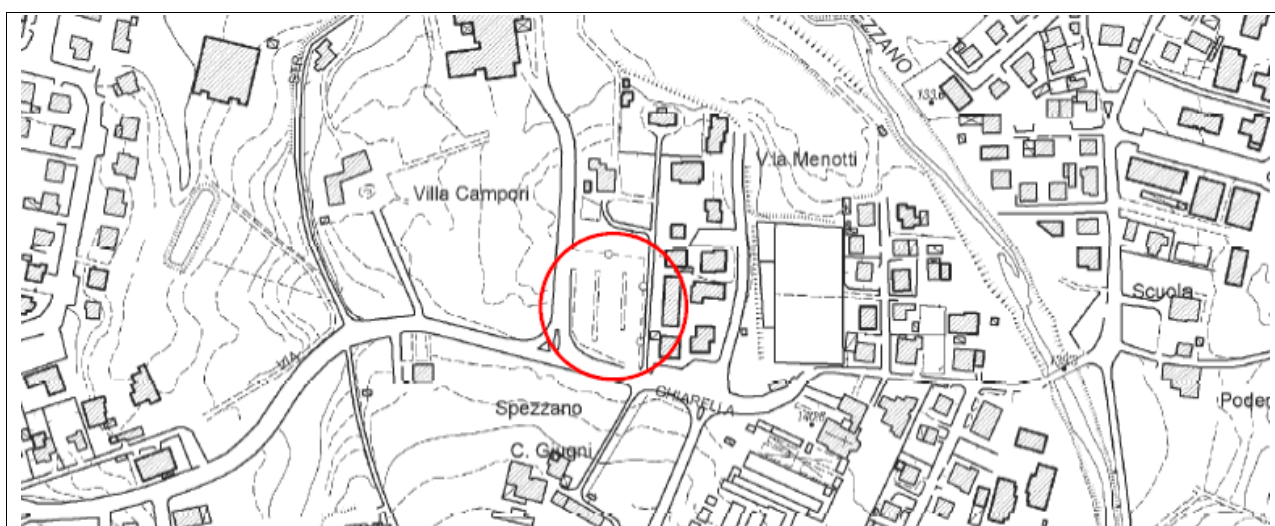


COMUNE DI FIORANO MODENESE
PROVINCIA DI MODENA

PROGETTO DI COSTRUZIONE NUOVA SCUOLA
MATERNA IN VIA GHIAROLA A SPEZZANO

COMMITTENTE: COMUNE DI FIORANO MODENESE

RELAZIONE GEOLOGICA-GEOTECNICA E SISMICA



DOTT. GEOL. ALESSANDRO MACCAFERRI
V.LE CADUTI IN GUERRA 1- 41121 MODENA
☎ 059-226540



APRILE 2019

**DOTT. ALESSANDRO MACCAFERRI
- GEOLOGO -****Studio:**

V.le Caduti in Guerra 1

41121 Modena

Tel: 059-226540 - Fax: 059-4398943

Cell. 335-7053511 - E-mail: maccafe@tin.it

Modena 26/04/2019

RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA**PROGETTO:** Costruzione nuova Scuola Materna**REGIONE:** Regione Emilia Romagna**PROVINCIA:** Modena**COMUNE:** Fiorano Modenese**LOCALITÀ:** Spezzano**UBICAZIONE:** Via Ghiarola**IDENTIFICAZIONE CATASTALE:** Foglio 21, mappale 142**COMMITTENTE:** Comune di Fiorano Modenese**RIFERIMENTO NORMATIVO:** D.M. 17/01/2018 - Circ. C.S.LL.PP. 7/2019**RELAZIONE REDATTA AD USO:** Pratica edilizia

. PREMESSA

Su incarico del Comune di Fiorano Modenese si è provveduto alla stesura della presente relazione geologico-geotecnica e sismica inerente il progetto di costruzione di una nuova scuola materna, su un'area ubicata in via Ghiarola a Spezzano, nel comune di Fiorano Modenese (Mo). Lo studio è stato condotto nel rispetto delle normative vigenti in materia, D.M. 17/01/2018 e successiva Circolare del C.S.LL.PP. 7/2019.

Per l'adempimento delle specifiche in esso contenute è stato eseguito in data 19/03/2019 un sopralluogo sull'area al fine di verificarne l'idoneità geologica e geomorfologica.

Per la caratterizzazione litostratigrafica e geotecnica dei terreni di sottofondazione, durante il sopralluogo, sono state eseguite n. 3 prove penetrometriche statiche spinte sino alla profondità massima di circa 8 metri, profondità alla quale si rinviene un primo strato di ghiaia molto competente, che non ha permesso oltre l'avanzamento.

Le prove effettuate sono state poi confrontate con altre prove eseguite in zone adiacenti all'area in esame, in occasione di altri precedenti interventi edilizi, rilevando una sostanziale omogeneità della situazione geologica.

Per la caratterizzazione sismica dei terreni di sottofondazione, si è effettuata sull'area, sempre in data 19/03/2019, un'indagine geofisica, mediante stendimento MASW, attraverso la quale si è determinata la V_{s30} , cioè la velocità delle onde sismiche nei primi 30 m di profondità, sulla base della quale si è proceduto a definire la categoria di suolo da un punto di vista sismico dei terreni presenti. Si è quindi eseguita un'indagine sismica passiva HVSR, mediante tromografo digitale, al fine di definire la frequenza naturale dei terreni presenti e quindi la possibilità di eventuali fenomeni di risonanza in caso di sisma.

Si è quindi proceduto a definire i fattori di pericolosità sismica di base per il sito in oggetto e, nota la categoria di suolo di fondazione, i relativi fattori di amplificazione locale, sia stratigrafica, sia topografica.

La relazione si articola nel seguente modo:

- A) INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E AMBIENTALE

- A1) INQUADRAMENTO GEOGRAFICO
- A2) INQUADRAMENTO GEOLOGICO

- B) CARATTERIZZAZIONE AREA D'INTERVENTO

- B1) DESCRIZIONE DEL PROGETTO
- B2) INDAGINE GEOGNOSTICA E MODELLO GEOLOGICO
- B3) CLASSIFICAZIONE SISMICA
- B4) CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

- C) CONCLUSIONI

ALLEGATI

. A) INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E AMBIENTALE

. A1) INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area esaminata, sulla quale è in progetto la costruzione della nuova Scuola materna in esame, si colloca nella zona sudest del comune di Fiorano Modenese, nei pressi della località di Spezzano, più precisamente lungo via Ghiarole; siamo nella fascia di alta pianura modenese ad una quota media di circa 130 metri sul livello del mare.

Da un punto di vista cartografico l'area è compresa nella Tavola della C.T.R. alla scala 1:25.000 n. 219NE, denominata "Formigine" (Allegato 1) e nell'elemento, sempre della C.T.R., in scala 1:5.000 n. 219074 denominato "Maranello" (Allegato 2).

In allegato 3 si riporta una foto aerea della zona in esame, sulla quale è prevista la costruzione della nuova Scuola materna.

. A2) INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area in studio si colloca nella zona est del comune di Fiorano, quasi al confine con quello di Maranello, geograficamente compresa nell'alta pianura modenese, nella zona di passaggio alla prima collina, in una posizione intermedia tra il fiume Secchia e il fiume Panaro.

Da un punto di vista geologico appartiene al grande bacino subsidente della Pianura Padana e più precisamente in quel settore dominato dalla presenza dei corsi d'acqua appenninici.

Si tratta di un settore deposizionalmente influenzato dai torrenti appenninici minori e compreso tra le grandi conoidi alluvionali dei fiumi Secchia e Panaro.

In particolar modo rilevante è stata l'azione di deposito esercitata dei fiumi Secchia e Panaro, ma soprattutto dei corsi minori quali il torrente Tiepido, che scorre a est dell'area, oltre ad altri corsi, quali il torrente Fossa, che scorre poco distante dall'area in esame.

In allegato 5 viene riportato estratto della Carta Geologica dell'Alta Pianura Modenese (Università di Geologia di Modena, 1987), nella quale si evidenzia come tale porzione di territorio sia caratterizzata deposizionalmente dai sedimenti alluvionali, a granulometria variabile, costituenti l'alta pianura, il cui spessore dei materiali risulta, in corrispondenza di Fiorano, pari a circa 80 metri, tendente ad aumentare man mano che si procede verso Nord, al di sotto dei quali si incontra il primo orizzonte marino.

L'area si colloca in una zona con terreni appartenenti all'Unità di Ca di Sola: trattasi di depositi alluvionali sabbiosi-ghiaiosi e argillosi sovrapposti, con al tetto vertisuoli e suoli bruni lisciviati di spessore inferiore al metro, non rubefatti, di età riferibile al Pleistocene inferiore medio.

Tali terreni appoggiano su di un substrato, affiorante a Sud verso il margine collinare, costituito da formazioni marine impermeabili di natura argillosa di età plio-pleistocenica media, le quali per motivi strutturali vengono rapidamente ribassate a Nord dell'allineamento Sassuolo-Maranello-Vignola e ricoperte appunto dalle alluvioni della conoide fluviale. La fase continentale di riempimento è stata infatti preceduta da una fase marina nel pliocene superiore-pleistocene inferiore, quando l'intera Pianura Padana era ancora sommersa e costituiva un grande golfo del mare Adriatico, nel quale si raccoglievano e si depositavano i sedimenti provenienti dall'erosione delle catene alpina e appenninica.

Stratigraficamente ritroviamo la base delle formazioni marine plio-pleistoceniche a circa 2000-3000 m di profondità. Litologicamente si tratta perlopiù di sedimenti limosi e argillosi di colore

bruno e giallastro, che sfumano rapidamente verso ovest in direzione del fiume Secchia, in livelli grossolani, riferibili alla conoide alluvionale del corso d'acqua principale.

In allegato 6 viene riportata la "Carta della litologia superficiale", estratta dal Progetto ambiente allegato al PRG del Comune di Modena; come si può notare l'area risulta caratterizzata dalla presenza di terreni fini argillosi, con lenti di ghiaia, non continue in terreni fini prevalenti, che ricoprono con spessori di 5-8 metri il primo strato di ghiaia, fatto questo confermato anche dalle prove eseguite sull'area in esame.

Da un punto di vista litostratigrafico avremo quindi terreni fini prevalenti con intercalati strati granulometricamente più grossolani, sotto forma di lenti e bancate di variabile spessore ed estensione, come anche confermato dalle prove eseguite, che si sono fermate a circa 5-8 m di profondità, incontrando la ghiaia che non ha permesso oltre l'avanzamento.

Morfologicamente l'area d'intervento si presenta pianeggiante, tale da permettere uno sviluppo edilizio senza particolari problemi.

La morfologia dell'area, tipica della fascia di alta pianura modenese, risulta interessata solo localmente, a larga scala, da dossi e avvallamenti, che testimoniano le antiche divagazioni dei corsi d'acqua; l'andamento risulta quasi perfettamente pianeggiante con pendenze molto basse verso NNE, nell'ordine del 1% e con quote medie di circa 130 metri s.l.m.

L'area in esame risulta già completamente edificata, per la quale si può prevedere uno sviluppo dell'intervento previsto senza particolari problemi.

Dal punto di vista idrogeologico, l'area si colloca fra le conoidi dei due corpi idrici principali, Secchia e Panaro; qui si individuano le conoidi della rete idrografica minore, riferibile al torrente Tiepido; nello specifico si colloca sull'Unità idrogeologica dei corsi d'acqua minori, riferita al torrente Fossa di Spezzano, con contenuti ridotti di ghiaie, intercalate da abbondanti matrici limose che condizionano sensibilmente la trasmissività dell'acquifero.

Nello specifico l'area in esame è ricompresa nella zona del conoide del Fossa di Spezzano.

Le conoidi dei torrenti minori si caratterizzano per la presenza di acquiferi di modesta entità e, a seguito della limitata circolazione idrica e dell'elevata pressione antropica generata da numerose fonti inquinanti sia diffuse che puntuali, presentano una scadente qualità delle acque.

In dettaglio l'area in studio si pone in un settore dell'alta pianura modenese caratterizzato da un sistema acquifero multistrato-plurifalda.

Trattasi di un sistema in cui gli acquiferi sono rappresentati da strati ghiaiosi, intercalati da strati argillosi anche di notevole spessore.

La falda presente, che risulta freatica/semi confinata, si colloca oltre i 10 m di profondità dal piano campagna, anche in relazione all'andamento dei vari corpi acquiferi a geometria lenticolare. Anche il foro delle tre prove fino ai 5-8 m indagati si è rilevato asciutto.

Dal punto di vista dell'idrografia superficiale i corsi d'acqua di una certa rilevanza, nell'ordine, verso est, sono il principale torrente Tiepido. Quale corso più vicino all'area si ritrova il torrente Fossa di Spezzano, che nasce nei pressi di Serramazzoni e sbocca nel fiume Secchia, più a nord in località Colombarone, nel comune di Formigine.

Per la posizione e per le attuali condizioni dei corsi d'acqua citati si ritiene che non sussistano per l'area in esame rischi di allagamenti o esondazione.

Nell'area in esame il drenaggio superficiale è assicurato dalla capillare rete fognaria; si rilevano complessivamente buone condizioni di deflusso delle acque superficiali.

Per l'area in esame si sono rilevate buone condizioni di drenaggio superficiale delle acque, in relazione anche alla litologia dei terreni affioranti.

Nello specifico della zona d'intervento non si sono riscontrati problemi di ristagno idrico delle acque di precipitazione, non rilevando forme depresse o chiuse che rendono difficoltoso il drenaggio superficiale, che potrebbero provocare un peggioramento delle caratteristiche meccaniche dei terreni presenti.

Per quanto riguarda l'idrografia minore, non si rilevano preoccupazioni particolari per la zona specifica, in merito a rischi di esondazioni.

Per quanto attiene le condizioni di stabilità, un esame allargato della zona in studio ha chiaramente evidenziato la stretta connessione tra morfologia, presenza e tipo del substrato e stabilità dei terreni.

Nell'area sono presenti terreni in posto, costituiti da una sequenza di terreni fini argillosi e limosi, con relativi termini intermedi, che sormontano con spessori compresi tra gli 5-8 metri, la prima lente di ghiaia, come rilevato nelle prove eseguite.

La zona in studio in relazione al litotipo presente, nonché in relazione alle caratteristiche morfologiche semplici, non presenta particolari problemi di stabilità.

Per l'area in esame non si rilevano fenomeni morfo dinamici in atto o potenziali; l'unico elemento morfogenetico attivo risulta essere il corso d'acqua torrente Fossa, che scorre a est, comunque distante dall'area, e in nessun modo interferente con la stessa.

. B) CARATTERIZZAZIONE AREA D'INTERVENTO

. B1) DESCRIZIONE DEL PROGETTO

L'intervento in progetto consiste nella costruzione di una nuova Scuola materna a Spezzano, per conto dell'Amministrazione Comunale di Fiorano Modenese.

L'area sulla quale si collocherà la nuova scuola in progetto, si ubica lungo via Ghiarola, nel centro abitato della frazione di Spezzano, nella zona est del comune di Fiorano Modenese (Mo). L'area si colloca in una zona urbana, già ampiamente edificata per la quale non si riscontrano problematiche particolari. Attualmente l'area è utilizzata a parcheggio. Catastalmente è individuata nel Foglio 21, mappale 142, del catasto urbano del comune di Fiorano (Allegato 4). In allegato 9 è riportata una planimetria della scuola in progetto con la relativa ubicazione delle indagini geognostiche eseguite.

. B2) INDAGINE GEOGNOSTICA E MODELLO GEOLOGICO

Prove penetrometriche CPT

In data 19/03/2019 si è provveduto ad eseguire un'indagine geognostica sull'area in oggetto, al fine di valutare le caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche dei terreni che saranno interessati dall'intervento in progetto.

L'indagine è stata sviluppata mediante l'esecuzione di n. 3 prove penetrometriche, che in relazione alle presumibili caratteristiche granulometriche dei terreni del primo sottosuolo, è stata effettuata con infissione statica; i dati delle prove sono stati successivamente confrontati con quelli di altre prove, eseguite nelle vicinanze dell'area in esame, in occasione di precedenti interventi edilizi, rilevando una sostanziale omogeneità della situazione.

L'ubicazione delle prove eseguite compare nella planimetria riportata in allegato 9, mentre i diagrammi penetrometrici, unitamente ai tabulati di campagna sono riportati in allegato 10.

Le prove hanno raggiunto una profondità massima di circa 8 m dal p.d.c., in quanto a tale profondità si è rinvenuto un primo strato di ghiaia molto competente che non ha permesso oltre l'avanzamento; tale profondità è comunque sufficiente per le valutazioni del caso.

Le prove sono state eseguite in sito utilizzando un penetrometro statico olandese Pagani, montato su carrello cingolato, impiegando per la perforazione una punta "Friction Jacket Cone" avente un'area di 10 cm² e un angolo alla punta di 60 gradi.

Per l'esecuzione delle tre prove penetrometriche si è reso necessaria l'esecuzione di un preforo, mediante mini escavatore meccanico, considerata la presenza sull'area di terreni di riporto per circa 1,20 m di spessore.

