni di Buisman e Sanglerat che collegano il parametro al valore di R_p .

▪ Modulo di reazione orizzontale (K_o)

E' ricavato utilizzando la relazione: $K_o = C_h \cdot R_p / C_k$ dove C_h varia fra 0.1 a 0.3 e C_k dipende dal tipo di terreno e varia da 1 a 4.

▪ Calcolo della permeabilità (K_p)

Questo parametro è determinato in base ai parametri di q_c e di F_r , applicando relazioni ottenute sperimentalmente sui litotipi della pianura Padana. Campo di validità da 10^{-2} cm/s per le sabbie e 10^{-8} cm/s per le argille.

▪ Liquefazione

Per la verifica alla suscettibilità alla liquefazione si utilizza il metodo di Seed e Idriss (1982), che confronta le caratteristiche meccaniche dei terreni ottenute in base ai risultati delle prove in sito e l'eventuale potenzialità nel medesimo sito del fenomeno della liquefazione, a seguito di una sollecitazione sismica stimata attraverso la massima accelerazione attesa in superficie. Per la valutazione del rapporto di resistenza ciclica CRR il metodo prevede l'utilizzo di un abaco, in cui in ordinata è riportato il rapporto tensionale ciclico CSR (carico sismico) e in ascissa la resistenza del terreno stimata mediante le prove in sito. Per i terreni coerenti non viene effettuata nessuna verifica per la suscettibilità alla liquefazione. Per i terreni incoerenti vengono calcolati il coefficiente C_2 (rapporto di sforzo ciclico del terreno) ed il coefficiente C_1 (relativo alla curva di magnitudo in caso di evento sismico). Per $C_1 > C_2$ non si ha la liquefazione, viceversa il livello di terreno esaminato è suscettibile alla liquefazione.

3.2 Indagini geognostiche - Prove penetrometriche dinamiche DPSH

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica per tratti consecutivi δ , misurando il numero di colpi N necessari all'avanzamento di ogni singolo tratto δ . Gli elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono:

- peso massa battente M ;
- altezza libera caduta H ;
- punta conica: diametro base cono D , area base A (angolo di apertura α);
- avanzamento (penetrazione) δ ;
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici, si rileva una prima suddivisione in quattro classi in base al peso M della massa battente:

- tipo leggero DPL;
- tipo medio DPM;
- tipo pesante DPH;
- tipo superpesante DPSH.

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	peso della massa M (kg)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	$M \geq 60$

La maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi N_{SPT} ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con N_{SPT} . Il passaggio viene dato da $N_{SPT} = \beta_t N$ dove:

$$\beta_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q_{SPT} è quella riferita alla prova SPT. L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

- M = peso massa battente;
- M' = peso aste;
- H = altezza di caduta;
- A = area base punta conica;
- δ = passo di avanzamento.

La valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd viene calcolata mediante la Formula Olandese:

$$Rpd = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]} \quad \text{dove}$$

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

Inoltre $(N_1)_{60}$ è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

$$(N_1)_{60} = C_N \times N_{60} \text{ con } C_N = (P_a / \sigma'_{vo})^{1/2} \quad C_N < 1.7 \quad (\text{Liao e Whitman 1986})$$

dove $P_a = 101.32 \text{ kPa}$ e $N_{60} = N_{5PT} \times (ER/60) \times C_s \times C_r \times C_d$ con:

- $ER/60$: Rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%;
- C_s = Parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente);
- C_d = Funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm);
- C_r = Parametro di correzione funzione della lunghezza delle aste.

E' stato utilizzato uno strumento che risponde agli standard DPSH-ISSMFE, le cui caratteristiche tecniche e formule di correlazione sono di seguito riportate:

Caratteristiche Tecniche-Strumentali DPSH TG 63-100 PAGANI (Dinamic Probing Super Heavy)

Peso Massa battente	63,5 Kg	Profondità giunzione prima asta	0.40 m
Altezza di caduta libera	0.75 m	Avanzamento punta	0.20 m
Peso sistema di battuta	0.63 Kg	Numero colpi per punta	N(20)
Diametro punta conica	51.00 mm	Coeff. Correlazione	1.472
Area di base punta	20.43 cm ²	Rivestimento/fanghi	No
Lunghezza delle aste	1 m	Angolo di apertura punta	60°
Peso aste per metro	6,31 Kg/m		

3.3 Indagine geofisica - Misura del microtremore sismico

Una strategia efficace di difesa dai terremoti necessita di accurate valutazioni preventive della vulnerabilità sismica, determinata essenzialmente dall'instabilità dei suoli (frane, liquefazione dei terreni) e dagli effetti di sito. Gli effetti di sito sono amplificazioni locali delle onde sismiche dovute a particolari condizioni geologiche e topografiche, che portano al fenomeno della risonanza del terreno. Se la frequenza di risonanza del suolo coincide con quella propria degli edifici (fenomeno della doppia risonanza), si produce un'amplificazione delle onde sismiche molto grande e vengono indotte sollecitazioni con forte potere distruttivo: l'amplificazione sismica è infatti la prima causa di danno e distruzione durante un terremoto. Il rumore sismico generato dai fenomeni atmosferici (moti oceanici, del vento ecc.) e dall'attività antropica, è presente ovunque sulla superficie terrestre; è detto anche microtremore, poichè riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti. Il rumore di fondo agisce da funzione di eccitazione per le risonanze specifiche degli edifici e del sottosuolo, rendendole chiaramente visibili nello spettro di rumore, analogamente a quanto avviene durante un terremoto, che si può immaginare come un episodio di rumore fortissimo con ampiezze sino a 10^{10} volte maggiori del microtremore. La metodologia di misura del microtremore sismico mediante strumentazione TROMINO®, permette la misura immediata della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo e degli edifici, oltre a stimare in maniera rapida la stratigrafia superficiale e la V_s , come richiesto dalle normative antisismiche vigenti. La tecnica maggiormente consolidata per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico generato in un sito, è quella dell'analisi dei rapporti spettrali tra le componenti del moto sismico orizzontali e verticali (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V - Nogoshi e Igarashi, 1970). Il codice utilizzato per la creazione di curve H/V sintetiche si basa sulla simulazione del campo di onde di superficie di Rayleigh e Love in sistemi multistrato a strati piani e paralleli (Aki, 1964 - Ben-Menahem e Singh, 1981), considerando che l'onda sismica viene parzialmente riflessa dall'interfaccia che separa due mezzi (litotipi) a rigidità differente, con la determinazione di un contrasto di impedenza. L'onda riflessa interferisce con quelle incidenti sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza), quando la lunghezza dell'onda incidente è 4 volte (o multipli dispari) lo spessore H del primo strato: la frequenza fondamentale di risonanza F relativa alle onde S risulta pari a $F = V_s / 4H$.

4. Modellazione geotecnica del volume significativo di terreno

In funzione del tipo di opera, di intervento e della complessità del contesto geologico nel quale si inserisce l'opera, specifiche indagini saranno finalizzate alla documentata ricostruzione del modello geologico. Il modello geologico deve essere sviluppato in modo da costituire elemento di riferimento per il progettista per inquadrare i problemi geotecnici e per definire il programma delle indagini geotecniche. La caratterizzazione e la modellazione geologica del sito devono essere esaurientemente esposte e commentate in una relazione geologica, che comprende, sulla base di specifici rilievi ed indagini, l'identificazione delle formazioni presenti nel sito, lo studio dei tipi litologici, della struttura del sottosuolo e dei caratteri fisici degli ammassi. La relazione geologica definisce il modello geologico del sottosuolo, illustra e caratterizza gli aspetti stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici, nonché i conseguenti livelli delle pericolosità geologiche. Le indagini geotecniche devono essere programmate in funzione del tipo di opera e/o di intervento e devono riguardare il volume significativo. Per volume significativo di terreno si intende la parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso. Le indagini devono permettere la definizione dei modelli geotecnici di sottosuolo necessari alla progettazione. Ai fini dell'analisi quantitativa di uno specifico problema, per modello geotecnico di sottosuolo si intende uno schema rappresentativo del volume significativo di terreno, suddiviso in unità omogenee sotto il profilo fisico-meccanico, che devono essere caratterizzate con riferimento allo specifico problema geotecnico. Nel modello geotecnico di sottosuolo devono essere definiti i valori caratteristici dei parametri geotecnici, ovvero una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro per ogni stato limite considerato. I valori caratteristici delle proprietà fisiche e meccaniche da attribuire ai terreni devono essere dedotti dall'interpretazione dei risultati di specifiche prove di laboratorio su campioni rappresentativi di terreno e di prove e misure in sito. Nel caso di costruzioni o di interventi di modesta rilevanza, che ricadano in zone ben conosciute dal punto di vista geotecnico, la progettazione può essere basata su preesistenti indagini e prove documentate, ferma restando la piena responsabilità del progettista su ipotesi e scelte progettuali.

L'elaborazione dei dati ottenuti dall'indagine di campagna ha permesso di effettuare un riconoscimento di massima dei terreni attraversati e di ottenere indicazioni sulla parametrizzazione geotecnica dei terreni studiati, di seguito riportata.

Interpretazione stratigrafica e parametrizzazione geotecnica CPT n. 1

Prof. Terreno ml		Gamma kg/m ³	Gamma' kg/m ³	Sigma' kg/cm ²	CU kg/cm ²	FI °	DR %	Mv cm ² /Kg	K oriz kg/cm ³	Perm. cm/sec
3.40	Limo argil-sabbioso adde	2000	2000	0.680	2.584	28	0	0.0064	3.4902	1.0e-3
5.00	Sabbia argil-limoso adde	1700	1700	0.952	0.000	23	38	0.0158	2.8083	1.6e-2
7.80	Limo argil-sabbioso adde	2004	2004	1.513	2.599	24	0	0.0062	3.5667	1.9e-3
8.20	Ghiaia mediamente addens	1800	1800	1.585	0.000	29	100	0.0020	16.4250	7.1e-1

Si è proceduto alla parametrizzazione dell'indagine geognostica CPT secondo il metodo di Searle, che permette una definizione più dettagliata dei vari livelli di terreno studiati.

Sulla base dell'indagine di campagna e delle successive discretizzazioni è stato possibile schematizzare i valori medi di resistenza alla punta R_p e resistenza laterale R_l , espressi in kg/cm^2 , e il rapporto q_c/f_s .

Dati medi prova discretizzata CPT n. 1

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. q_c/f_s
3.40	52.35	2.33	22.51
5.00	42.12	1.06	39.80
7.80	53.50	2.14	24.97
8.20	328.50	0.69	476.09

Di seguito si riportano i principali parametri geotecnici ricavati dall'elaborazione delle indagini geognostiche DPSH. Per la caratterizzazione completa si rimanda ai dati in allegato A.

PARAMETRI GEOTECNICI DPSH 1

Peso unità di volume (t/m³)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Meyerhof ed altri
[1] - Materiali di riporto	26	0,40	2,12
[2] - Strato	4	1,20	1,70
[3] - Strato	3	6,20	1,63
[4] - Strato	5	8,40	1,76
[5] - Strato (ghiaia)	57	9,00	1,80

Peso unità di volume saturo (t/m³)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Meyerhof ed altri
[1] - Materiali di riporto	26	0,40	2,25
[2] - Strato	4	1,20	1,87
[3] - Strato	3	6,20	1,86
[4] - Strato	5	8,40	1,88
[5] - Strato (ghiaia)	57	9,00	1,80

Coesione non drenata (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	De Beer
[1] - Materiali di riporto	26	0,40	/
[2] - Strato	4	1,20	0,50
[3] - Strato	3	6,20	0,38
[4] - Strato	5	8,40	0,63
[5] - Strato (ghiaia)	57	9,00	/

Angolo di resistenza al taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Meyerhof (1956)
[1] - Materiali di riporto	26	0,40	/
[2] - Strato	4	1,20	21
[3] - Strato	3	6,20	21
[4] - Strato	5	8,40	21
[5] - Strato (ghiaia)	57	9,00	36

Densità relativa

	Nspt	Prof. Strato (m)	Skempton (1986)
[1] - Materiali di riporto	26	0,40	/
[2] - Strato	4	1,20	18
[3] - Strato	3	6,20	15
[4] - Strato	5	8,40	21
[5] - Strato (ghiaia)	57	9,00	87

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Buisman-Sanglerat
[1] - Materiali di riporto	26	0,40	/
[2] - Strato	4	1,20	50,00
[3] - Strato	3	6,20	37,50
[4] - Strato	5	8,40	62,50
[5] - Strato (ghiaia)	57	9,00	570,00

Modulo di Young (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Apollonia
[1] - Materiali di riporto	26	0,40	/
[2] - Strato	4	1,20	40,00
[3] - Strato	3	6,20	30,00
[4] - Strato	5	8,40	50,00
[5] - Strato (ghiaia)	57	9,00	570,00

In base all'elaborazione delle indagini effettuate, la stratigrafia dell'area risulta costituita da depositi alluvionali attribuibili al Subsintema di Ravenna AES8 e costituiti da alternanze di limi argilloso sabbiosi e sabbie argilloso-limose mediamente addensati passanti localmente a ghiaie

da mediamente addensate ad addensate a partire dalla profondità di -8/-9 m dall'attuale piano campagna del piazzale parcheggio e area verde adiacente.

Al momento dell'esecuzione dell'indagine non è stata rilevata la presenza della falda libera superficiale nei fori di prova, che risultavano asciutti (ottobre 2018).

Allo scopo di definire un modello geotecnico per il sito in esame in base alle elaborazioni delle indagini effettuate, nella tabella seguente sono riportati i principali parametri geotecnici caratteristici delle unità litologiche individuate:

SINTESI PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI

Unità	Profondità -m da p.c.	γt_k (kg/m ³)	$\gamma' t_k$ (kg/m ³)	Cu_k (kg/cm ²)	φ°_k	Dr% (livelli incoerenti)	Ed_k (kg/cm ²)
1	0 - 0.40	terreno vegetale e materiali di riporto e/o cemento					
2	0.40 - 8	1860	1630	0.70	21	23	64
3	8 - 9	1800	1800	/	30	87	>500

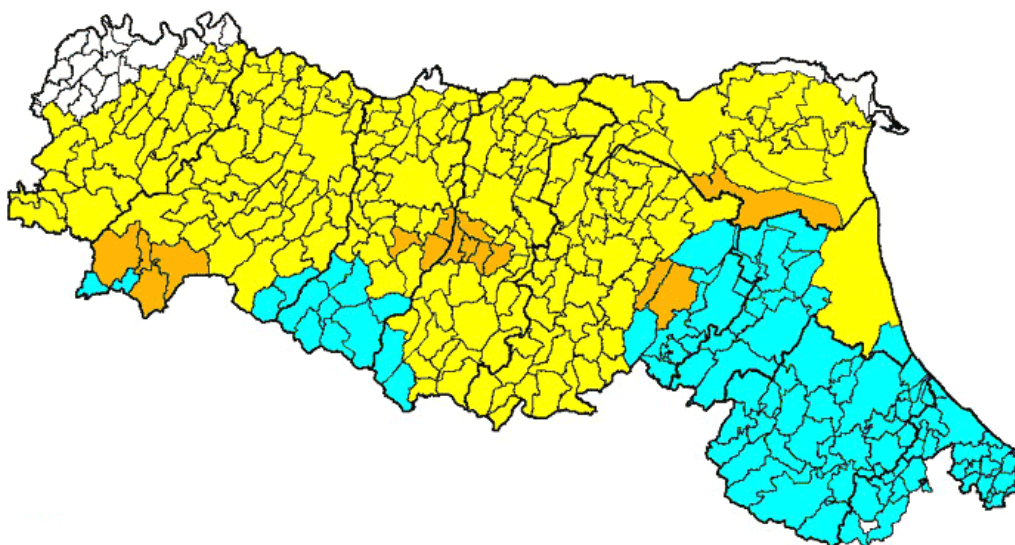
5. Modellazione sismica e pericolosità sismica di base del sito

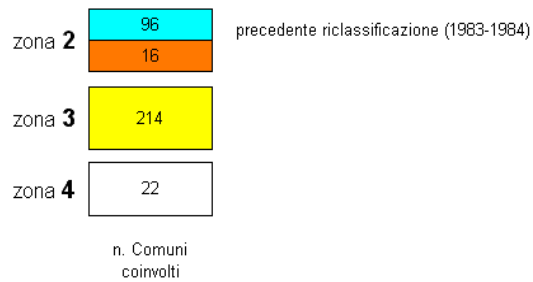
La valutazione del rischio sismico in aree ad estensione regionale, viene effettuata mediante la macro-zonazione sismica, definita come l'individuazione di aree che possono essere soggette, in un dato intervallo di tempo, ad un terremoto di una certa intensità. All'interno di queste aree si possono valutare, con maggiore dettaglio, le differenze di intensità massima dovute a differenti situazioni geologiche locali attraverso procedimenti di micro-zonazione sismica.