I dati acquisiti attraverso una cella estensimetrica di carico hanno permesso di determinare ogni 20 cm d'avanzamento della punta, i valori, calcolati mediante elaborazione automatica, della resistenza penetrometrica alla punta (Rp), espressi in Kg/ cm², i valori della resistenza laterale locale (Rl), sempre espressi in Kg/ cm², nonché i valori della resistenza laterale totale (punta + manicotto), sempre in Kg/cm².

Nel diagramma penetrometrico, sempre in allegato al presente studio, sono state riportate, per semplicità di lettura, mediante plotter interfacciato con l'elaboratore, solamente due curve e precisamente:

- a sinistra, la curva della resistenza penetrometrica alla punta (Rp: pressione di rottura del terreno), espressa in Kg/ cm²;
- a destra, la curva del rapporto tra la resistenza alla punta e la resistenza laterale (Rl espressa in Kg/cm²).



Esecuzione prova penetrometrica P1



Esecuzione prova penetrometrica P2



Esecuzione prova penetrometrica P3

L'elaborazione dei valori di resistenza all'infissione caratteristici dei vari livelli del sottosuolo, fornisce utili informazioni per il riconoscimento di massima della litologia dei terreni attraversati, sulla base del rapporto R_p/R_l (q_c/f_s) fra la resistenza alla punta e la resistenza laterale (Rapporto di Begemann 1965 – Raccomandazioni AGI) ovvero sulla base dei valori di R_p e del rapporto $Fr=R_l/R_p\%$ (Schemertmann 1878).

Analogamente i dati geognostici raccolti sono stati elaborati suddividendo il terreno in strati omogenei per caratteristiche litologiche e geotecniche, determinando per ognuno i valori medi dei principali parametri geotecnici, ottenuti mediante ormai note correlazioni empiriche, il tutto come riportato di seguito.

Successione stratigrafica

L'elaborazione delle tre prove penetrometriche eseguite e la correlazione delle stesse con altre prove eseguite in aree circostanti, ha permesso di ricostruire il modello geologico del primo sottosuolo dell'area in esame. In generale si rileva una copertura dominante di terreni fini e medio fini, limo argillosi e argillo limosi, che sormontano con spessori variabili tra 5/8 m il primo strato di ghiaia, in corrispondenza del quale le prove si sono arrestate.

Dal piano attuale fino a circa 1,2/1,4 m di profondità si ritrovano terreni di riporto, costituiti da terreni argillosi e argillo limosi, misti a ghiaia.

Nello specifico dell'area in esame si evidenzia la presenza delle seguenti unità litotecniche:

Unità A da 1,20/1,40 m a 3,20/4,20 m

La prima unità è costituita da terreni fini e medio-fini, formati da **argille limose e limi argillosi**, a media consistenza e compattezza.

Unità B da 3,20/4,20 m a 5,20/8 m

La seconda unità è costituita da terreni leggermente più fini, formati da **argille e argille limose**, a buona compattezza e consistenza. Nella P2 si rileva a circa 7 m di profondità un livello decimetrico grossolano, di ghiaie molto addensate.

Unità C da 5,20/8 m a 5,80/8,40 m

La terza unità è costituita da terreni grossolani, formati da **ghiaie in matrice sabbiosa**, ad elevato addensamento.

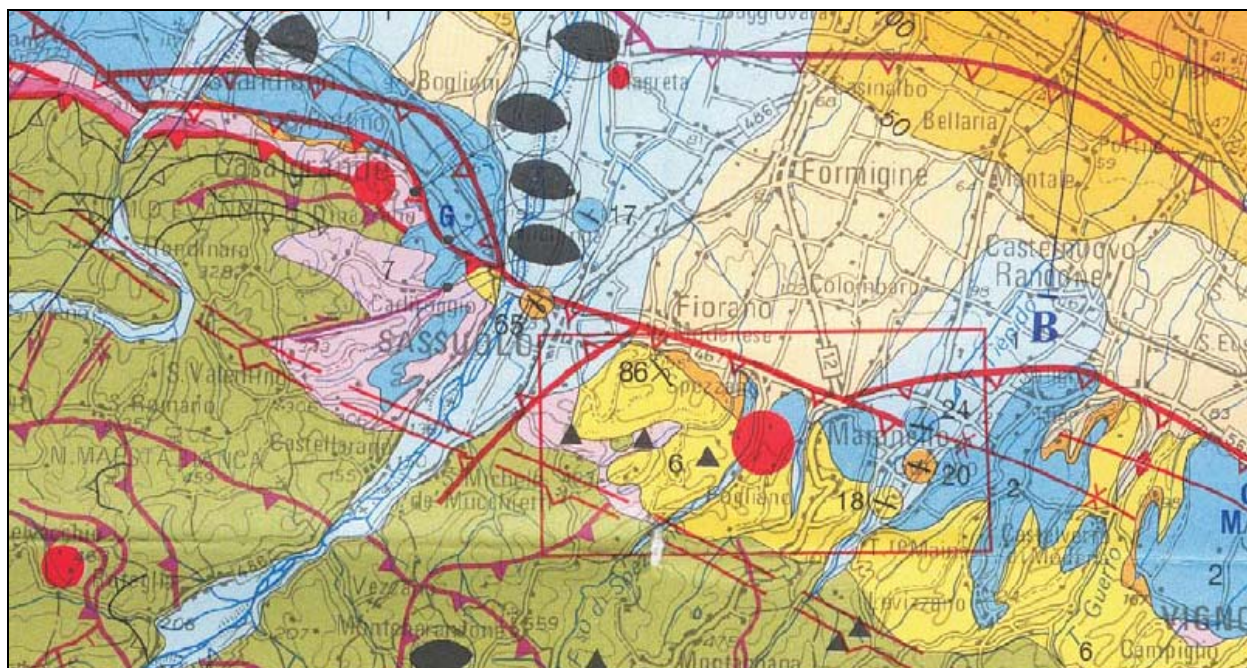
Situazione idrogeologica locale

I terreni riscontrati all'interno dell'area in esame, dal punto di vista idrogeologico, sono classificabili come depositi alluvionali di origine fluviale, da poco permeabili a impermeabili. Nell'area in esame non si riscontra una falda freatica superficiale, la cui profondità, misurata in alcuni pozzi vicini all'area, si pone oltre i 10 metri, come tra l'altro confermato dai fori delle tre prove eseguite, che si sono rilevati asciutti.

. B3) CLASSIFICAZIONE SISMICA

L'Emilia-Romagna è interessata da una sismicità che può essere definita media relativamente alla sismicità nazionale, con terremoti storici di magnitudo massima compresa tra 5,5 e 6 della scala Richter e intensità del IX-X grado della scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS).

La sismicità dell'area modenese è legata a varie strutture tettoniche, di cui quella principale nell'area esaminata è la Faglia Flessura di Sassuolo; si tratta di una struttura tettonica regionale ed in particolare di una faglia inversa attiva, che in coincidenza del territorio comunale di Fiorano Modenese, rimane sepolta al di sotto della coltre dei depositi alluvionali (figura seguente).



Estratto Carta sismotettonica della RER

Lungo il margine appenninico si riconoscono altre faglie attive con blocchi in movimento relativo tra di loro, la catena appenninica in sollevamento e l'alta pianura in abbassamento, che hanno provocato lesioni allineate secondo l'andamento delle fratture.

Vi sono poi, nella pianura modenese altre zone caratterizzate da un'attività tettonica attiva, dovuta alla presenza nel sottosuolo di strutture geodinamiche, come nella zona della bassa ove si ritrova la struttura nota con il nome di dorsale ferrarese, caratterizzate da tutta una serie di pieghe e faglie, che hanno determinato il notevole innalzamento dei depositi marini e che interessano tutta la zona della bassa modenese, responsabili tra l'altro dei terremoti del 20 e 29 maggio 2012, che hanno interessato proprio tale zona.

Tutto ciò a dimostrare come la zona in esame sia caratterizzata da movimenti tettonici marcati, che scaricano gradualmente l'energia accumulata nel terreno, che possono originare fenomeni sismici frequenti ancorché di modesta entità.

A tale proposito l'Ordinanza del P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003 e s.m.i., "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", ha stabilito la nuova classificazione sismica di tutto il territorio nazionale, e disciplinato la progettazione e la costruzione di nuovi edifici soggetti ad

azioni sismiche, nonché la valutazione della sicurezza e gli interventi di adeguamento e miglioramento su edifici esistenti soggetti al medesimo tipo di azioni.

Il sito di costruzione ed i terreni in esso presenti dovranno in generale essere esenti da rischi di instabilità di pendii e di cedimenti permanenti causati da fenomeni di liquefazione o eccessivo addensamento in caso di terremoto.

Con l'entrata in vigore, il 23 ottobre 2005, delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14.09.2005, le cui norme tecniche includono tra le referenze tecniche essenziali anche l'Ordinanza n. 3274/2003 e s.m.i., è diventata obbligatoria la progettazione antisismica per tutto il territorio nazionale, facendo riferimento alle zone sismiche di cui alla OPCM 3274/2003. Ai fini dell'applicazione di queste norme, il territorio nazionale è stato suddiviso in quattro zone sismiche, a ciascuna delle quali è assegnato un intervallo di valori dell'accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni; in particolare, per la determinazione delle azioni sismiche, risulta assegnato un valore (a_g / g), di ancoraggio dello spettro di risposta elastico, diverso per ogni zona sismica; il Comune di Fiorano Modenese ricade nella zona 2 (Allegato 7) a sismicità media, a cui è associato un valore della massima accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico pari a $a_g = 0,25g$.

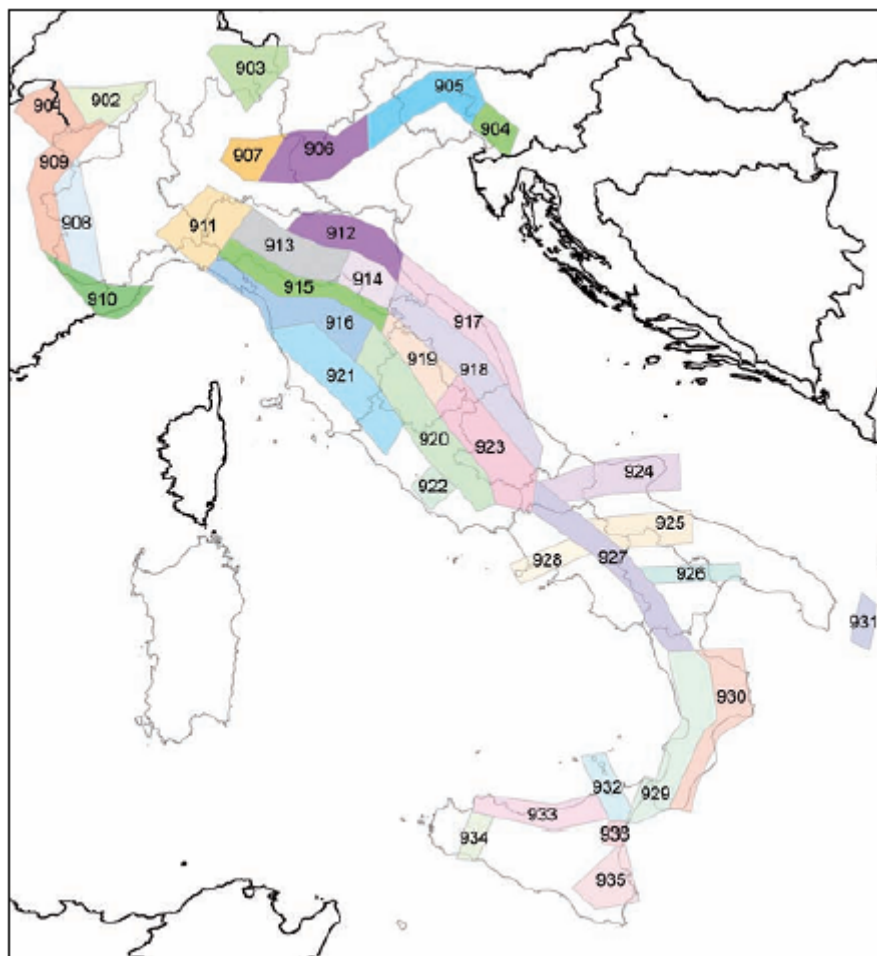
I valori di a_g , espressi come frazione dell'accelerazione di gravità g , da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale sono:

Zona	Valore di a_g
1	0,35g
2	0,25g
3	0,15g
4	0,05g

Ai fini della parametrizzazione sismica assume particolare importanza il valore della magnitudo attesa. Tale parametro entra in gioco in quanto, maggiore è la magnitudo maggiore è l'energia rilasciata e quindi la capacità di generare cicli di deformazione del terreno di numero ed ampiezza. Secondo la zonazione attualmente in vigore il territorio di Fiorano Modenese ricade all'interno della zona sismogenetica 913. La magnitudo attesa per l'area in studio risulta essere pari a 6,14.

Nome ZS	Numero ZS	M_{max}
Colli Albani, Etna	922, 936	5.45
Ischia-Vesuvio	928	5.91
Altre zone	901, 902, 903, 904, 907, 908, 909, 911, 912, 913, 914, 916, 917, 920, 921, 926, 932, 933, 934	6.14
Medio-Marchigiana/Abruzzese, Appennino Umbro, Nizza Sanremo	918, 919, 910	6.37
Friuli-Veneto Orientale, Garda-Veronese, Garfagnana-Mugello, Calabria Jonica	905, 906, 915, 930	6.60
Molise-Gargano, Ofanto, Canale d'Otranto	924, 925, 931	6.83
Appennino Abruzzese, Sannio - Irpinia-Basilicata	923, 927	7.06
Calabria tirrenica, Illel	929, 935	7.29

Valori di magnitudo per le zone sismogenetiche



Zone sismogenetiche (INGV)

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008, come confermato dal recente D.M. 17/01/2018 che ne ha aggiornato alcuni contenuti, la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido ($V_{s30} > 800$ m/s), viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente". Secondo l'approccio "zona dipendente", adottato dalla precedenti normative nazionali in campo antisismico, l'accelerazione di base a_g , senza considerare l'incremento dovuto ad effetti locali dei terreni, era direttamente derivante dalla Zona sismica di appartenenza del comune nel cui territorio è localizzato il sito di progetto.

Nella normativa di cui al D.M. 14 gennaio 2008, come confermato da quella del 2018, la classificazione sismica del territorio è scollegata dalla determinazione dell'azione sismica di progetto, mentre rimane il riferimento per la trattazione di problematiche tecnico-amministrative connesse con la stima della pericolosità sismica. Pertanto, secondo quanto riportato nell'allegato A del D.M. 14 gennaio 2008, ripresi dalle NTC del 2018, la stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto viene effettuata calcolandoli direttamente per il sito in esame, utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento, riportato nella tabella 1 nell'allegato B del D.M. del 2008. Tale griglia è costituita da 10.751 nodi (distanziati di non più di 10 km) e copre l'intero territorio nazionale ad esclusione delle isole (tranne Sicilia, Ischia, Procida e Capri) dove, con metodologia e convenzioni analoghe vengono forniti parametri spettrali costanti per tutto il territorio (tabella 2 nell'allegato B del D.M. 14 gennaio 2008).

Per ciascuno dei nodi della griglia vengono forniti, per 9 valori del periodo di ritorno (da 30 anni a 2.475 anni), i valori dei parametri di pericolosità sismica, utili per la progettazione e cioè i valori di a_g (accelerazione orizzontale massima del terreno espressa in $g/10$), F_0 (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale adimensionale) e T^*c (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro di accelerazione orizzontale espresso in secondi) necessari per la definizione dell'azione sismica, una volta definito per l'intervento in progetto, ai sensi sempre delle NTC2008, come riprese da quelle del 2018, il tipo e la classe (ad esempio, per la Scuola in progetto, tipo 2 e classe III).

Secondo quanto riportato nell'allegato A del D.M. 2008, definite le coordinate del sito interessato dal progetto, è possibile il calcolo dei suddetti parametri spettrali (per uno dei tempi di ritorno forniti) tramite media pesata con i 4 punti della griglia di accelerazioni (Tabella 1 in Allegato B) che comprendono il sito in esame, per i quattro stati limite previsti dalle norme S.L.O., S.L.D., S.L.V. e S.L.C.

Inoltre allo scopo di valutare l'amplificazione lito-stratigrafica dell'azione sismica di progetto, intesa come l'azione generata dal moto non uniforme del terreno di sedime per effetto della propagazione delle onde sismiche, deve essere classificato il terreno di fondazione, nelle seguenti categorie individuate dalle NTC 2008 e parzialmente modificate nelle NTC2018, come di seguito riportate.