Tale procedimento è volto a prevedere e mitigare gli effetti di un evento sismico in una zona di dimensioni urbane, considerando la morfologia superficiale e del substrato, la sua costituzione, la presenza e la profondità della falda freatica e l'eventuale presenza di faglie.

Questa analisi recepisce le indicazioni applicative della Delibera di Giunta Regionale n. 2193/2015 attualmente in vigore. Si considera inoltre la classificazione sismica dei comuni della Regione Emilia Romagna riportata nella OPCM n. 3274 del 20/03/2003, secondo cui il comune di Zola Predosa rientra in zona 3.

Le 4 categorie di classificazione sono determinate in base alla pericolosità sismica.



Legenda

- Zona 1: sismicità alta
- Zona 2: sismicità media
- Zona 3: sismicità bassa
- Zona 4: sismicità molto bassa

L'Emilia-Romagna è interessata da una sismicità con terremoti storici di magnitudo massima compresa tra 5.5 e 6 della scala Richter. Si riporta di seguito un elenco degli eventi sismici più significativi per la storia sismica del sito di indagine:

Anno	Me	Gi	AREA	Imx	lo	Lat	Lon	Maw
1505	1	3	BOLOGNA	70	70	44.48	11.25	5.47
1508	10	18	FERRARA SUD		60	44.833	11.667	4.83
1561	11	24	FERRARA	65	55	44.78	11.45	4.63
1570	11	17	FERRARA	80	75	44.82	11.63	5.48
1574	3	17	FINALE EMILIA	70	70	44.833	11.294	5.12
1586	1	12	SPILAMBERTO		60	44.583	11	4.83
1666	4	14	BOLOGNA		60	44.5	11.333	4.83
1695	2	28	FERRARA	55	55	44.836	11.618	4.63
1743	5	29	FERRARA	65	65	44.836	11.618	5.03
1771	8	13	CAMUGNANO		60	44.167	11.167	4.83
1779	6	4	BOLOGNESE	70	65	44.45	11.52	4.97
1780	2	6	BOLOGNESE	65	55	44.62	11.32	4.85
1787	7	16	FERRARA	65	55	44.83	11.62	4.63
1796	10	22	EMILIA ORIENTALE	70	70	44.62	11.67	5.63
1801	10	8	BOLOGNA	55	55	44.498	11.34	4.63
1834	10	4	BOLOGNA	60	55	44.6	11.37	4.63
1850	9	18	MODENA	60	60	44.614	10.965	4.83
1854	6	16	CASTEL BOLOGNESE		70	44.333	11.75	5.17
1864	3	15	ZOCCA	65	65	44.337	11.059	5.03
1869	6	25	VERGATO	75	75	44.314	11.116	5.32
1878	3	12	BOLOGNESE	60	60	44.42	11.55	4.83
1878	11	9	CASTEL DEL RIO		70	44.25	11.5	5.17
1881	1	24	BOLOGNESE	70	65	44.32	11.35	5.14
1889	3	8	BOLOGNA	60	60	44.518	11.237	4.83
1892	12	29	CASTEL DEL RIO		60	44.167	11.5	4.83
1908	6	28	FINALE EMILIA SUD		60	44.8	11.3	4.83
1922	5	24	CENTO	45	35	44.862	11.517	4.5
1929	4	20	BOLOGNESE	80	70	44.47	11.13	5.55
1931	6	10	MODENESE	40	40	44.541	11.021	4.84
1934	9	18	VIGNOLA	40	40	44.495	11.012	4.5
1951	10	29	VALLE DEL PANARO	50	50	44.458	10.989	4.6
1956	4	26	PASSO FUTA		60	44.15	11.317	4.95
1957	8	27	ZOCCA	60	60	44.394	10.994	5.06
1962	5	11	CAMUGNANO		60	44.2	11.167	4.83

1964	9	5	RONCOBILACCIO	50	50	44.138	11.233	4.95
1966	5	26	MONTEVEGLIO		60	44.5	11.2	4.83
1967	10	1	FORMIGINE		50	44.567	10.95	4.52
1970	5	5	PAVULLO		60	44.35	10.85	4.83
1986	12	6	BONDENO	60	60	44.879	11.334	4.56
1995	8	24	APPENNINO BOLOGNESE	60	60	44.133	10.975	4.67
2012	1	25	POVIGLIO			44.854	10.538	4.9
2012	5	20	FINALE EMILIA			44.89	11.23	5.9
2012	5	20	FERRARESE			44.831	11.49	5.1
2012	5	29	MEDOLLA/BASSA MODENESE			44.85	11.09	5.8

(Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, CPTI- INGV, Bologna)

Nel PTCP della Provincia di Bologna, Rischio Sismico - Carta delle aree suscettibili di effetti locali - Tavola 2C foglio I a scala 1:65'000, si indica l'area come "potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche".

5.1 Suscettibilità alla liquefazione dei terreni incoerenti

Il rischio di liquefazione può essere stimato con metodi semplificati da prove SPT e da prove CPT mediante il calcolo dell'indice del potenziale di liquefazione LPI (o IL) di Iwasaki et al. (1982). Le prove CPT sono preferibili per la migliore ripetibilità delle misure e per la continuità dei profili penetrometrici. L'indice LPI (o IL) è un parametro di sintesi che quantifica i possibili effetti della liquefazione in superficie, tenendo conto della severità dell'azione sismica e dei parametri di profondità, spessore e valore del fattore di sicurezza degli strati liquefacibili. Le classi di potenziale di liquefazione, secondo la proposta di Sonmez (2003), sono le seguenti:

LPI	potenziale di liquefazione
0	non liquefacibile
$0 < LPI \leq 2$	basso
$2 < LPI \leq 5$	moderato
$5 < LPI \leq 15$	alto
$15 < LPI$	molto alto

L'elaborazione dell'indagine di campagna fornisce una verifica della suscettibilità alla liquefazione dei terreni incoerenti, individuati con la discretizzazione dei dati delle prove penetrometriche. Il calcolo viene eseguito secondo le modalità riportate nel par. 3.1, considerando un evento sismico avente una magnitudo pari al grado 6 della scala Richter, compatibile con i dati storici esistenti per l'area in esame (Servizio Geologico RER - INGV).

Caratteristiche sismiche CPT n. 1

Prof. Terreno	Coeff 1	Coeff 2	Liquefazione
3.40 Limo argil-sabbioso adde	Terreno coerente		
5.00 Sabbia argil-limoso adde	0.2322	0.0975	no
7.80 Limo argil-sabbioso adde	Terreno coerente		
8.20 Ghiaia mediamente addens	25.2053	0.0975	no

Per le indagini DPSH la resistenza alla liquefazione CRR, viene calcolata in funzione della magnitudo, del numero di colpi (corretto alla quota desiderata per tenere conto della pressione litostatica), della pressione verticale effettiva, della densità relativa. Si calcola quindi il rapporto di sforzo ciclico CSR con le correlazioni note tra CSR e $N_{1,60}$ (numero di colpi corretto). Il coefficiente di sicurezza alla liquefazione è dato da $F_s = CRR/CSR$, se $F_s > 1,3$ il deposito non è

liquefacibile. In assenza di litotipi incoerenti saturi a basso addensamento, come nel caso delle DPSH in esame, non si procede alla verifica.

Sulla base dei parametri geotecnici ricavati dalle indagini geognostiche e con le ipotesi sopra riportate, la verifica effettuata non evidenzia livelli di terreno incoerente potenzialmente soggetti a fenomeni di liquefacibilità ($LPI = 0$).

In base alle NTC, Ordinanza RER 70/2012, DGR 2193/2015, in assenza di condizioni predisponenti alla potenziale liquefazione dei terreni, i fattori di amplificazione sismica per l'area in esame possono essere valutati secondo le tabelle allegate alla DGR 2193/2015.

La valutazione dei cedimenti post-sismici nei terreni alluvionali della Pianura Padana risulta poco significativa, in quanto si tratta di terreni già consolidati per desaturazione sedimentaria e inoltre già sottoposti a diversi eventi sismici. Per produrre un calcolo significativo e realistico di tali cedimenti, sarebbe necessario sottoporre a carichi ciclici crescenti e decrescenti i terreni considerati, mediante prove di laboratorio su campioni indisturbati prelevati in sito. In base all'elaborazione delle indagini geognostiche, in assenza di rilevanti spessori (≥ 5 m) terreni granulari sciolti o poco addensati o di terreni coesivi poco consistenti o molto soffici, si ritiene di poter ragionevolmente escludere l'eventuale insorgere di cedimenti post-sismici nei terreni considerati.

5.2 Misura del microtremore sismico

La metodologia di misura del microtremore sismico mediante strumentazione TROMINO®, permette la misura immediata della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo e degli edifici, oltre a stimare in maniera rapida la stratigrafia superficiale e la V_{s30} , come richiesto dalle normative antisismiche vigenti. L'elaborazione dei dati, acquisiti con tempi di registrazione di 14 min con una frequenza di campionamento di 128 Hz, permette di evidenziare, sotto forma di picchi nello spettro del rapporto H/V, i contrasti di impedenza tra litotipi a rigidità diversa che determinano possibili fenomeni di amplificazione delle onde sismiche.

HVSR TROMINO – BIBLIOTECA COMUNALE DI ZOLA PREDOSA

Instrument: TRZ-0011/01-09

Start recording: 23/10/18 13:36:10 End recording: 23/10/18 13:50:11

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Trace length: 0h14'00". Analyzed 93% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

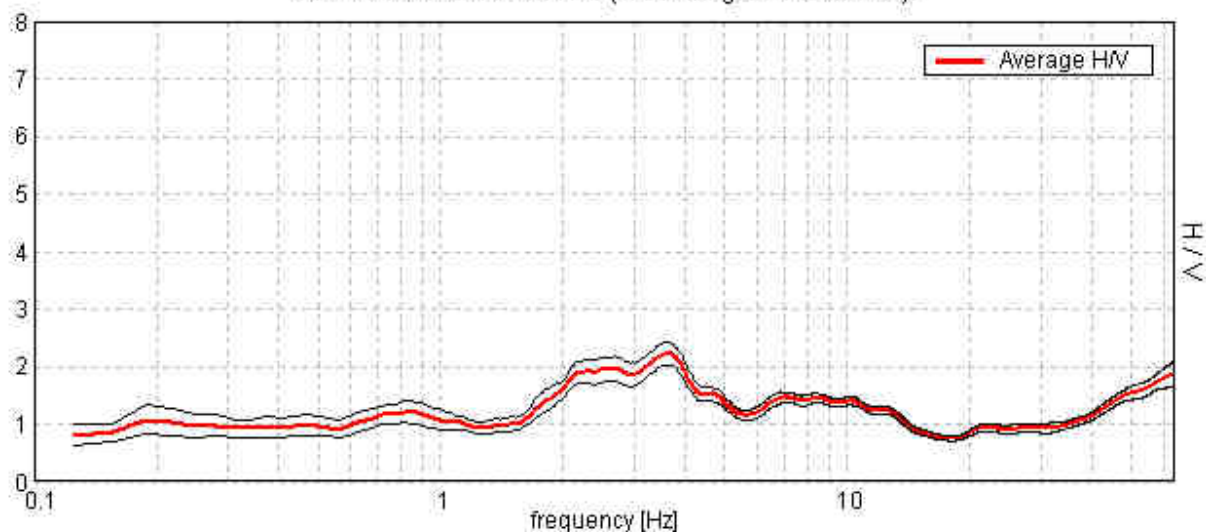
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

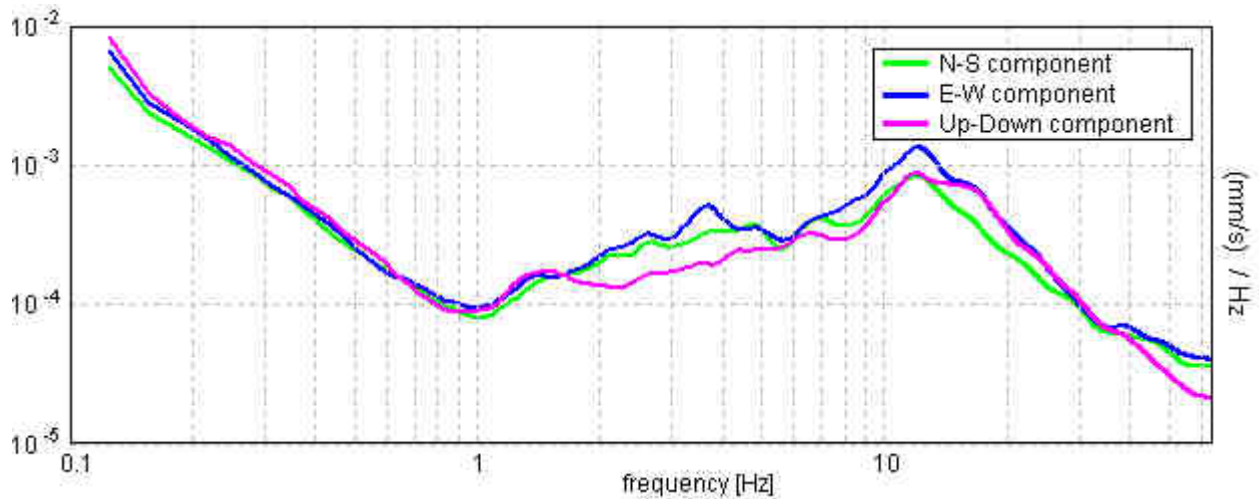
Smoothing: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE - HVSR

Max. H/V at 3.63 ± 0.95 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

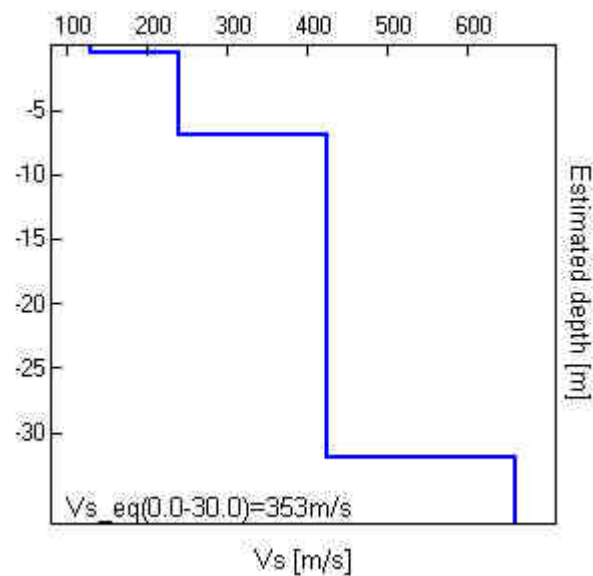
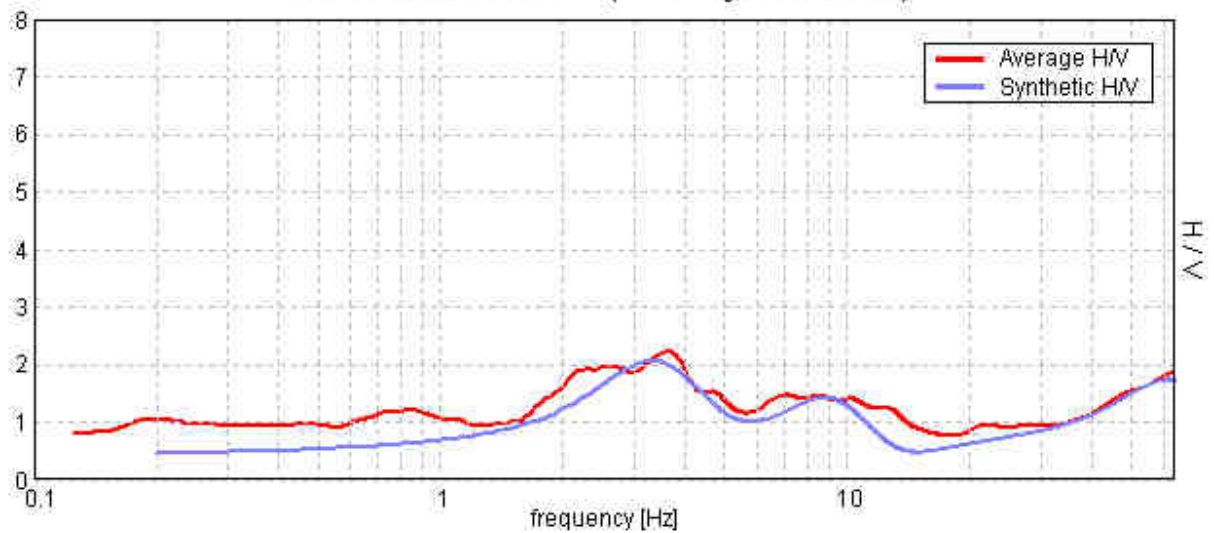


SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



H/V SPERIMENTALE - H/V SINTETICO

Max. H/V at 3.63 ± 0.95 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
0.50	0.50	132
7.00	6.50	240
32.00	25.00	425
inf.	inf.	660

$$V_{S,eq-30} = 353 \text{ m/s}$$

Dall'elaborazione della registrazione effettuata, nel grafico del rapporto H/V si individua un picco principale a circa 4 Hz (3.63 ± 0.95 Hz), corrispondente alla frequenza fondamentale di vibrazione del sito e riconducibile al passaggio litologico terreni superficiali/bancate ghiaiose a partire dalla profondità di circa -8/-9 m dal piano campagna, come riscontrato anche dalle indagini geognostiche cui si fa riferimento. La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con:

- h_i - spessore dell'i-esimo strato;
- $V_{S,i}$ - velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- N - numero di strati;
- H - profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro V_{S30} ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite come:

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

Determinata la velocità delle onde “S” dei vari strati, si ottiene il dato di $V_{SEQ-30} = 353 \text{ m/s}$, pertanto il substrato dell’area d’indagine è riconducibile alla categoria C che comprende “Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s”.

5.3 Azione Sismica

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) adottano un approccio prestazionale alla progettazione delle strutture nuove e alla verifica di quelle esistenti. Nei riguardi dell’azione sismica l’obiettivo è il controllo del livello di danneggiamento della costruzione a fronte dei terremoti che possono verificarsi nel sito di costruzione. La pericolosità sismica in un generico sito deve essere descritta in modo da renderla compatibile con le NTC e da dotarla di un sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici che in termini temporali; tali condizioni possono ritenersi soddisfatte se i risultati dello studio di pericolosità sono forniti:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima a_g e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC;
- in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km);
- per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno T_R ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni, estremi inclusi;

Le azioni di progetto si ricavano dalle accelerazioni a_g e dalle relative forme spettrali, che sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione di tre parametri:

- a_g = accelerazione orizzontale massima del terreno;
- 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.

Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno T_R considerati dalla pericolosità sismica, i tre parametri si ricavano riferendosi ai valori corrispondenti al 50esimo percentile ed attribuendo a:

- a_g il valore previsto dalla pericolosità sismica,
- F_0 e T_C^* i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica.

Le forme spettrali previste dalle NTC sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento e vite di riferimento. A tal fine occorre fissare la vita di riferimento V_R della costruzione, per individuare infine, a partire dai dati di pericolosità sismica disponibili, le corrispondenti azioni sismiche. La vita nominale di un’opera strutturale è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata.

Vita nominale per diversi tipi di opere - TIPI DI COSTRUZIONE	Vita Nominale
Opere provvisorie - Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva	≤ 10 anni
Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50 anni
Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100 anni

In presenza di azioni sismiche le costruzioni sono suddivise in classi d’uso:

- Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
- Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l’ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l’ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d’uso III o in

Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

▪ Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

▪ Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

CLASSE D'USO			
I	II	III	IV
Coefficiente d'uso C_u			
0.7	1	1.5	2



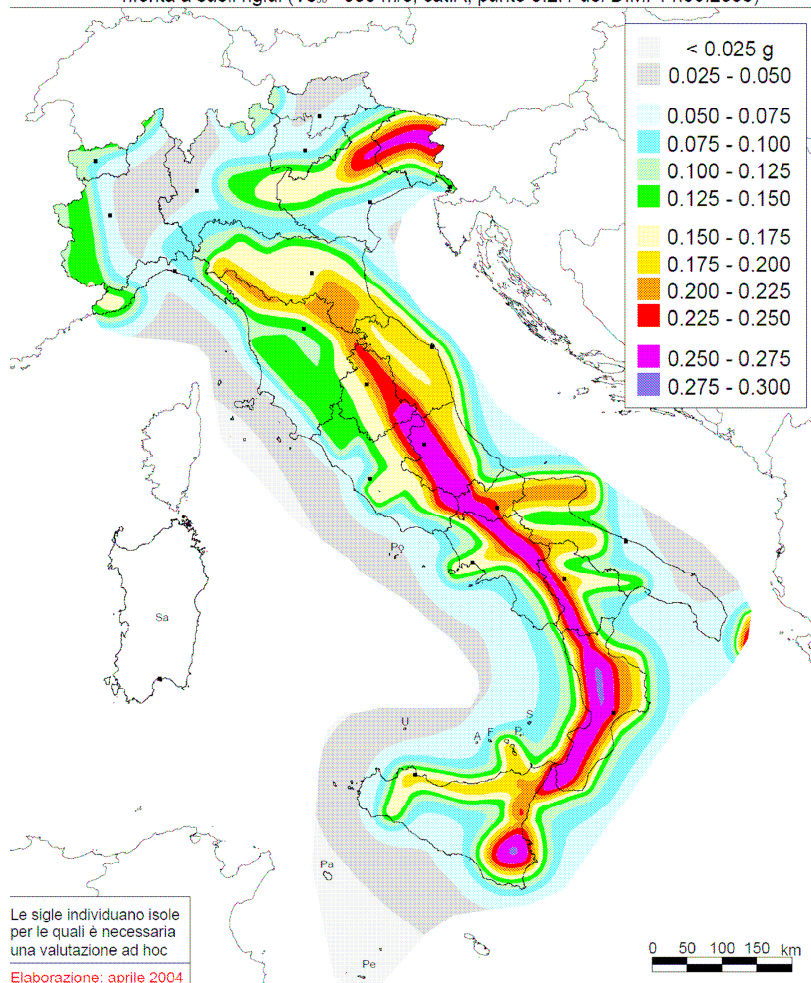
ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

Mapa di pericolosità sismica del territorio nazionale

(riferimento: Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n. 3519, All. 1b)

espressa in termini di accelerazione massima del suolo
con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni

riferita a suoli rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s; cat. A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005)



dott. Claudio Preci geologo

Consulenze Geologiche - Geotecniche - Geofisiche - Idrogeologiche - Ambientali

Studio: via W. Tabacchi, 125 - 41123 Modena - tel. 059/823020 - mob. 339/8264394 - e-mail precigeo@virgilio.it

Di seguito vengono riportati i dati sismici e i grafici degli spettri elastici SLU, ottenuti in relazione alle caratteristiche dell'opera considerata per un terreno di tipo C.