Il sito viene classificato sulla base di V_{s30} se disponibile, altrimenti sulla base del valore di N_{spt} , per terreni prevalentemente granulari, ovvero sulla base della c_u , per i terreni prevalentemente coesivi, nelle seguenti categorie di suolo:

A -	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s30} > 800$ m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B -	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica $N_{spt} > 50$ nei terreni a grana grossa, o coesione non drenata $c_u > 250$ kPa nei terreni a grana fine).
C -	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensate, o terreni a grana fine mediamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 e 360 m/s (ovvero $15 < N_{spt} < 50$ nei terreni a grana grossa, $70 < c_u < 250$ kPa nei terreni a grana fine).
D -	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori ai 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30} < 180$ m/s (ovvero $N_{spt} < 15$ nei terreni a grana grossa, $c_u < 70$ kPa nei terreni a grana fine).
E -	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente</i> , simili a quelli dei tipi C o D con profondità del substrato non superiore ai 30 metri.

Le nuove norme di cui al D.M. 17/01/2018 hanno soppresso poi le due categorie speciali che erano individuate con le lettere S1 e S2 per le quali le NTC2008 richiedevano per la definizione dell'azione sismica il ricorso a studi specifici.

Nelle definizioni precedenti V_{s30} è la velocità media di propagazione entro i primi 30 m di profondità delle onde di taglio e viene calcolata con la seguente espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove h_i e V_i indicano lo spessore (in metri) e la velocità delle onde di taglio dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

Indagine sismica MASW

In data 19/03/2019 si è provveduto ad eseguire un'indagine geofisica attiva, tramite uno stendimento MASW, sull'area in oggetto (Allegato 9), al fine di valutare le caratteristiche sismiche dei terreni che saranno interessati dall'intervento in progetto.

La MASW (Multichannel Analysis of Seismic Waves) è una metodologia di indagine geofisica che consente l'individuazione di frequenza, ampiezza, lunghezza d'onda e velocità di propagazione delle onde sismiche superficiali (principalmente onde di Rayleigh) generate artificialmente. L'analisi delle onde superficiali permette la determinazione delle velocità delle onde di taglio verticali (V_s) nei terreni al di sotto dello stendimento sismico.

L'indagine è realizzata disponendo lungo una linea retta, a intervalli regolari, una serie di geofoni collegati ad un sismografo. Una fonte puntuale di energia, quale mazza battente su piastra metallica o cannoncino sismico, produce treni d'onda che attraversano il terreno con percorsi, velocità e frequenze variabili. Il passaggio del treno d'onda sollecita la massa inerziale presente nel geofono, l'impulso così prodotto viene convertito in segnale elettrico e acquisito dal sismografo. Il risultato è un sismogramma che contiene molteplici informazioni quali tempo di arrivo ai geofoni rispetto all'istante di energizzazione, frequenze e relative ampiezze dei treni d'onda.

La successiva elaborazione consente di ottenere un diagramma 1D (profondità/velocità onde di taglio) tramite modellizzazione ed elaborazione matematica con algoritmi capaci di minimizzare le differenze tra i modelli elaborati e i dati di partenza.

Il diagramma, riferibile al centro della linea sismica, rappresenta un valor medio della sezione di terreno interessata all'indagine di lunghezza circa corrispondente a quella della linea sismica e profondità variabile principalmente in funzione delle caratteristiche dei materiali attraversati e della geometria dello stendimento. Il metodo MASW frutta le caratteristiche di propagazione delle onde di Rayleigh per ricavare le equivalenti velocità delle onde di taglio (V_s), essendo le onde di Rayleigh prodotte dall'interazione delle onde di taglio verticali e delle onde di volume (V_p). Le onde di Rayleigh si propagano secondo fronti d'onda cilindrici, producendo un movimento ellittico delle particelle durante il transito.



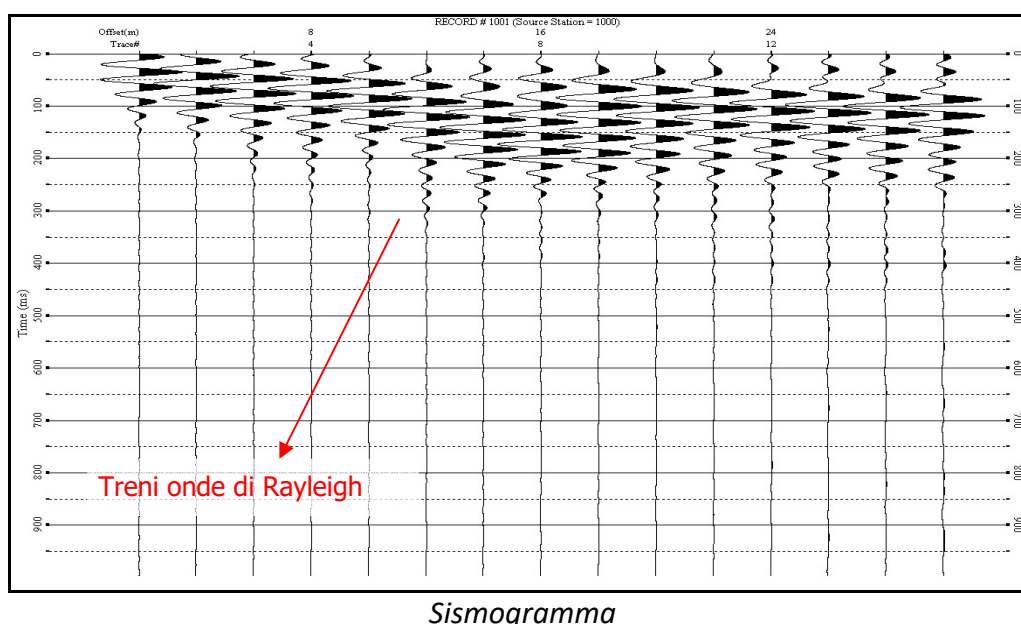
Esecuzione indagine sismica MASW

Con i metodi di energizzazione usuali i due terzi dell'energia prodotta viene trasportata dalle onde di Rayleigh a fronte di meno di un terzo suddiviso tra le rimanenti tipologie di onde. Inoltre le onde di Rayleigh sono meno sensibili delle onde P e S alla dispersione in funzione della distanza e con un'attenuazione geometrica inferiore.

Onde di Rayleigh ad alte frequenze e piccole lunghezze d'onda trasportano informazioni relative agli strati più superficiali mentre quelle a basse frequenze e lunghezze d'onda maggiori interessano anche gli strati più profondi.

In pratica il metodo MASW di tipo attivo opera in intervalli di frequenze comprese tra 5 e 70 Hz circa, permettendo di indagare una profondità massima variabile, in funzione delle caratteristiche dei terreni interessati, tra 30 e 50 metri.

La geometria della linea sismica ha influenza sui dati e quindi sul risultato finale, infatti la massima lunghezza d'onda acquisibile è circa corrispondente alla lunghezza dello stendimento; mentre la distanza tra i geofoni, solitamente compresa tra 1 e 3 metri, definisce la minima lunghezza d'onda individuabile evitando fenomeni di aliasing.



Sismogramma

Nella campagna di indagine del lavoro in oggetto è stato eseguito uno stendimento di 24 geofoni, con spaziatura tra i geofoni di 2 metri per una lunghezza della linea sismica di 46 metri. L'energizzazione è stata eseguita a 2,5 e a 10 metri dal primo e dall'ultimo geofono.

Per ridurre il rumore di fondo e migliorare la qualità complessiva dei sismogrammi sono stati sommati più tiri. Il sito di indagine è collocato in area urbana, ove, non si rilevano particolari fonti di rumore antropico in grado di interferire con il segnale sismico.

Strumentazione

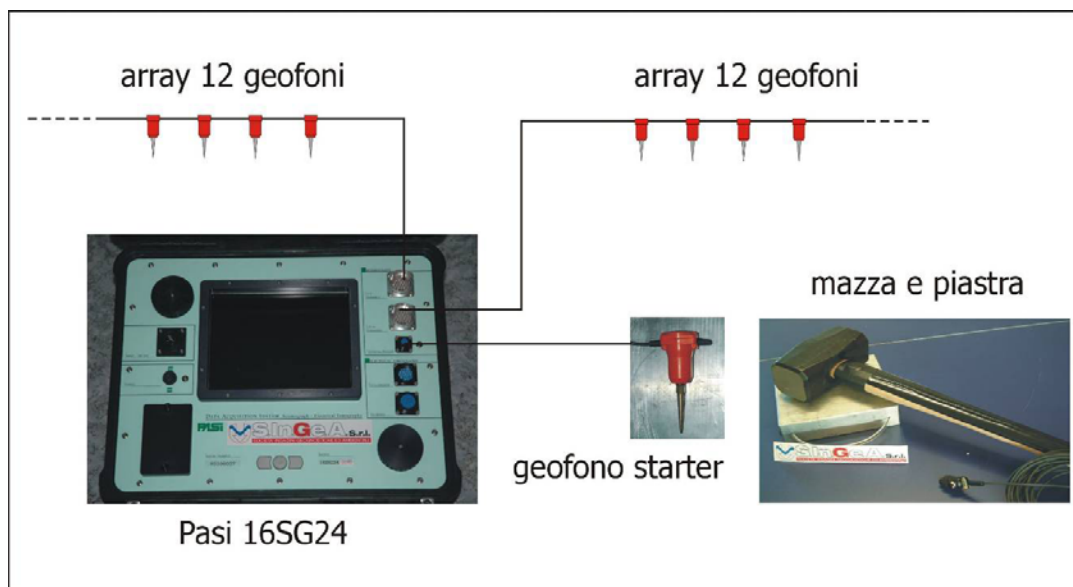
Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un sismografo multicanale "PASI 16SG24", dotato di 24 geofoni verticali Oyo Geospace con frequenza propria di 4,5 Hz, collegati allo strumento tramite cavi elettrici schermati.

Lo strumento è in grado di gestire l'acquisizione simultanea su 24 canali e di rilevare l'istante di energizzazione (tempo zero) tramite geofono starter. È inoltre equipaggiato di software proprietario in grado di gestire tutte le operazioni di campagna attraverso le seguenti fasi:

- impostazione numero di canali e metodologia di indagine;
- impostazione frequenza e lunghezza di campionamento;

- selezione entità dell'amplificazione del segnale per ogni canale;
- impostazione filtraggi delle frequenze indesiderate;
- visualizzazione sismogramma con misura dei tempi di arrivo;
- esecuzione operazioni di somma e sottrazione di ulteriori sismogrammi;
- memorizzazione di tutti i dati relativi all'acquisizione.

Per l'energizzazione è stata utilizzata una mazza del peso di 8 kg e una piastra di battuta di alluminio.



Strumentazione Pasi con due stringhe da 12 geofoni

Elaborazione

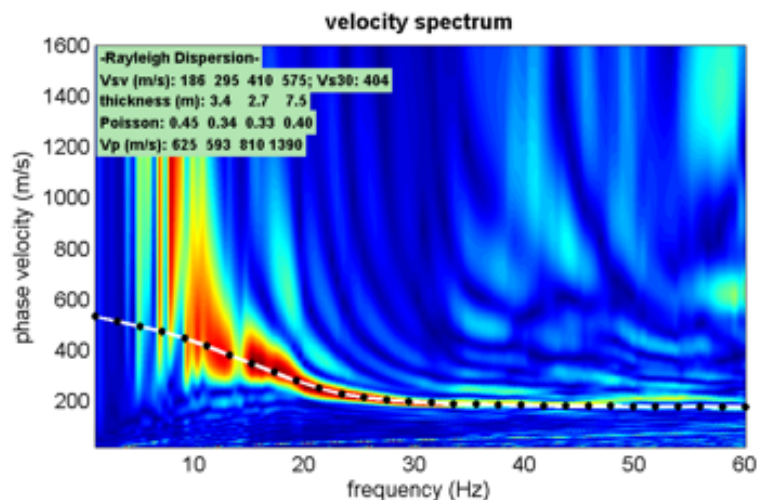
L'elaborazione è stata effettuata con un software dedicato (SurfSeis 2 – Kansas Geological Survey) in grado di gestire le fasi di preparazione, analisi, modellizzazione e restituzione finale.

La fase iniziale consiste nel filtraggio del segnale sismico per eliminare il "rumore" ed eventuali frequenze indesiderate. Il software permette di visualizzare il sismogramma nel dominio spazio-tempo e visualizzando i grafici frequenza-ampiezza anche per le singole tracce. Sono disponibili varie modalità di gestione del segnale, le cui principali sono i filtraggi "passa basso", "passa alto", "passa banda", "taglia banda", il "muting", l'ACG e i filtraggi tipo F-K ("fan cut", "fun pass", "horizontal e vertical cut").

La fase successiva consiste nel calcolo della curva di dispersione, visualizzata tramite diagramma frequenza-numero d'onda con appropriata scala cromatica dell'ampiezza.

Il diagramma permette di visualizzare anche l'intervallo di lunghezza d'onda acquisito e il rapporto segnale-disturbo, utile per valutare la qualità dei dati. Utilizzando la curva di dispersione si procede ad individuare la curva della velocità di fase apparente tramite metodo manuale o semi-automatico.

La fase di inversione prevede una modellizzazione monodimensionale che consente di determinare un profilo di velocità delle onde di taglio Vs in funzione della profondità. L'elaborazione avviene tramite l'applicazione di un procedimento calcolo e un algoritmo di inversione (Xia et al. 1999a), che gestisce i parametri velocità di taglio (Vs) e spessore degli strati.



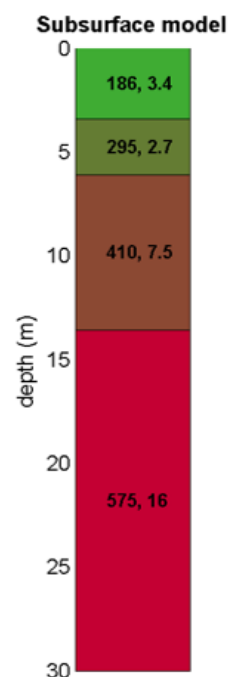
Curva di dispersione

Altri parametri previsti dal modello sono il coefficiente di Poisson e la velocità delle onde di volume (V_p) che, assieme allo spessore dei sismostrati e relative V_s , possono venire modificati anche manualmente. Tramite interazioni successive si ottiene un modello geofisico in grado di far coincidere con la migliore approssimazione possibile (errore quadratico medio inferiore al 5-10%) la curva di dispersione elaborata nella fase precedente e quella modellizzata.

Determinazione della categoria del suolo di fondazione

L'analisi delle onde di taglio (V_s) tramite metodo MASW, ha consentito di determinare gli spessori dei sismostrati e le relative velocità di taglio, come riportato in tabella e relativo diagramma, permettendo di calcolare il valore V_{s30} per la sezione indagata.

Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	Velocità onde S (m/sec)
3.4	3.4	186
6.1	2.7	295
13.6	7.5	410
30.0	16.4	575



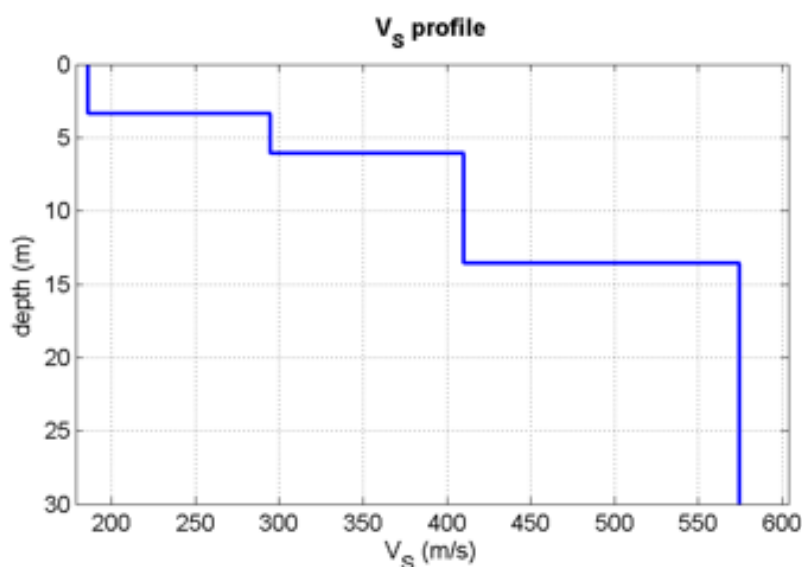


Diagramma Vs/profondità

Per i terreni in oggetto, nell'area sulla quale è in progetto la costruzione della nuova scuola materna, fino ai 30 m di profondità, tenuto conto dell'indagine effettuata, si è ottenuto un valore della V_{s30} pari a 404 m/sec, che definisce una **categoria di suolo di fondazione di tipo B**, riferibile a: *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti*, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica $N_{SPT} > 50$ nei terreni a grana grossa, o coesione non drenata $c_u > 250$ kPa nei terreni a grana fine).

Indagine sismica HVSR

Al fine di determinare le caratteristiche sismiche dei terreni costituenti il sottosuolo dell'area in esame, si è eseguita un'apposita indagine sismica passiva, in data 19/03/2019, mediante metodologia HVSR, con tromografo digitale, ubicata come da allegato 9.

La tecnica HVSR permette in primo luogo di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Successivamente, come ulteriore sviluppo, la stima del parametro normativo V_{s30} attraverso un processo di inversione del problema iniziale. Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate.

Si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x,y,z) con una singola stazione. Tale registrazione deve essere effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti.

Si esegue un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, detta Long Period, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce.



Esecuzione indagine sismica HVSR

Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.

Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a tapering e/o liscio secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee.

Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea.

Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di windowing.

Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.

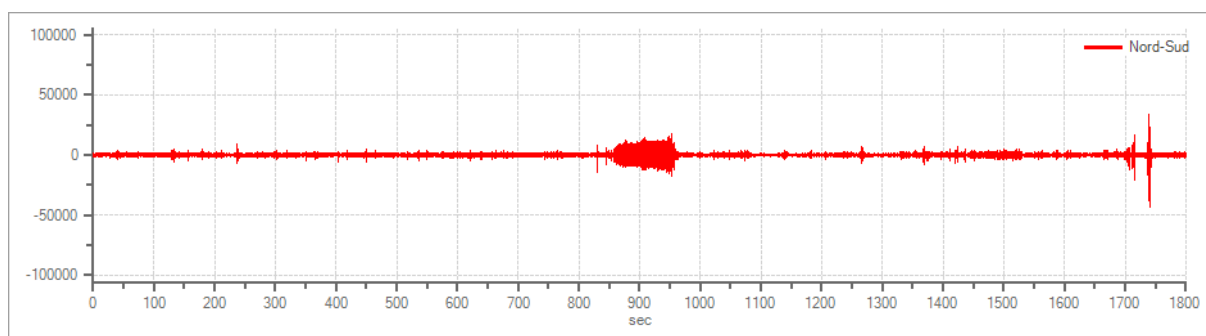
L'ulteriore ipotesi che questo rapporto spettrale possa ritenersi una buona approssimazione dell'ellitticità del modo fondamentale della propagazione delle onde di Rayleigh, permette di confrontare questi due al fine di ottenere una stima del profilo stratigrafico. Tale procedura, detta di inversione, consente di definire il profilo sostanzialmente in termini di spessore e velocità delle onde di taglio. Avendo quindi una stima del profilo della velocità delle onde di taglio, è possibile valutarne il parametro normativo V_{S30} .

Tracce in input

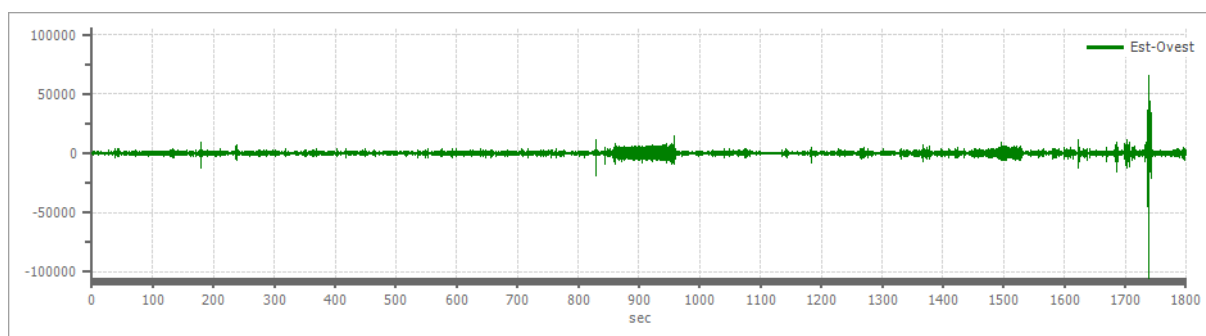
Dati riepilogativi:

Numero tracce:	3
Durata registrazione:	1800 s
Frequenza di campionamento:	200.00 Hz
Numero campioni:	360000
Direzioni tracce:	Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

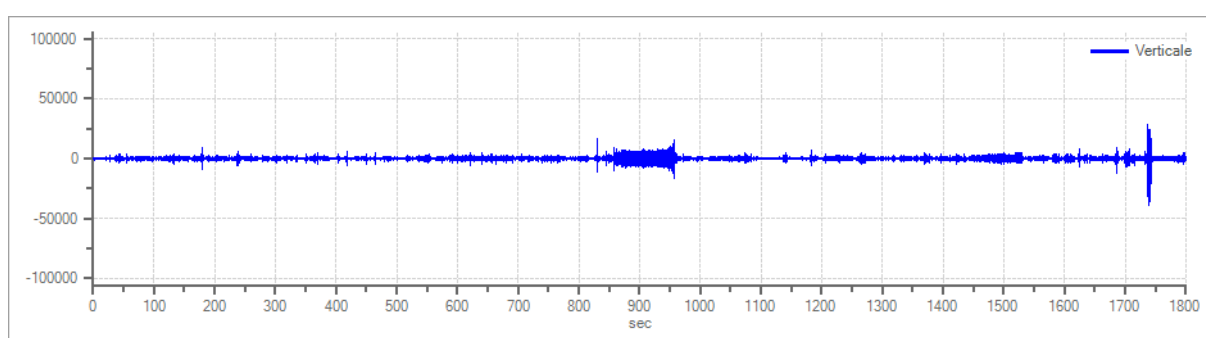
Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



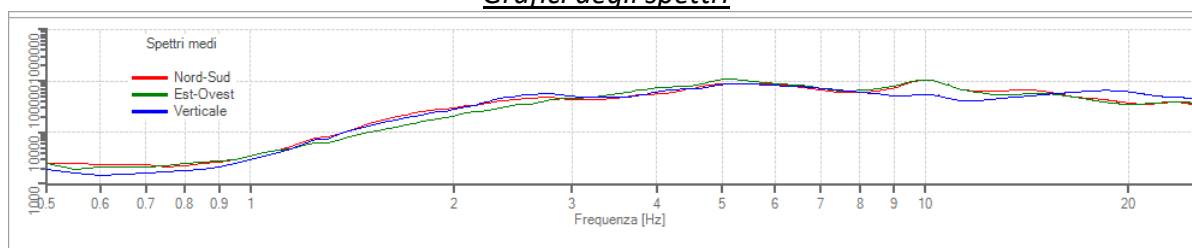
Traccia in direzione Verticale

Finestre selezionate

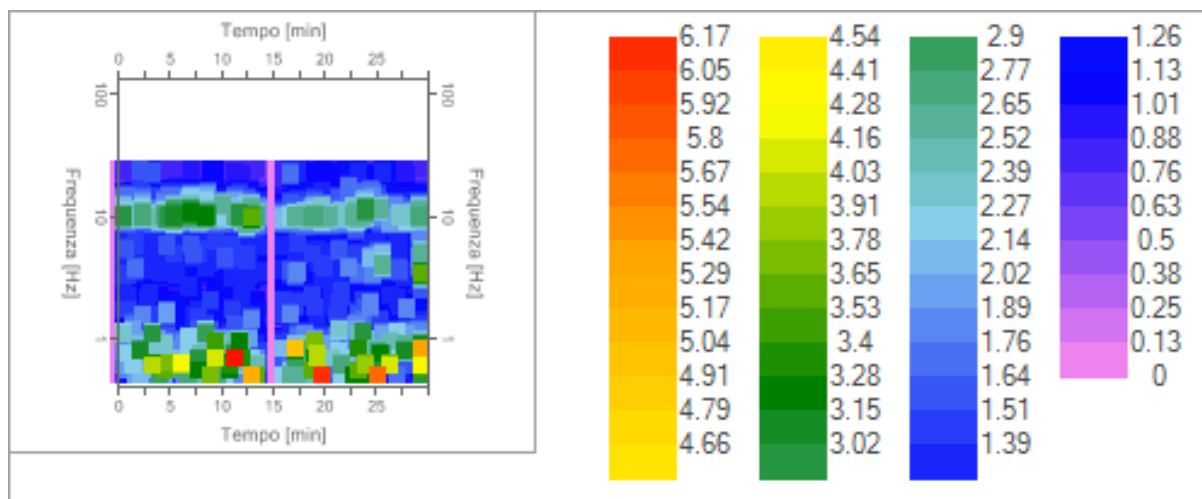
Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 80
 Numero finestre incluse nel calcolo: 80
 Dimensione temporale finestre: 20.000 s
 Tipo di lisciamiento: Konno & Ohmachi
 Percentuale di lisciamiento: 10.00 %
 Coefficiente di banda: 40.00

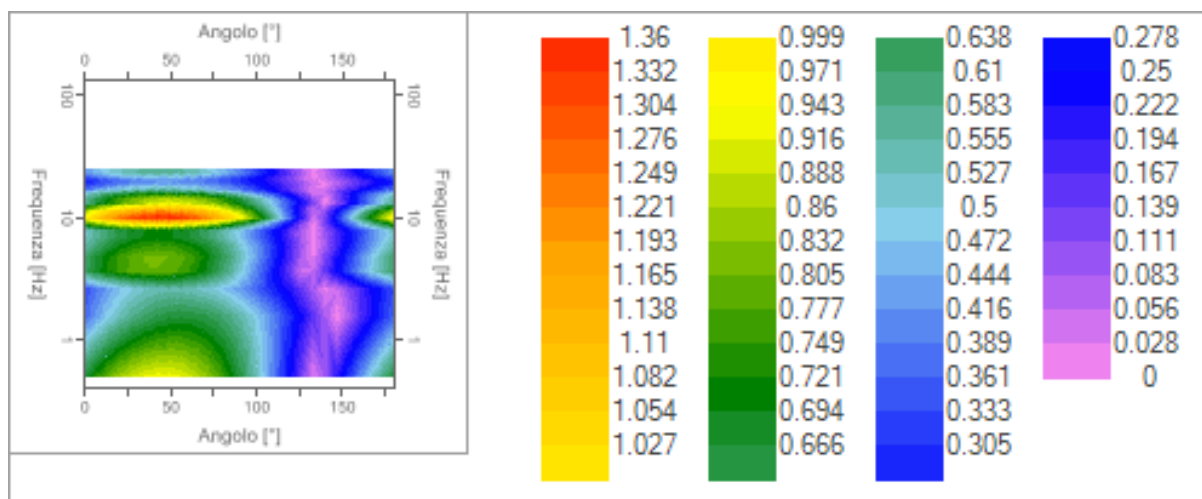
Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

Rapporto spettrale H/V

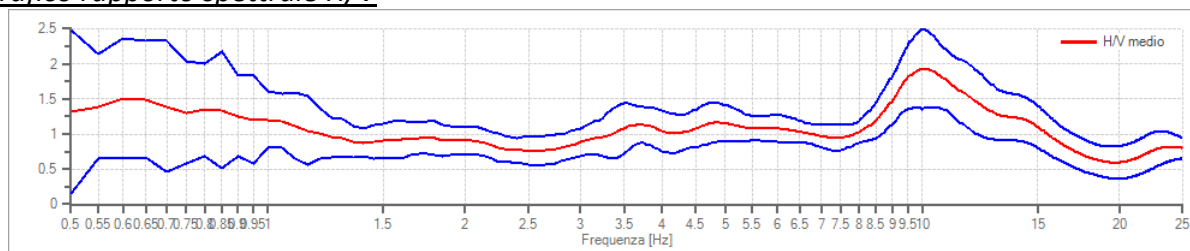
Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 25.00 Hz
 Frequenza minima: 0.50 Hz
 Passo frequenze: 0.05 Hz
 Tipo lisciamento: Konno & Ohmachi
 Percentuale di lisciamento: 10.00 %
 Tipo di somma direzionale: Media aritmetica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 10.05 Hz \pm 0.29 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H$	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5H$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Non superato
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

Si è definita una frequenza massima naturale di vibrazione dei terreni presenti pari a 25.00 Hz e minima pari a 0.50 Hz.

Sulla base della categoria di suolo di appartenenza del terreno, le NTC2018 associano un coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s , da applicare alle componenti orizzontali dell'azione sismica; viene inoltre definito un coefficiente C_c che serve per il calcolo del periodo di controllo T_c corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro di risposta elastico in accelerazione.

Poiché tale valore è riferito al bedrock, per definire il valore di a_g in superficie si calcola quindi il fattore S_s , caratteristico dell'area, che dipende dalla categoria di suolo di fondazione; essendo i terreni dell'area in esame in categoria B, avremo:

$$- S_s = 1.40 - (0.4 \times F_o \times a_g/g)$$

Viene inoltre definito un coefficiente C_c , che serve per il calcolo del periodo di controllo T_c , corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro di risposta elastico in accelerazione; in particolare T_c è calcolato come prodotto di C_c per il periodo T^*c , ottenuto dallo studio di pericolosità sismici del sito specifico, come riportato nella tabella precedente.

Per suoli in categoria B il coefficiente C_c risulta pari a.

$$- C_c = 1.1 \times (T^*c)^{-0.2}.$$

Le NTC 2018 di cui al DM 17/01/2018 prevedono anche un coefficiente di amplificazione topografica che tiene conto della particolare ubicazione del sito, in relazione alla sua configurazione morfologica. Vengono previste 4 categorie topografiche, a secondo della configurazione geometrica del sito, alle quali è associato un coefficiente di amplificazione S_T che varia da 1 a 1.4, come riportato nella tabella seguente.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica	Fattore di amplificazione S_T
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$	1
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	1.2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	1.2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	1.4

Per quanto concerne la topografia del sito, siamo nella categoria T1, caratterizzata da una superficie pianeggiante con inclinazione media inferiore o uguale a 15° , alla quale è associata un valore del **coefficiente di amplificazione topografica S_T pari a 1.**

Ciò detto, sulla base della collocazione del sito in oggetto, corrispondente al punto sul quale sono in progetto le opere previste, si ottengono i relativi parametri di pericolosità sismica, come riportato di seguito.

Sito in esame

latitudine: 44,52914
longitudine: 10,84039
Classe: 3
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1ID: 16723	Lat: 44,5050	Lon: 10,8272	Distanza: 2878,874
Sito 2ID: 16724	Lat: 44,5066	Lon: 10,8973	Distanza: 5161,586
Sito 3ID: 16502	Lat: 44,5565	Lon: 10,8952	Distanza: 5302,520
Sito 4ID: 16501	Lat: 44,5550	Lon: 10,8250	Distanza: 3122,463

Categoria sottosuolo: B
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: 75 anni
Coefficiente cu: 1.5

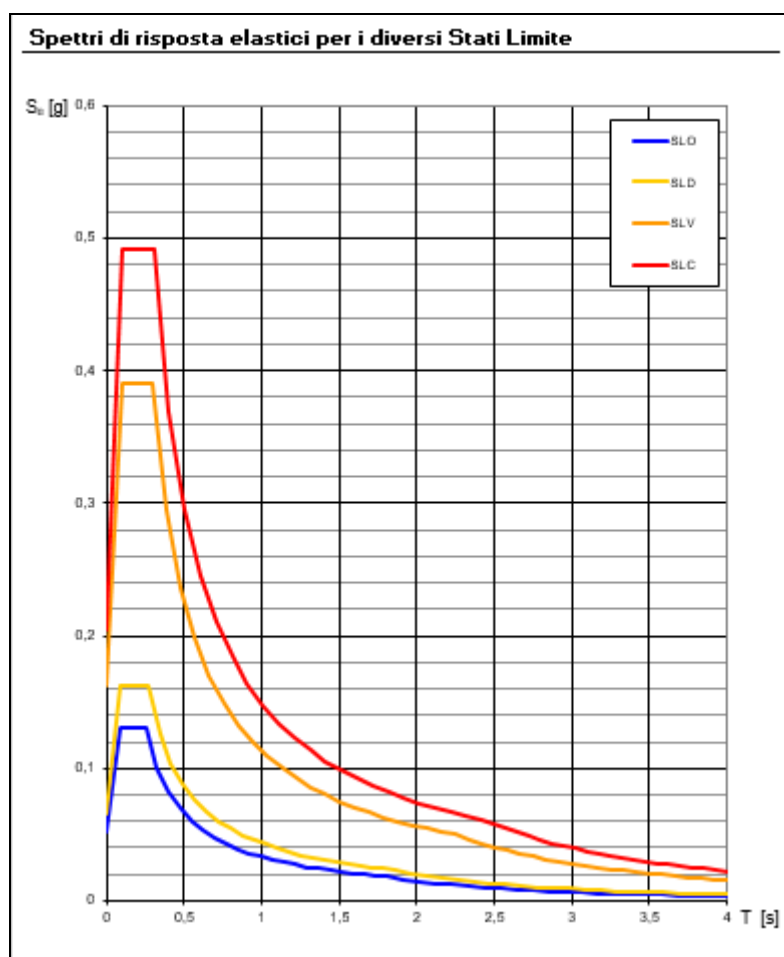
Parametri sismici

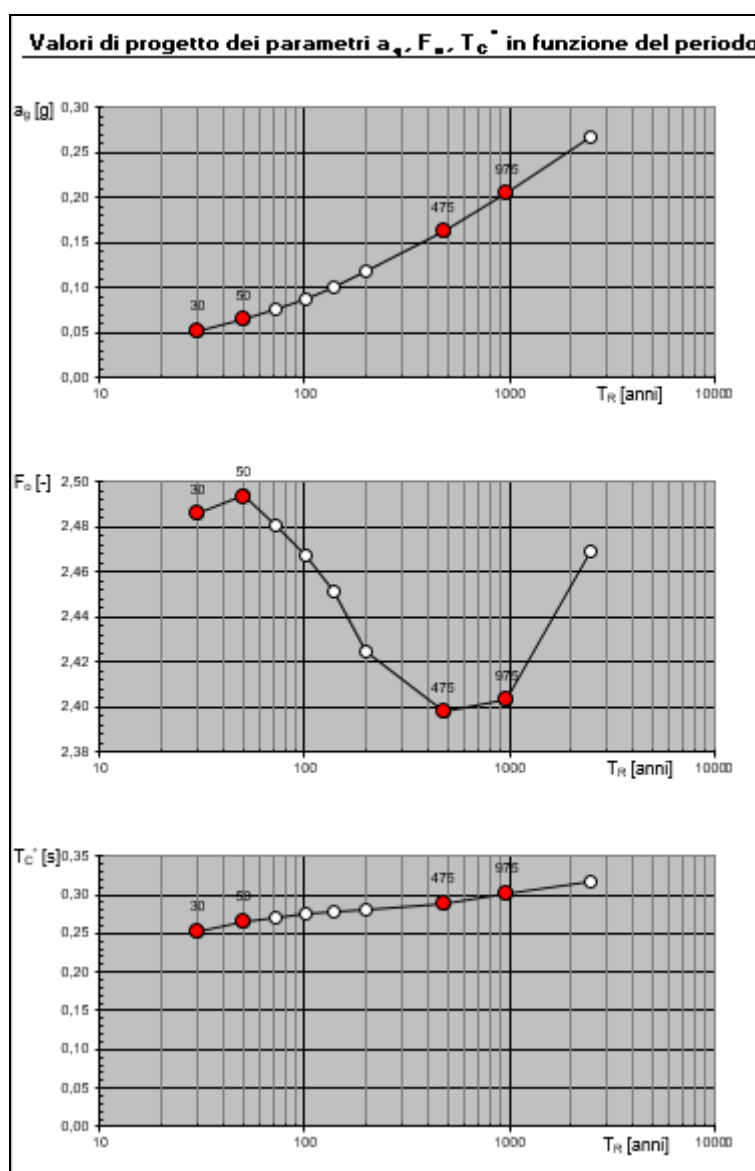
	Operativa SLO	Danno SLD	Salvaguardia della vita SLV	Prevenzione dal collasso SLC
Tr (anni)	45	75	712	1462
Ag (g)	0,062	0,077	0,185	0,230
Fo	2,492	2,478	2,396	2,428
Tc* (s)	0,263	0,272	0,298	0,309