Coordinate geografiche del punto - tipo di interpolazione: media ponderata

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]

Latitudine (WGS84): 44,4907200 [°]
 Longitudine (WGS84): 11,2227300 [°]
 Latitudine (ED50): 44,4916600 [°]
 Longitudine (ED50): 11,2237300 [°]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	16728	44,512340	11,177390	4334,90
2	16729	44,513690	11,247430	3087,70
3	16951	44,463710	11,249300	3711,70
4	16950	44,462370	11,179270	4800,98

Parametri di pericolosità sismica per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

Punto 1

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,052	2,487	0,257
SLD	50	0,065	2,498	0,271
SLV	475	0,162	2,380	0,311
SLC	975	0,204	2,432	0,319

Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,052	2,485	0,258
SLD	50	0,065	2,495	0,271
SLV	475	0,162	2,400	0,313
SLC	975	0,207	2,438	0,315

Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,054	2,486	0,257
SLD	50	0,067	2,487	0,270
SLV	475	0,165	2,382	0,306
SLC	975	0,208	2,403	0,316

Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,054	2,490	0,257
SLD	50	0,067	2,492	0,269
SLV	475	0,164	2,396	0,296
SLC	975	0,207	2,400	0,313

Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,053	2,487	0,257
SLD	50	0,066	2,493	0,270
SLV	475	0,163	2,390	0,307
SLC	975	0,207	2,420	0,316

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

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

Coefficienti sismici stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,016	0,020	0,058	0,081
kv	0,008	0,010	0,029	0,041
amax [m/s ²]	0,782	0,969	2,349	2,838
Beta	0,200	0,200	0,240	0,280

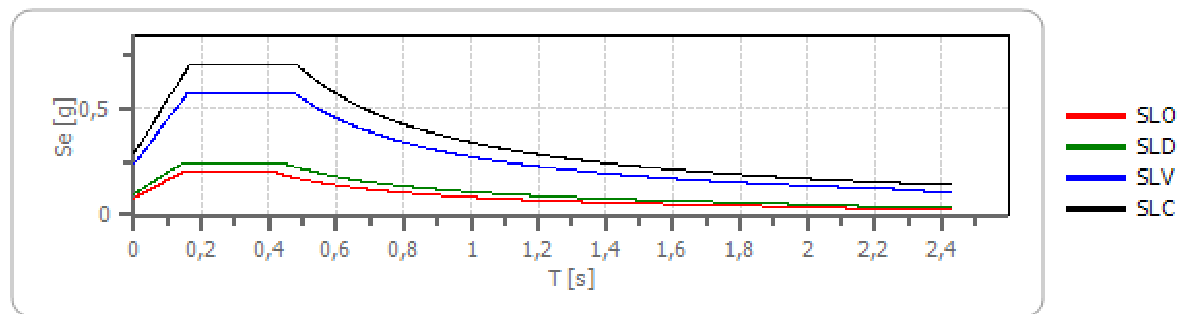
Coefficiente di smorzamento viscoso ξ :

5 %

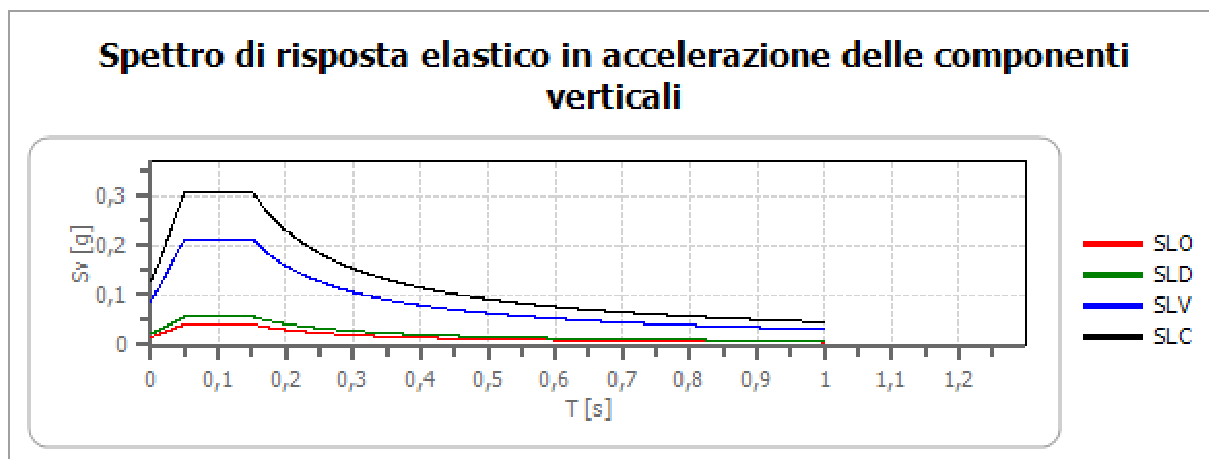
Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta = [10 / (5 + \xi)]^{(1/2)}$:

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	0,053	2,487	0,257	1,500	1,640	1,000	1,500	1,000	0,141	0,422	1,813	0,080	0,198
SLD	1,0	0,066	2,493	0,270	1,500	1,620	1,000	1,500	1,000	0,146	0,438	1,863	0,099	0,246
SLV	1,0	0,163	2,390	0,307	1,470	1,550	1,000	1,470	1,000	0,159	0,476	2,252	0,240	0,573
SLC	1,0	0,207	2,420	0,316	1,400	1,540	1,000	1,400	1,000	0,162	0,486	2,427	0,289	0,700



	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	0,053	2,487	0,257	1	1,640	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,017	0,041
SLD	1,0	0,066	2,493	0,270	1	1,620	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,023	0,057
SLV	1,0	0,163	2,390	0,307	1	1,550	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,089	0,212
SLC	1,0	0,207	2,420	0,316	1	1,540	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,127	0,307

In base alle NTC, Ordinanza RER 70/2012, DGR 2193/2015, in assenza di condizioni predisponenti alla potenziale liquefazione dei terreni, i fattori di amplificazione sismica per l'area in esame possono essere valutati secondo le tabelle allegate alla DGR 2193/2015:

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 ≤ 100 m da p.c.:

$V_{s30}(m/s) \rightarrow$	150	200	250	300	350	400
F.A. PGA	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.5
F.A. SI1	1.9	1.9	1.9	1.8	1.6	1.5
F.A. SI2	3.0	2.9	2.7	2.5	2.3	2.1
F.A. SI3	3.4	3.2	2.8	2.5	2.2	2.0

Pianura 1. Tabella dei Fattori di Amplificazione PGA, SI1, SI2 e SI3.

Considerando la V_{s30} del sito pari a $V_{SEQ-30} = 353$ m/s, si indicano per l'area in esame i seguenti valori per i fattori di amplificazione:

- F.A. P.G.A. = 1.6
- F.A. SI 1 = 1.6
- F.A. SI 2 = 2.3
- F.A. SI 3 = 2.2

6. Considerazioni conclusive

La presente relazione geologica è stata eseguita per conto della committenza al fine di verificare le caratteristiche dei terreni del primo sottosuolo di un'area in Comune di Zola Predosa, per il progetto di ampliamento dell'edificio sede della Biblioteca Comunale.

Le indagini geognostiche e geofisiche hanno permesso di definire le caratteristiche geologiche e sismiche dei terreni dell'area in oggetto e trarre le seguenti conclusioni.

Si precisa che l'ubicazione e la modalità di esecuzione delle indagini sono state vincolate dalla presenza di materiali di riporto e/o gettate di cemento, al di sotto dell'area verde circostante il fabbricato esistente, oggetto di ampliamento, che hanno impedito il posizionamento del penetrometro nonostante i numerosi tentativi eseguiti.

- L'area in esame si presenta fortemente antropizzata, la stratigrafia dell'area risulta costituita da depositi alluvionali attribuibili al Subsistema di Ravenna AES8 e costituiti da alternanze di limi argilloso sabbiosi e sabbie argilloso-limose mediamente addensati passanti localmente a ghiaie da mediamente addensate ad addensate a partire dalla profondità di -8/-9 m dall'attuale piano campagna del piazzale parcheggio e area verde adiacente.

- Al momento dell'esecuzione dell'indagine non è stata rilevata la presenza della falda libera superficiale nei fori di prova, che risultavano asciutti (ottobre 2018).

- Sulla base dei parametri geotecnici ricavati dall'indagine geognostica e con le ipotesi considerate, la verifica effettuata non evidenzia livelli di terreno incoerente potenzialmente soggetti a fenomeni di liquefacibilità ($LPI = 0$).

- Dall'elaborazione della registrazione del microtremore sismico, nel grafico H/V si individua un picco principale a circa 4 Hz (3.63 ± 0.95 Hz), corrispondente alla frequenza fondamentale di vibrazione del sito e riconducibile al passaggio litologico terreni superficiali/bancate ghiaiose a partire dalla profondità di circa -8/-9 m dal piano campagna, come riscontrato anche dalle indagini geognostiche cui si fa riferimento.

- In relazione alla classificazione sismica l'area rientra in zona 3 e il profilo stratigrafico del terreno è riconducibile alla categoria C che comprende "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s".

Da quanto sopra riportato, si ritengono sufficientemente documentate le condizioni geologiche geotecniche e sismiche del sito in esame, ai sensi del DM 17/01/2018 Norme Tecniche per le Costruzioni.

ALLEGATI

A. Elaborati delle indagini geognostiche

Modena, 14 ottobre 2018

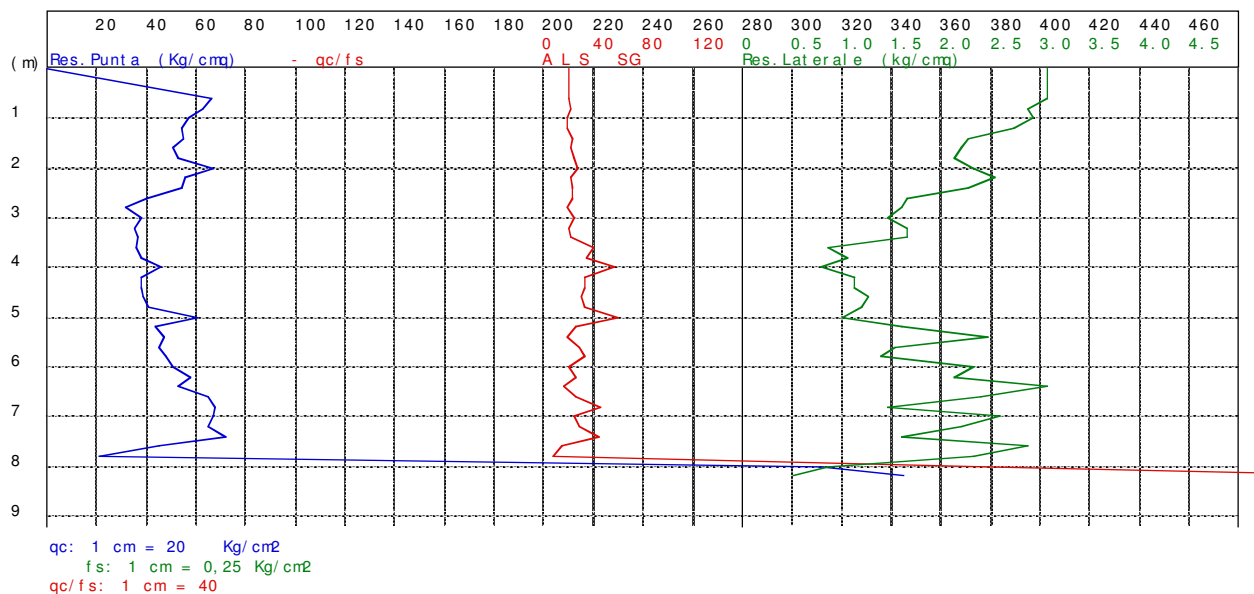
dott. geol. Claudio Preci



ELABORATI DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE

ALLEGATO A

CPT n°1 data: 23/10/2018 elaborazione n° 174
 Cantiere: Ampliamento biblioteca di Zola Predosa
 Committente: Comune di Zola Predosa (BO)



CPT n°1 data: 23/10/2018 elaborazione n° 174
 Cantiere: Ampliamento biblioteca di Zola Predosa
 Committente: Comune di Zola Predosa (BO)

Prof ml	Strati	Tipologia	Gamma kg/m³	Gamma' kg/m³	Sigma' V kg/cm²	CU kg/cm²	FI °	DR %	Mv cm²/Kg	K oriz Kg/cm³	Per m cm/sec
		Lim argil-sabbioso addensato medio									
			2000	2000	0.680	2.584	28	0	0.006367	3.4902	1.0e-3
3.40		Sabbia argil-limosa addensata media									
			1700	1700	0.952	0.000	23	38	0.015826	2.8083	1.6e-2
5.00		Lim argil-sabbioso addensato medio									
			2004	2004	1.513	2.599	24	0	0.006231	3.5667	1.9e-3
7.80											
8.20		Ghiaia mediamente addensata	1800	1800	1.585	0.000	29	100	0.002029	16.4250	7.1e-1

RELAZIONE TECNICA

CPT n°1 data:23/10/2018 elaborazione n° 174

Cantiere: Ampliamento biblioteca di Zola Predosa
 Committente: Comune di Zola Predosa (BO)

Livello di falda inferiore alla profondità raggiunta

Dati prova penetrometrica statica

Prof.	Resistenza di Punta	Resistenza Laterale	Rapp. qc/fs
0.60	66.00	3.07	21.52
0.80	63.00	2.87	21.98
1.00	57.00	2.93	19.43
1.20	54.00	2.73	19.76
1.40	55.00	2.27	24.26
1.60	51.00	2.20	23.18
1.80	53.00	2.13	24.84
2.00	67.00	2.33	28.71
2.20	56.00	2.53	22.11
2.40	54.00	2.27	23.82
2.60	40.00	1.67	24.00
2.80	32.00	1.60	20.00
3.00	38.00	1.47	25.91
3.20	35.00	1.67	21.00
3.40	37.00	1.67	22.20
3.60	36.00	0.87	41.54
3.80	38.00	1.07	35.63
4.00	46.00	0.80	57.50
4.20	38.00	1.13	33.53
4.40	38.00	1.13	33.53
4.60	39.00	1.27	30.79
4.80	41.00	1.20	34.17
5.00	61.00	1.00	61.00
5.20	44.00	1.60	27.50
5.40	47.00	2.47	19.05
5.60	45.00	1.53	29.35
5.80	48.00	1.40	34.29
6.00	51.00	2.33	21.86
6.20	58.00	2.13	27.19
6.40	53.00	3.07	17.28
6.60	65.00	2.40	27.08
6.80	68.00	1.47	46.36
7.00	67.00	2.60	25.77
7.20	65.00	2.20	29.55
7.40	72.00	1.60	45.00
7.60	45.00	2.87	15.70
7.80	21.00	2.33	9.00
8.00	312.00	0.87	358.62
8.20	345.00	0.51	676.47