Coefficienti Sismici

	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss	1,200	1,200	1,200	1,180
Cc	1,440	1,430	1,400	1,390
St	1,000	1,000	1,000	1,000
Kh	0,015	0,019	0,053	0,076
Kv	0,007	0,009	0,027	0,038
Amax	0,733	0,910	2,182	3,659
Beta	0,200	0,200	0,240	0,280

Dove Kh e Kv sono i coefficienti sismici, orizzontale e verticale, per il sito in esame, calcolati, nei diversi stati limite, mediante il coefficiente di riduzione sismica Beta (funzione della categoria di suolo). Noti i parametri di pericolosità sismica si possono calcolare gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticali) delle azioni sismiche di progetto per il sito in esame.





Verifica alla suscettibilità alla liquefazione

Nella nuova normativa tecnica, di cui al D.M. 17/01/2018, è richiesto di effettuare la verifica a liquefazione nel caso in cui siano presenti, nei primi 20 m di profondità del sottosuolo indagato, terreni granulari saturi (sabbie e sabbie limose) predisposti al fenomeno della liquefazione in caso di sisma. Dalle indagini eseguite è emerso che, dal punto di vista litostratigrafico, il sottosuolo dell'area in esame è costituito da terreni superficiali prevalentemente fini, limosi e argillosi e relativi termini intermedi, sino a circa 5/8m, per poi ritrovare il primo strato di ghiaia, spesso fino a circa 9/12 m di profondità, per poi tornare a incontrare terreni fini limo argillosi fino ai 20 m di profondità, non rilevando altresì livelli sabbiosi saturi predisposti al fenomeno della liquefazione. Pertanto da tale punto di vista si ritiene il **rischio di liquefazione nullo**.

Tale situazione è confermata anche dalla Carta del rischio sismico, estratta dal PTCP della Provincia di Modena, che si riporta in allegato 8, ove si evince che l'area in esame è caratterizzata dalla presenza di terreni soggetti alla sola amplificazione stratigrafica.

. B4) CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

La caratterizzazione geotecnica dei terreni del primo sottosuolo è stata eseguita mediante l'elaborazione delle tre prove penetrometriche statiche eseguite sull'area, sulla quale è previsto l'intervento in progetto, spinte sino alla profondità di 8/5 m dal piano campagna, profondità alla quale si è rinvenuto un primo strato di ghiaia molto competente, che non ha permesso oltre l'avanzamento.

Per l'esecuzione delle tre prove penetrometriche si è reso necessaria l'esecuzione di un preforo, mediante mini escavatore meccanico, considerata la presenza sull'area di terreni di riporto per circa 1,20 m di spessore.

Le prove sono poi state confrontate con altre prove effettuate nelle vicinanze dell'area in esame, dallo scrivente, in occasione di precedenti interventi edilizi, rilevando una sostanziale omogeneità della situazione.

La parametrizzazione delle unità litotecniche del sottosuolo è stata redatta attraverso le correlazioni proposte in letteratura, con riferimento alle unità litostratigrafiche prima descritte. I terreni interessati dalle strutture di fondazione in progetto, ovvero i più interessati dall'interazione struttura-terreno, sono quelli dell'unità A, sufficientemente consistenti da affrontare le normali problematiche fondazionali.

Da un punto di vista geotecnico, le prove effettuate hanno evidenziato la presenza di terreni con buone caratteristiche di resistenza. Superficialmente, almeno fino a circa 1.20 m di profondità, si rilevano terreni di riporto legati alla presenza del parcheggio che occupa attualmente l'area sulla quale è prevista la costruzione della nuova scuola.

Sulla base dei dati ottenuti, per il fabbricato in progetto, si ritiene del tutto idonea l'adozione di fondazioni superficiali, il cui piano di posa dovrà essere collocato ad una profondità non inferiore a 1.2 cm dal p.d.c. attuale in modo tale da consentire di fatto il superamento del terreno superficiale più alterato e soprattutto di riporto, compreso direttamente nella zona soggetta alle variazioni di umidità e temperatura.

Sulla base delle prove eseguite si è stimata una portanza in termini di tensioni ammissibili pari a 1.5 Kg/cm²; tale valore dovrà essere comunque verificato una volta progettati i singoli interventi e noti i carichi agenti, agli stati limite, ultimo e di esercizio, come previsto dalle norme vigenti (NTC2018).

Nelle tabelle seguenti è riportata per la prova eseguita la caratterizzazione litostratigrafica e geotecnica media, con i principali parametri medi, utili alle successive verifiche.

Parametri geotecnici

Prova P1

Strato	Prof.	Rpm	Cu	C'	ϕ	Mo	γ	Dr	v	w	Tipo
1	1,20 – 3,40	23	0,87	0,29	21	70	1,9	/	0,44	2,5	Argille limose
2	3,40 – 5,20	42	1,40	0,55	19	108	1,9	/	0,40	4	Argille limose
3	5,20 – 5,80	188	/	/	39	396	2,2	78	0,30	12	Ghiaie

Prova P2

Strato	Prof.	Rpm	Cu	C'	ϕ	Mo	γ	Dr	v	w	Tipo
1	1,40 – 3,80	29	0,98	0,34	21	82	1,9	/	0,43	2,5	Argille limose
2	3,80 – 8	39	1,30	0,50	19	102	1,9	/	0,42	3	Argille limose
3	8,00 – 8,40	200	/	/	39	420	2,2	80	0,30	12	Ghiaie

Prova P3

Strato	Prof.	Rpm	Cu	C'	ϕ	Mo	γ	Dr	v	w	Tipo
1	1,40 – 4,20	28	0,97	0,34	21	80	1,9	/	0,43	2,5	Argille limose
2	4,20 – 7,40	45	1,50	0,60	19	114	1,9	/	0,40	4	Argille limose
3	7,40 – 7,80	190	/	/	39	400	2,2	80	0,30	12	Ghiaie

dove:

Strato: Numero progressivo strato

Prof: Profondità base strato (m)

Rpm: Resistenza alla punta media (Kg/cm²)

Cu: Coesione non drenata (Kg/cm²)

C': Coesione efficace (Kg/cm²)

Dr: Densità relativa (%)

ϕ : Angolo di resistenza al taglio (°)

Mo: Modulo Edometrico (Kg/cm²)

γ : Peso unità di volume (t/m³)

w: Coefficiente di Winkler (Kg/cm³)

v: Coefficiente di Poisson

Tipo: Litologia prevalente strato

Per il 1° strato quello maggiormente compressibile, grosso modo fino a circa 4 m di profondità, si sono inoltre stimati i principali valori di deformazione del terreno di sottofondazione e in particolare:

Strato	Prof.	Rpm	E	OCR	Cc	Cr	e
1	0 – 3,40/4,20	27	154	1,6	0,28	0,023	0,58

dove:

Rpm: Resistenza alla punta media (Kg/cm²)

E: Modulo elastico (Kg/cm²)

OCR: Grado di sovraconsolidazione

Cc: Coefficiente di compressione

Cr: Coefficiente di ricomprensione

E: Indice dei vuoti

. C) CONCLUSIONI

La presente relazione tratta dei caratteri geologici, geomorfologici, sismici e geotecnici di un'area posta in via Ghiarola, nel centro abitato di Spezzano, nel comune di Fiorano Modenese (Mo), sulla quale è in progetto la costruzione di una nuova Scuola materna. Sulla base delle indagini eseguite, considerazioni svolte si dichiara **la fattibilità dell'intervento in progetto**.

Dallo studio eseguito è emerso che l'area si colloca in una zona pianeggiante che permette uno sviluppo edilizio dell'intervento in progetto senza particolari problemi, con presenza di terreni alluvionali stabili, caratterizzati da buone caratteristiche geotecniche.

La caratterizzazione dei terreni di sottofondazione nell'area in esame, è stata ottenuta attraverso l'esecuzione di tre prove penetrometriche statiche spinte sino alla profondità massima di 5/8 m dal piano campagna attuale, profondità alla quale si è rinvenuto un primo strato di ghiaia molto competente, che non ha permesso oltre l'avanzamento delle prove stesse. I dati ottenuti hanno consentito di definire il modello geologico e geotecnico del terreno del primo sottosuolo, sulla base del quale eseguire le successive verifiche.

Nello specifico si rileva una dominante copertura di terreni fini e medio fini, limo argillosi e argillo limosi, fino a circa 5/8 metri di profondità, alla quale si rinviene il primo strato di ghiaia. Sulla base dei dati ottenuti, per il fabbricato in progetto, si ritiene del tutto idonea l'adozione di fondazioni superficiali, il cui piano di posa dovrà essere collocato ad una profondità non inferiore a 1.2 cm dal p.d.c. attuale in modo tale da consentire di fatto il superamento del terreno superficiale più alterato e in parte di riporto, compreso direttamente nella zona soggetta alle variazioni di umidità e temperatura. Sulla base delle prove eseguite si è stimata una portanza in termini di tensioni ammissibili pari a 1.5 Kg/cm²; tale valore dovrà essere comunque verificato una volta noti i carichi agenti, agli stati limite, ultimo e di esercizio, come previsto dalle norme vigenti (NTC2018). L'area non presenta un livello di falda freatica superficiale, che in zona si colloca oltre i 10 metri di profondità. Dal punto di vista sismico si dovrà fare riferimento come zonizzazione per il comune di Fiorano Modenese, alla zona 2. Si è classificata l'area in esame definendo i parametri di pericolosità sismica di base; quindi, mediante apposita indagine sismica MASW, si è determinata la categoria sismica di suolo di fondazione dei terreni presenti, risultata essere la categoria B, mediante la quale si sono determinati per l'area specifica i fattori di amplificazione locale, ai sensi delle norme vigenti sia stratigrafica sia topografica. Attraverso apposita indagine sismica HVSR, mediante tromografo digitale, si è definita la frequenza naturale dei terreni presenti e quindi la possibilità di eventuali fenomeni di risonanza in caso di sisma. Si è verificato come non vi sia per i terreni in esame rischio di liquefazione, in caso di sisma, non rilevando la presenza di terreni sabbiosi saturi, predisposti a tale fenomeno. In ogni modo, in fase esecutiva occorrerà durante le operazioni di cantiere, l'assistenza dello scrivente per la verifica in corso d'opera delle condizioni geotecniche assunte in questa sede.

Modena, 26/04/2019

Il Tecnico
Dott. Geol. Alessandro Maccaferri



ALLEGATI

Allegato 1 – Inquadramento geografico

Allegato 2 – Ubicazione area d'interesse

Allegato 3 – Foto aerea zona in esame

Allegato 4 – Planimetria catastale area in oggetto

Allegato 5 – Carta geologica

Allegato 6 – Carta della litologia superficiale

Allegato 7 – Carta della zonizzazione sismica

Allegato 8 – Carta del rischio sismico PTCP


Allegato 9 – Ubicazione indagini geognostiche

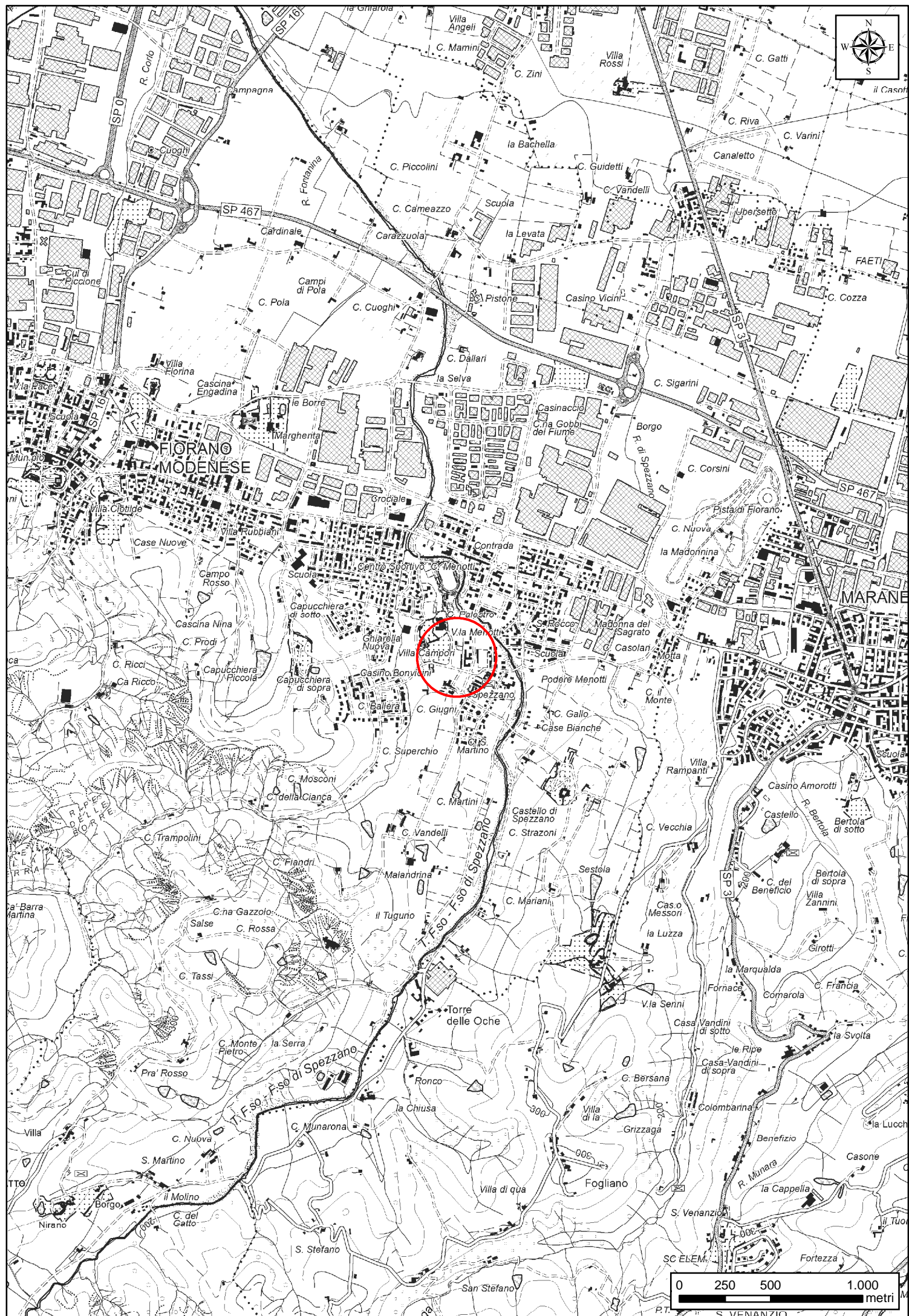
Allegato 10 – Prove penetrometriche statiche

Inquadramento Geografico

C.T.R. scala 1 : 25.000

Estratto Tavola 219NE "Formigine"


 Ubicazione area in oggetto



Ubicazione area in studio

C.T.R. scala 1 : 5.000

Estratto Elemento 219074 "Maranello"

 Ubicazione area in oggetto

A
L
L
E
G
A
T
O

2

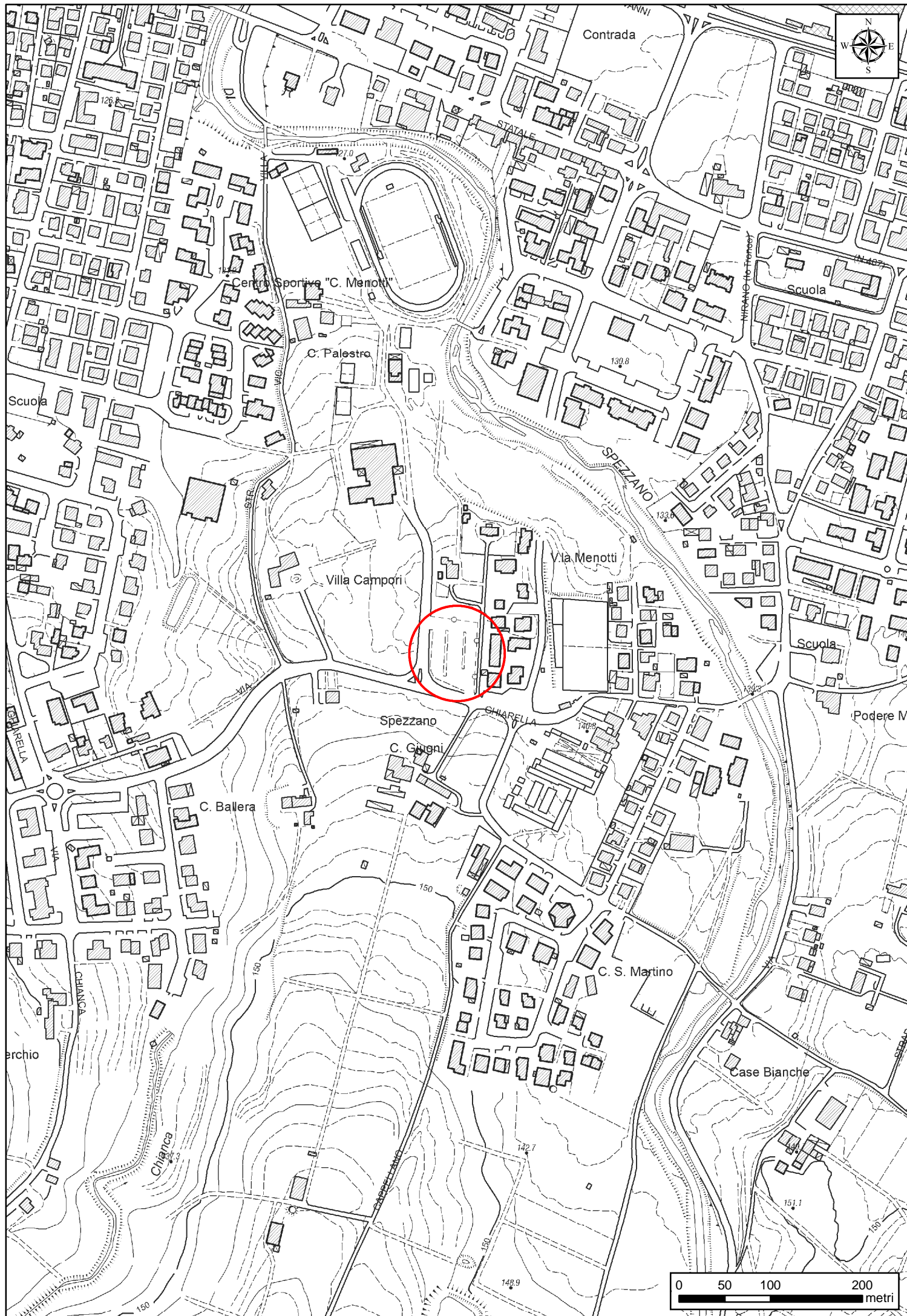


Foto aerea della zona in studio

Google Earth 2018



Ubicazione area in oggetto

A
L
L
E
G
A
T
O

3



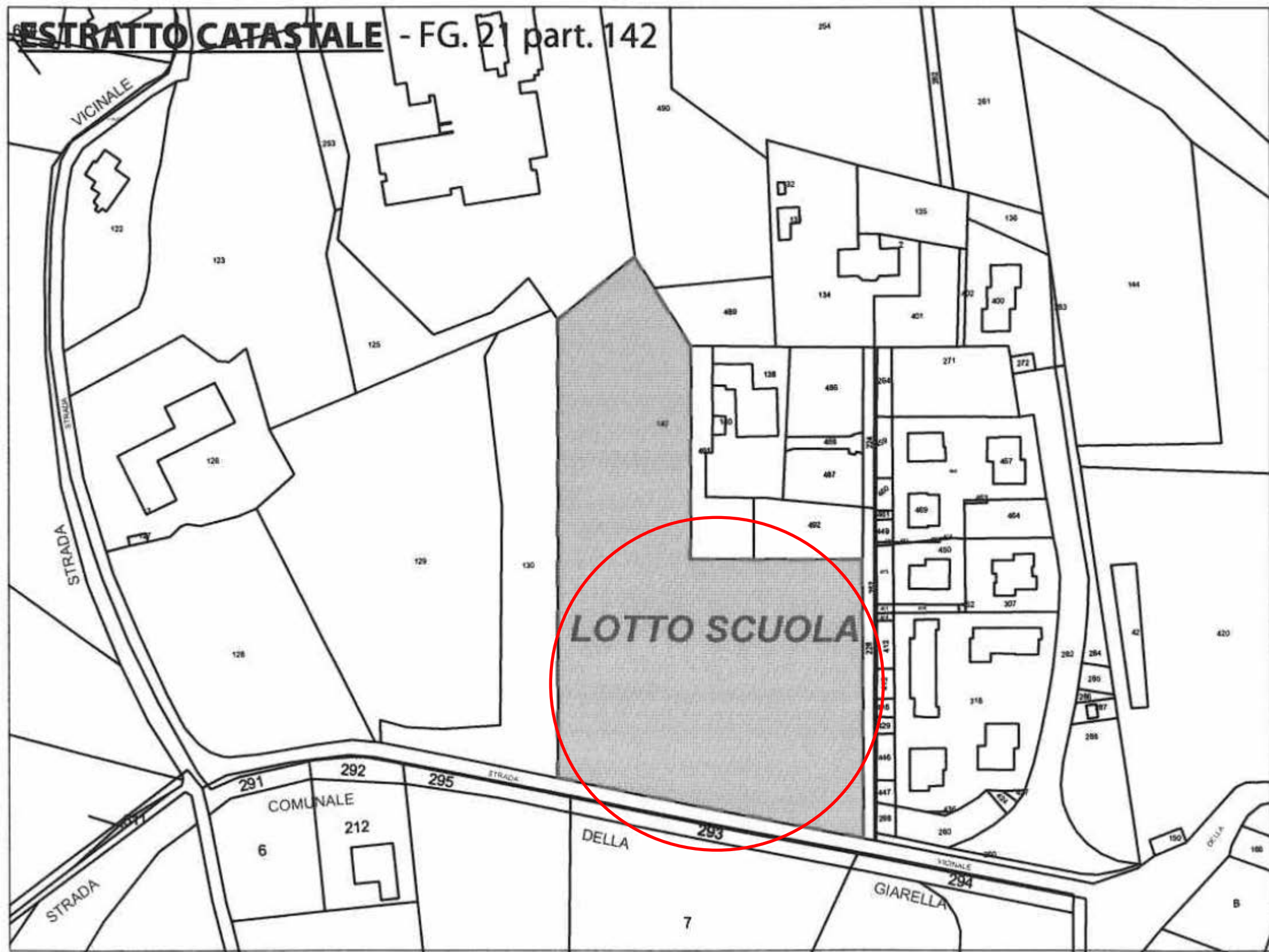
Planimetria catastale

Foglio 21 mappale 142

A
L
L
E
G
A
T
O


4

ESTRATTO CATASTALE - FG. 21 part. 142



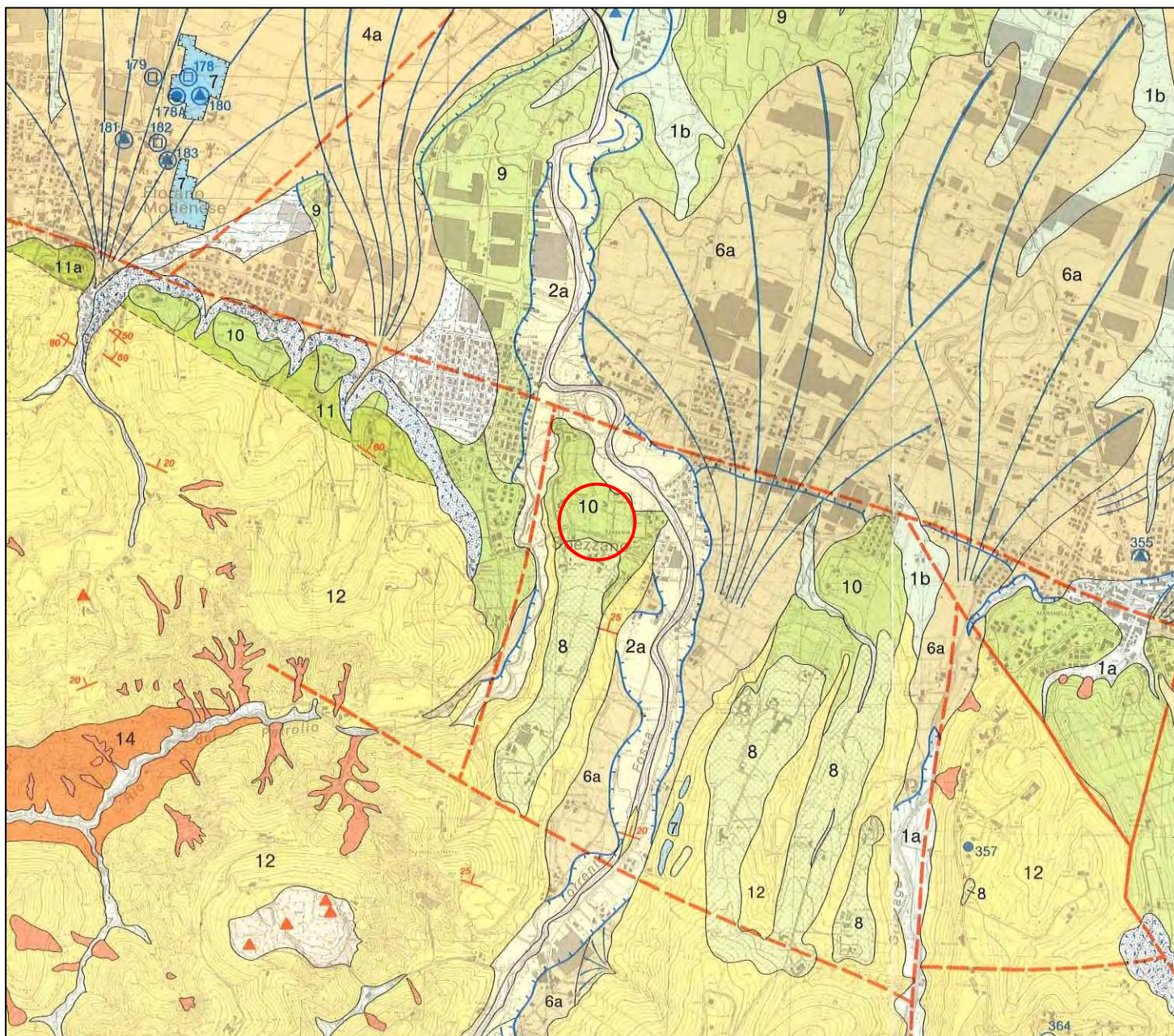
Carta geologica dell'alta pianura modenese

Scala 1 : 25.000

 Ubicazione area in oggetto

A
L
L
E
G
A
T
O

5




Legenda:

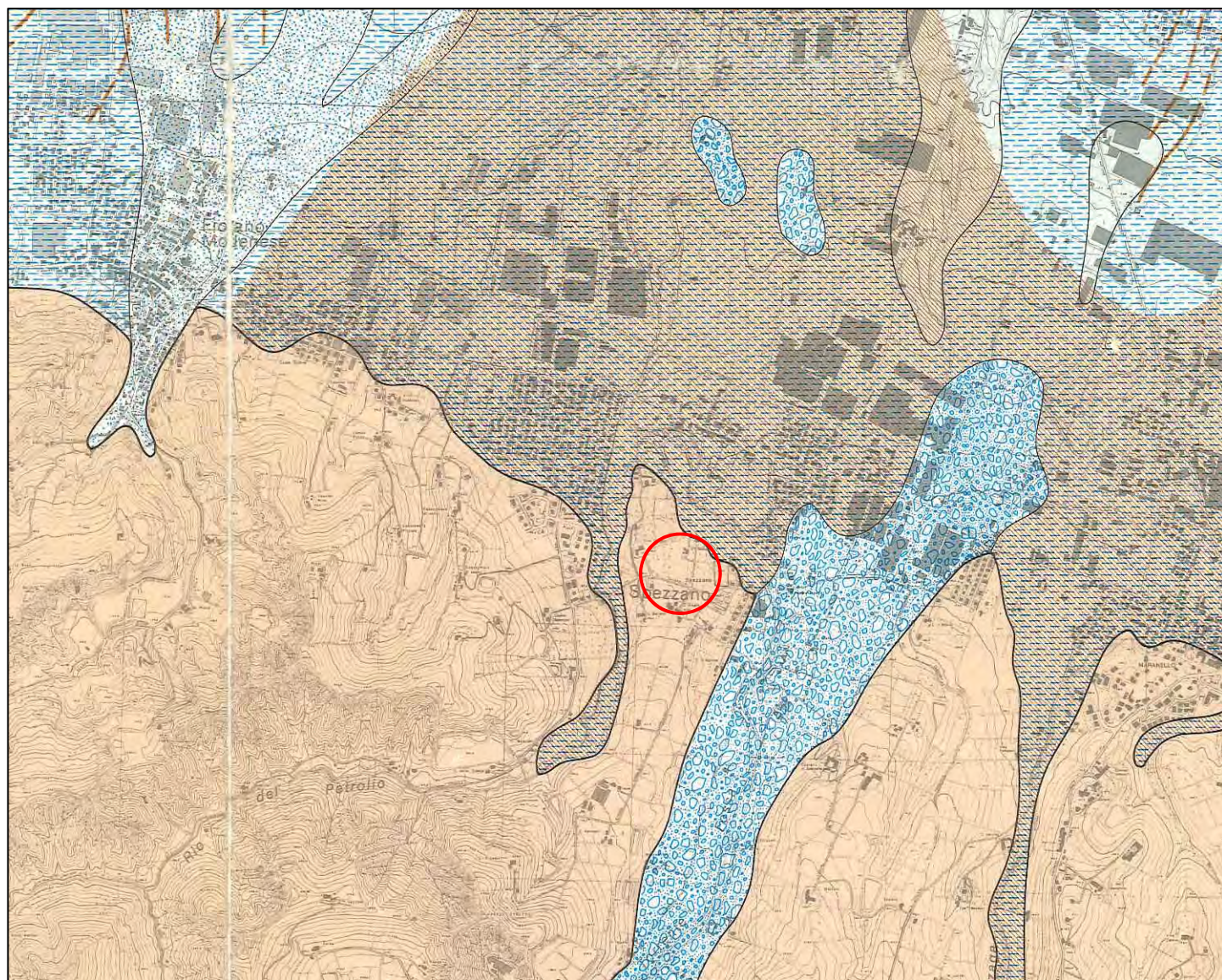
1a	Depositi terrazzati negli alvei attuali: ghiaie e sabbie, prevalenti, dei fiumi principali; limi e sabbie, prevalenti, degli alvei minori, comprensivi dei depositi limo-argillosi colluviali ad essi talora sovrapposti. Età: <i>Attuale</i> .
1b	Riempimento degli alvei minori relitti: sedimenti limo-sabbiosi di prevalente origine colluviale. Età: <i>Attuale</i> .
6a	Unità di Maranello: depositi sabbici so-limosi con lenti di ghiaie delle conoidi alluvionali pedemontane dei corsi d'acqua minori. A tetto vertisuoli e suoli bruni lisciviati con orizzonti B di spessore inferiore al metro, non rubefatti. Età: <i>Pre-Neolitico</i> .
8	Unità di Spezzano: depositi colluviali e loessici pedogenizzati contenenti industrie tardo-acheuleane sovrapposti a un glacis pedemontano secante le Unità 10, 11, 12. Età: <i>Pleistocene medio</i> .
9	Unità Ubersetto: depositi prevalentemente ghiaiosi e sabbiosi di conoidi alluvionali pedemontane. A tetto suoli policiclici lisciviati debolmente rubefatti (Hue: 5-7,5 YR) con profilo di alterazione potente circa m 3, ricoperto da una coltre metrica di loess pedogenizzato contenente industrie tardo-acheuleane. Età: <i>Pleistocene medio</i> .
10	Unità Ca di Sola: depositi ghiaioso-sabbiosi ed argillosi di sovrapposti cicli positivi di sedimentazione fluviale tipo braided. A tetto suolo policiclico fersiallitico lisciviato rubefatto (Hue: 5 YR) con profilo di alterazione spesso circa m 5, a luoghi erosivi, ricoperto da loess pedogenizzato contenente industrie tardo-acheuleane. Alla base dell'Unità faune continentali con <i>Helephus meridionalis</i> e <i>Minomys</i> . Età: <i>tardo Pleistocene inferiore - Pleistocene medio</i> .
11	Sabbie di Castelvetro: sabbie, sabbie con lenti di ghiaie e talora ghiaie (a), di ambiente litorale, a stratificazione obliqua. Età: <i>Pleistocene inferiore</i> .
12	Argille del T. Tiepido: argille siltose marine grigio-azzurre a ritmo di stratificazione variabile, da massiva a sottile; intercalazioni di sabbie fini, prevalenti alla base, in strati da centimetrici a metrici. L'unità è trasgressiva su 14, 15, 16 con contatto caratterizzato talora da minuto conglomerato (a). Cenozona a <i>G. pachyderma</i> e a <i>H. balthica</i> . Età: <i>Pleistocene inferiore - Pliocene superiore (?)</i> .
14	Argille del Rio del Petrolio: argille marnose marine raramente stratificate di colore grigio chiaro. Cenozona a: <i>G. margaritae</i> e <i>U. rutila</i> . Età: <i>Pliocene inferiore</i> .