DPSH n. 1 data: 23/10/2018
Cantiere: Biblioteca Comunale
Località: Zola Predosa

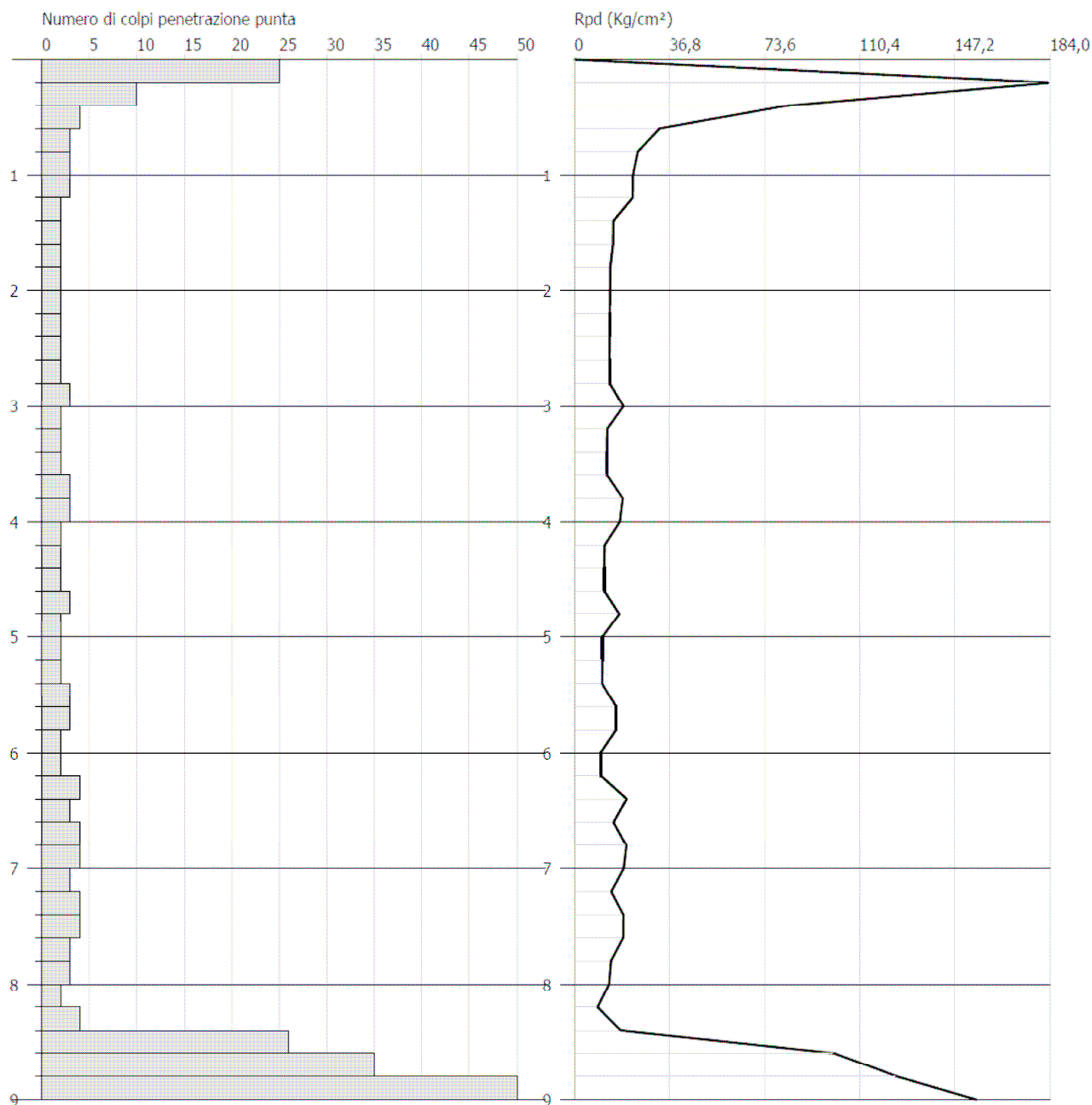
Livello di falda: non rilevata

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH 1
Strumento utilizzato... DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

Committente: Comune di Zola Predosa
Cantiere: Biblioteca Comunale
Località: Zola Predosa

Data: 23/10/2018

Scala 1:50



DPSH n. 1 data: 23/10/2018
 Cantiere: Biblioteca Comunale
 Località: Zola Predosa

Livello di falda: non rilevata

Tipo elaborazione N. Colpi: Media

Profondità (m)	N. Colpi	Calcolo coefficiente riduzione	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)
0,20	25	0,755	183,33	242,95
0,40	10	0,851	82,68	97,18
0,60	4	0,847	32,92	38,87
0,80	3	0,843	24,59	29,15
1,00	3	0,840	22,65	26,97
1,20	3	0,836	22,55	26,97
1,40	2	0,833	14,97	17,98
1,60	2	0,830	14,92	17,98
1,80	2	0,826	14,86	17,98
2,00	2	0,823	13,77	16,73
2,20	2	0,820	13,72	16,73
2,40	2	0,817	13,67	16,73
2,60	2	0,814	13,62	16,73
2,80	2	0,811	13,57	16,73
3,00	3	0,809	18,97	23,46
3,20	2	0,806	12,60	15,64
3,40	2	0,803	12,56	15,64
3,60	2	0,801	12,52	15,64
3,80	3	0,798	18,73	23,46
4,00	3	0,796	17,53	22,02
4,20	2	0,794	11,65	14,68
4,40	2	0,791	11,62	14,68
4,60	2	0,789	11,59	14,68
4,80	3	0,787	17,33	22,02
5,00	2	0,785	10,86	13,83
5,20	2	0,783	10,83	13,83
5,40	2	0,781	10,81	13,83
5,60	3	0,779	16,17	20,75
5,80	3	0,777	16,13	20,75
6,00	2	0,775	10,14	13,08
6,20	2	0,774	10,12	13,08
6,40	4	0,772	20,20	26,16
6,60	3	0,770	15,11	19,62
6,80	4	0,769	20,11	26,16
7,00	4	0,767	19,03	24,81
7,20	3	0,766	14,25	18,61
7,40	4	0,764	18,96	24,81
7,60	4	0,763	18,92	24,81
7,80	3	0,761	14,16	18,61
8,00	3	0,760	13,44	17,69
8,20	2	0,759	8,95	11,79
8,40	4	0,757	17,86	23,59
8,60	26	0,656	100,58	153,33
8,80	35	0,605	124,82	206,41
9,00	50	0,553	155,56	281,06

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Tensione efficace (Kg/cm ²)	Coefficiente correlazione con Nspt	Nspt
0,4	17,5	materiali di riporto			26
1,2	3,25	30,49	0,18	1,49	4
6,2	2,24	17,15	0,8	1,52	3
8,4	3,45	21,51	1,52	1,55	5
9	37	213,6	1,79	1,55	57

Peso unità di volume (t/m³)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Meyerhof ed altri
[1] - Materiali di riporto	26	0,40	2,12
[2] - Strato	4	1,20	1,70
[3] - Strato	3	6,20	1,63
[4] - Strato	5	8,40	1,76
[5] - Strato (ghiaia)	57	9,00	1,80

Peso unità di volume saturo (t/m³)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Meyerhof ed altri
[1] - Materiali di riporto	26	0,40	2,25
[2] - Strato	4	1,20	1,87
[3] - Strato	3	6,20	1,86
[4] - Strato	5	8,40	1,88
[5] - Strato (ghiaia)	57	9,00	1,80

Coesione non drenata (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	De Beer
[1] - Materiali di riporto	26	0,40	/
[2] - Strato	4	1,20	0,50
[3] - Strato	3	6,20	0,38
[4] - Strato	5	8,40	0,63
[5] - Strato (ghiaia)	57	9,00	/

Angolo di resistenza al taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Meyerhof (1956)
[1] - Materiali di riporto	26	0,40	/
[2] - Strato	4	1,20	21
[3] - Strato	3	6,20	21
[4] - Strato	5	8,40	21
[5] - Strato (ghiaia)	57	9,00	36

Densità relativa

	Nspt	Prof. Strato (m)	Skempton (1986)
[1] - Materiali di riporto	26	0,40	/
[2] - Strato	4	1,20	18
[3] - Strato	3	6,20	15
[4] - Strato	5	8,40	21
[5] - Strato (ghiaia)	57	9,00	87

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Buisman-Sanglerat
[1] - Materiali di riporto	26	0,40	/
[2] - Strato	4	1,20	50,00
[3] - Strato	3	6,20	37,50
[4] - Strato	5	8,40	62,50
[5] - Strato (ghiaia)	57	9,00	570,00

Modulo di Young (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Apollonia
[1] - Materiali di riporto	26	0,40	/
[2] - Strato	4	1,20	40,00
[3] - Strato	3	6,20	30,00
[4] - Strato	5	8,40	50,00
[5] - Strato (ghiaia)	57	9,00	570,00

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Robertson e Campanella (1983) Imai & Tonouchi (1982)
[1] - Materiali di riporto	26	0,40	/
[2] - Strato	4	1,20	291,59
[3] - Strato	3	6,20	244,59
[4] - Strato	5	8,40	334,18
[5] - Strato (ghiaia)	57	9,00	1478,26

Coefficiente spinta a Riposo K0=SigmaH/P0

	Nspt	Prof. Strato (m)	Navfac (1971-1982)
[1] - Materiali di riporto	26	0,40	/
[2] - Strato	4	1,20	0,75
[3] - Strato	3	6,20	0,51
[4] - Strato	5	8,40	0,99
[5] - Strato (ghiaia)	57	9,00	9,31