Unità dei corsi d'acqua minori: depositi di conoidi alluvionali limo-sabbiosi e argillosi e sabbioso-limosi con lenti di ghiaie; a tetto suoli alluvionali poco evoluti(*):
 2a posteriori alle opere di difesa spondali costruite tra il XV-XVI e il XX secolo.
 Età: *XV-XX secolo*.
 3a ricoprenti evidenze archeologiche di età romana.
 Età: *Medioevo*.
 4a alla base materiali archeologici neolitici e a tetto o in superficie materiali archeologici dell'Età del bronzo e romana.
 Età: *Neolitico - Romano*.

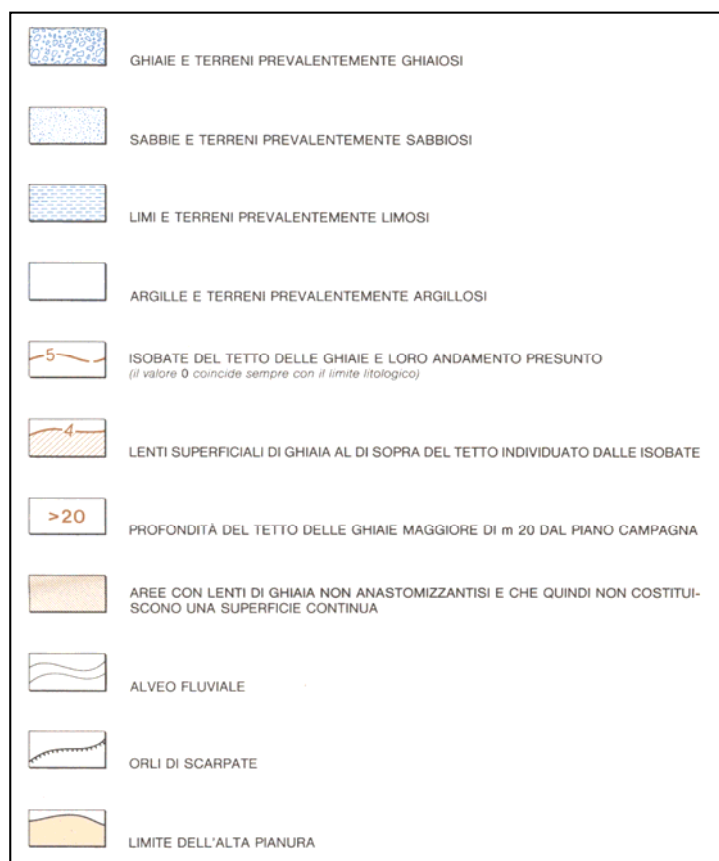
Carta della litologia di superficie

Scala 1 : 25.000


 Ubicazione area in oggetto



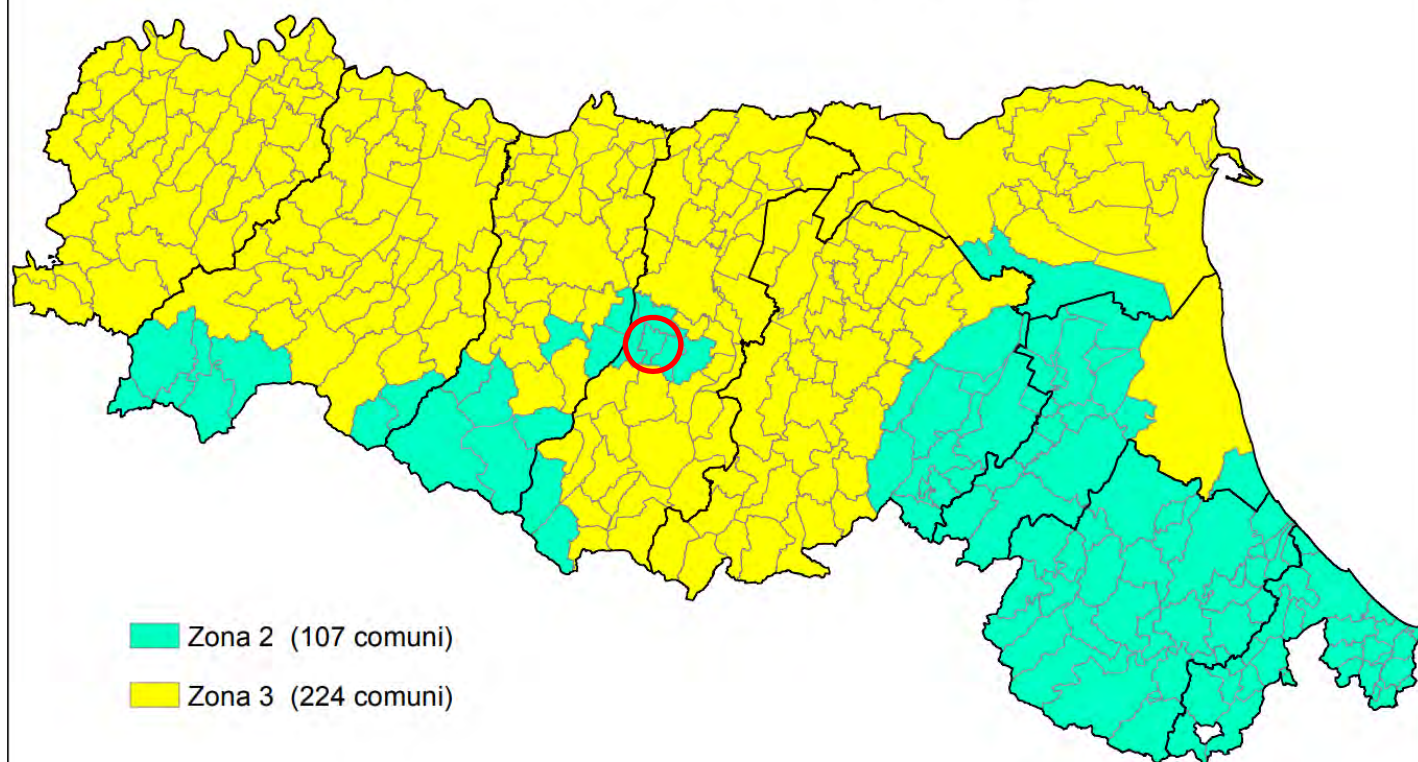
Legenda:



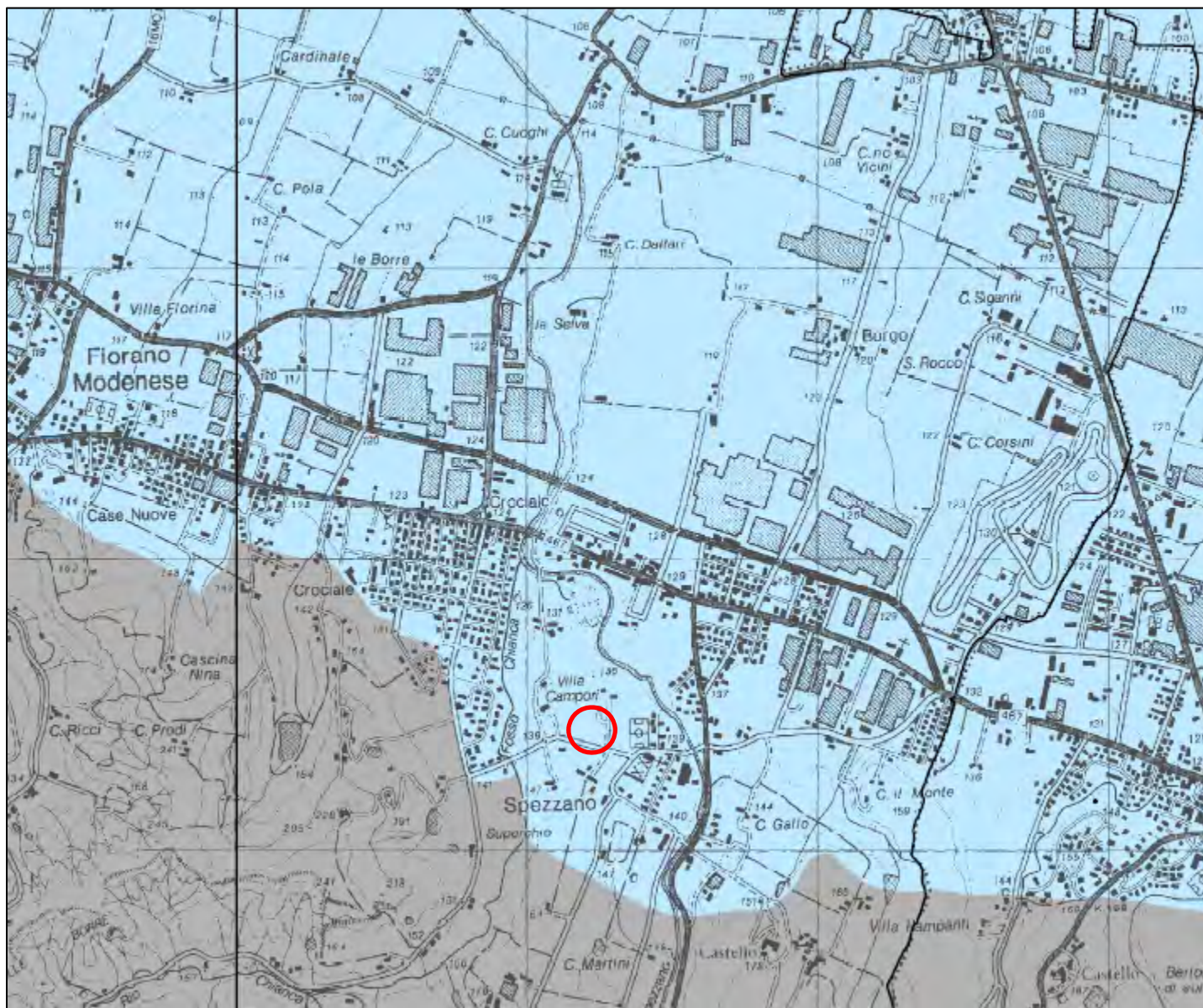
Carta della zonizzazione sismica

 Comune di Fiorano Modenese

Classificazione sismica dei comuni dell'Emilia-Romagna



<p>Carta delle sicurezze del territorio</p> <p>Tav. 2.2: Rischio sismico: carta delle aree suscettibili di effetti locali</p> <p>Estratto PTCP Modena 1:25.000</p> <p> Ubicazione area in oggetto</p>	<p>A L L E G A T O</p>	<p>8</p>
---	---	-----------------



LEGENDA:

5	<p>Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche <u>studi</u>*: valutazione del coefficiente di amplificazione litologico; <u>microzonazione sismica</u>*: approfondimenti di II livello.</p>
---	---

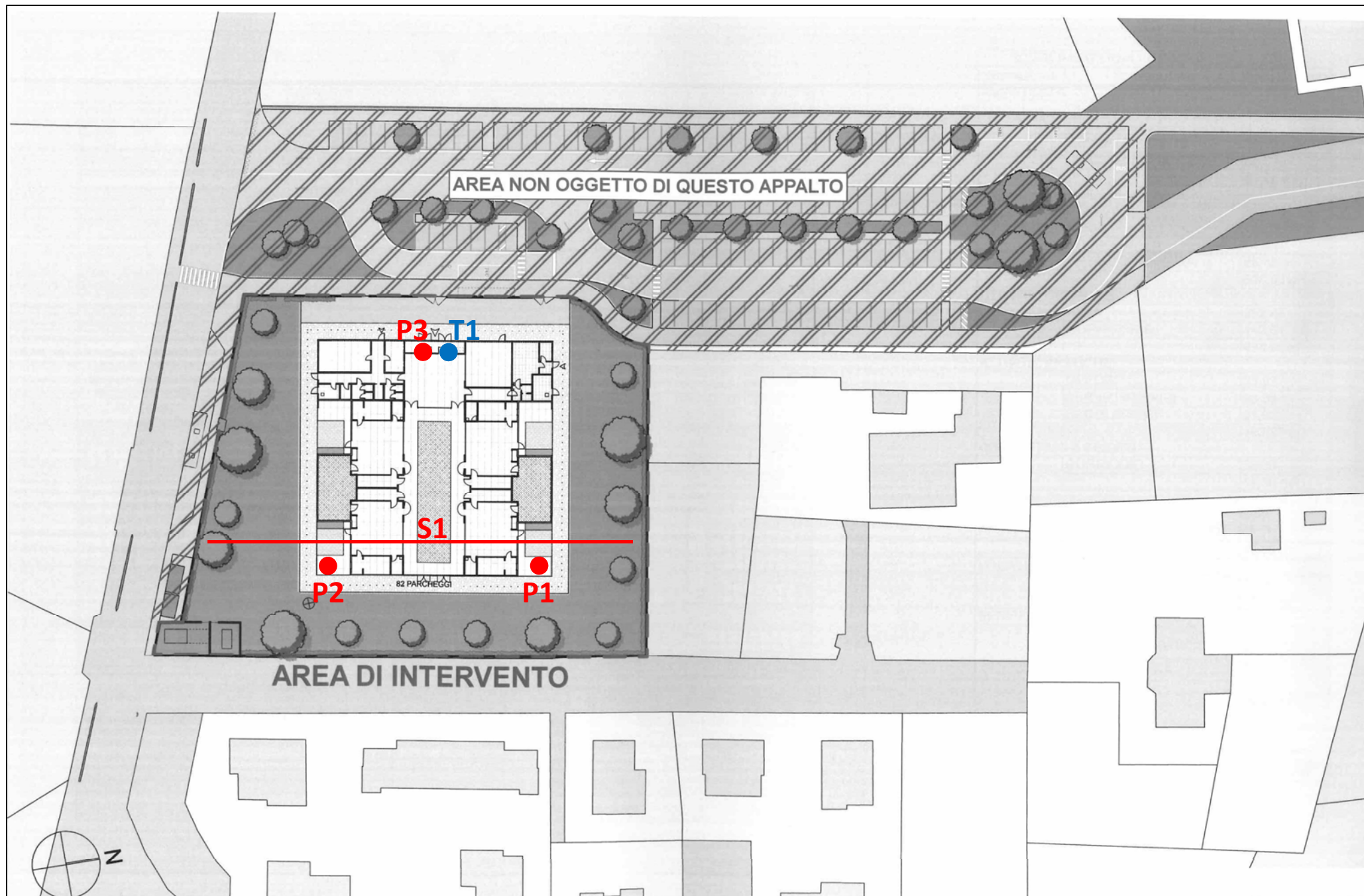
	<p>territorio interessato dalla cartografia serie 10b (scala 1:10.000)</p>
--	--

**Planimetria di progetto con ubicazione
indagini geognostiche**

● **P1** Prova penetrometrica CPT

● **T1** Indagine sismica HVSr

— **S1** Indagine sismica MASW



Prove penetrometriche

**A
L
L
E
G
A
T
O**

10

DOTT. GEOL. A. MACCAFERRI

Viale Caduti in Guerra 1 - Modena

Prova n°: 3

Quota: P.C.

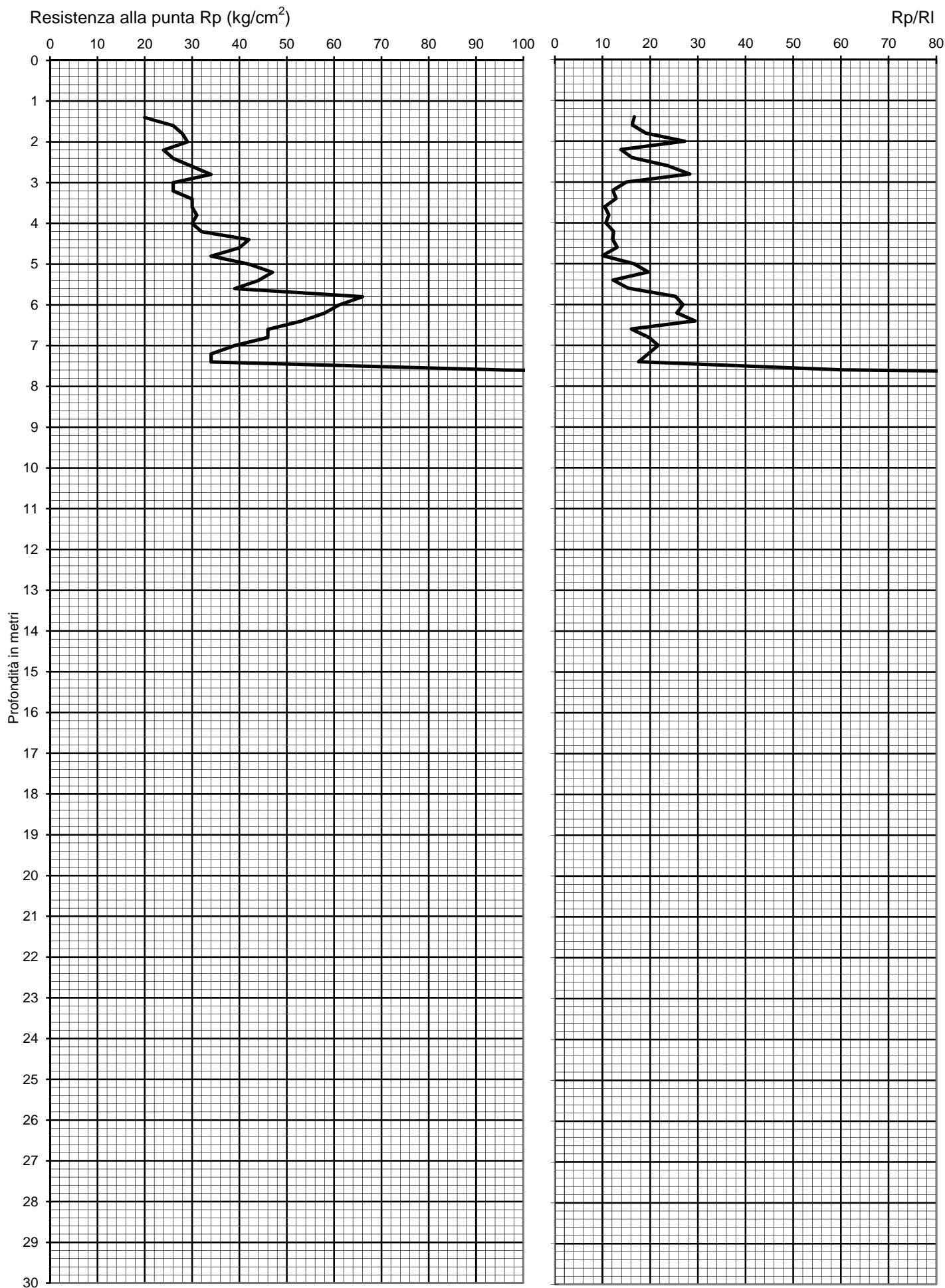
Data: 19/03/2019

Località: Via Ghiarola - Spezzano - Fiorano M. (Mo)

Committ.: Comune di Fiorano Modenese

Certificato: **58**

Data emissione: 20/03/19



DOTT. GEOL. A. MACCAFERRI

Viale Caduti in Guerra 1 - 41121 Modena

PROVA PENETROMETRICA STATICA

Penetrometro Gouda

Certificato n. : **58**

Data emissione: 20/03/19

Committente : Comune di Fiorano Modenese

Località : Via Ghiarola - Spezzano - Fiorano M. (Mo)

Prova numero : 3

Data : 19/03/2019

Operatore : Dr. A. Maccaferri

Quota : P.C.

DOTT. GEOL. A. MACCAFERRI

Viale Caduti in Guerra 1 - Modena

Prova n°: 3 Quota: P.C. Data: 19/03/2019
Località: Via Ghiarola - Spezzano - Fiorano M. (Mo)
Committ.: Comune di Fiorano Modenese
Certificato: **58** Data emissione: 20/03/19

Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
0,20					
0,40					
0,60					
0,80					
1,00					
1,20					
1,40	20	38	20	1,20	16,67
1,60	26	50	26	1,60	16,25
1,80	28	50	28	1,47	19,09
2,00	29	45	29	1,07	27,19
2,20	24	50	24	1,73	13,85
2,40	26	50	26	1,60	16,25
2,60	30	49	30	1,27	23,68
2,80	34	52	34	1,20	28,33
3,00	26	52	26	1,73	15,00
3,20	26	58	26	2,13	12,19
3,40	30	65	30	2,33	12,86
3,60	30	73	30	2,87	10,47
3,80	31	72	31	2,73	11,34
4,00	30	72	30	2,80	10,71
4,20	32	71	32	2,60	12,31
4,40	42	94	42	3,47	12,12
4,60	40	86	40	3,07	13,04
4,80	34	85	34	3,40	10,00
5,00	42	80	42	2,53	16,58
5,20	47	83	47	2,40	19,58
5,40	44	98	44	3,60	12,22
5,60	39	77	39	2,53	15,39
5,80	66	105	66	2,60	25,38
6,00	61	95	61	2,27	26,91
6,20	58	92	58	2,27	25,59
6,40	53	80	53	1,80	29,44
6,60	46	89	46	2,87	16,05
6,80	46	81	46	2,33	19,71
7,00	39	66	39	1,80	21,67
7,20	34	60	34	1,73	19,62
7,40	34	63	34	1,93	17,59
7,60	96	120	96	1,60	60,00
7,80	280	300	280	1,33	210,00
8,00					
8,20					
8,40					
8,60					
8,80					
9,00					
9,20					
9,40					
9,60					
9,80					
10,00					
10,20					
10,40					
10,60					
10,80					
11,00					
11,20					
11,40					
11,60					
11,80					
12,00					
12,20					
12,40					
12,60					
12,80					
13,00					
13,20					
13,40					
13,60					
13,80					
14,00					
14,20					
14,40					
14,60					
14,80					
15,00					

Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
15,20					
15,40					
15,60					
15,80					
16,00					
16,20					
16,40					
16,60					
16,80					
17,00					
17,20					
17,40					
17,60					
17,80					
18,00					
18,20					
18,40					
18,60					
18,80					
19,00					
19,20					
19,40					
19,60					
19,80					
20,00					
20,20					
20,40					
20,60					
20,80					
21,00					
21,20					
21,40					
21,60					
21,80					
22,00					
22,20					
22,40					
22,60					
22,80					
23,00					
23,20					
23,40					
23,60					
23,80					
24,00					
24,20					
24,40					
24,60					
24,80					
25,00					
25,20					
25,40					
25,60					
25,80					
26,00					
26,20					
26,40					
26,60					
26,80					
27,00					
27,20					
27,40					
27,60					
27,80					
28,00					
28,20					
28,40					
28,60					
28,80					
29,00					
29,20					
29,40					
29,60					
29,80					
30,00					

DOTT. GEOL. A. MACCAFERRI

Viale Caduti in Guerra 1 - Modena

Prova n°: 2

Quota: P.C.

Data: 19/03/2019

Località: Via Ghiarola - Spezzano - Fiorano M. (Mo)

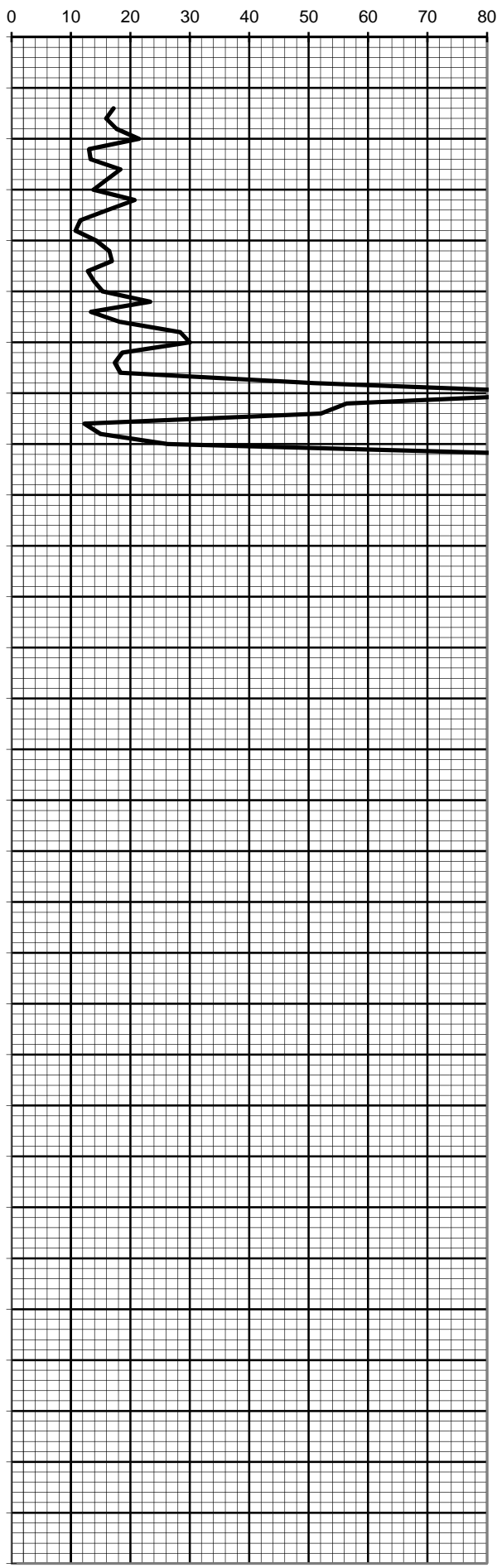
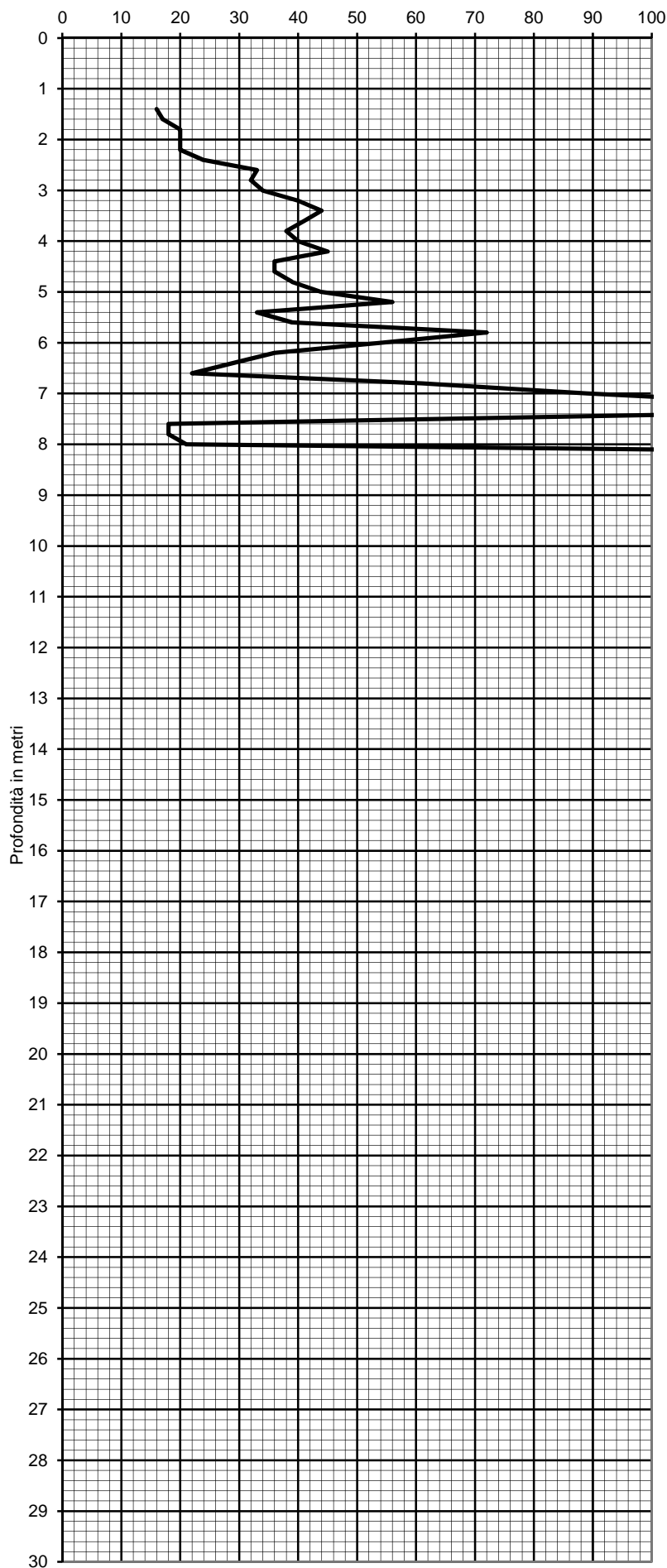
Committ.: Comune di Fiorano Modenese

Certificato: 57

Data emissione: 20/03/19

Resistenza alla punta R_p (kg/cm²)

R_p/R_l



DOTT. GEOL. A. MACCAFERRI

Viale Caduti in Guerra 1 - 41121 Modena

PROVA PENETROMETRICA STATICA

Penetrometro Gouda

Certificato n. : **57**

Data emissione: 20/03/19

Committente : Comune di Fiorano Modenese

Località : Via Ghiarola - Spezzano - Fiorano M. (Mo)

Prova numero : 2

Data : 19/03/2019

Operatore : Dr. A. Maccaferri

Quota : P.C.

DOTT. GEOL. A. MACCAFERRI

Viale Caduti in Guerra 1 - Modena

Prova n°: 2 Quota: P.C. Data: 19/03/2019
Località: Via Ghiarola - Spezzano - Fiorano M. (Mo)
Committ.: Comune di Fiorano Modenese
Certificato: 57 Data emissione: 20/03/19

Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
0,20					
0,40					
0,60					
0,80					
1,00					
1,20					
1,40	16	30	16	0,93	17,14
1,60	17	33	17	1,07	15,94
1,80	20	37	20	1,13	17,65
2,00	20	34	20	0,93	21,43
2,20	20	43	20	1,53	13,04
2,40	24	51	24	1,80	13,33
2,60	33	60	33	1,80	18,33
2,80	32	62	32	2,00	16,00
3,00	34	71	34	2,47	13,78
3,20	40	69	40	1,93	20,69
3,40	44	85	44	2,73	16,10
3,60	41	94	41	3,53	11,60
3,80	38	91	38	3,53	10,75
4,00	40	82	40	2,80	14,29
4,20	45	86	45	2,73	16,46
4,40	36	68	36	2,13	16,88
4,60	36	78	36	2,80	12,86
4,80	39	81	39	2,80	13,93
5,00	44	87	44	2,87	15,35
5,20	56	92	56	2,40	23,33
5,40	33	70	33	2,47	13,38
5,60	39	71	39	2,13	18,28
5,80	72	110	72	2,53	28,42
6,00	54	81	54	1,80	30,00
6,20	36	65	36	1,93	18,62
6,40	29	54	29	1,67	17,40
6,60	22	40	22	1,20	18,33
6,80	61	79	61	1,20	50,83
7,00	89	103	89	0,93	95,36
7,20	124	157	124	2,20	56,36
7,40	111	143	111	2,13	52,03
7,60	18	40	18	1,47	12,27
7,80	18	36	18	1,20	15,00
8,00	21	33	21	0,80	26,25
8,20	180	210	180	2,00	90,00
8,40	220	240	220	1,33	165,00
8,60					
8,80					
9,00					
9,20					
9,40					
9,60					
9,80					
10,00					
10,20					
10,40					
10,60					
10,80					
11,00					
11,20					
11,40					
11,60					
11,80					
12,00					
12,20					
12,40					
12,60					
12,80					
13,00					
13,20					
13,40					
13,60					
13,80					
14,00					
14,20					
14,40					
14,60					
14,80					
15,00					

Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
15,20					
15,40					
15,60					
15,80					
16,00					
16,20					
16,40					
16,60					
16,80					
17,00					
17,20					
17,40					
17,60					
17,80					
18,00					
18,20					
18,40					
18,60					
18,80					
19,00					
19,20					
19,40					
19,60					
19,80					
20,00					
20,20					
20,40					
20,60					
20,80					
21,00					
21,20					
21,40					
21,60					
21,80					
22,00					
22,20					
22,40					
22,60					
22,80					
23,00					
23,20					
23,40					
23,60					
23,80					
24,00					
24,20					
24,40					
24,60					
24,80					
25,00					
25,20					
25,40					
25,60					
25,80					
26,00					
26,20					
26,40					
26,60					
26,80					
27,00					
27,20					
27,40					
27,60					
27,80					
28,00					
28,20					
28,40					
28,60					
28,80					
29,00					
29,20					
29,40					
29,60					
29,80					
30,00					

DOTT. GEOL. A. MACCAFERRI

Viale Caduti in Guerra 1 - Modena

Prova n°: 1

Quota: P.C.

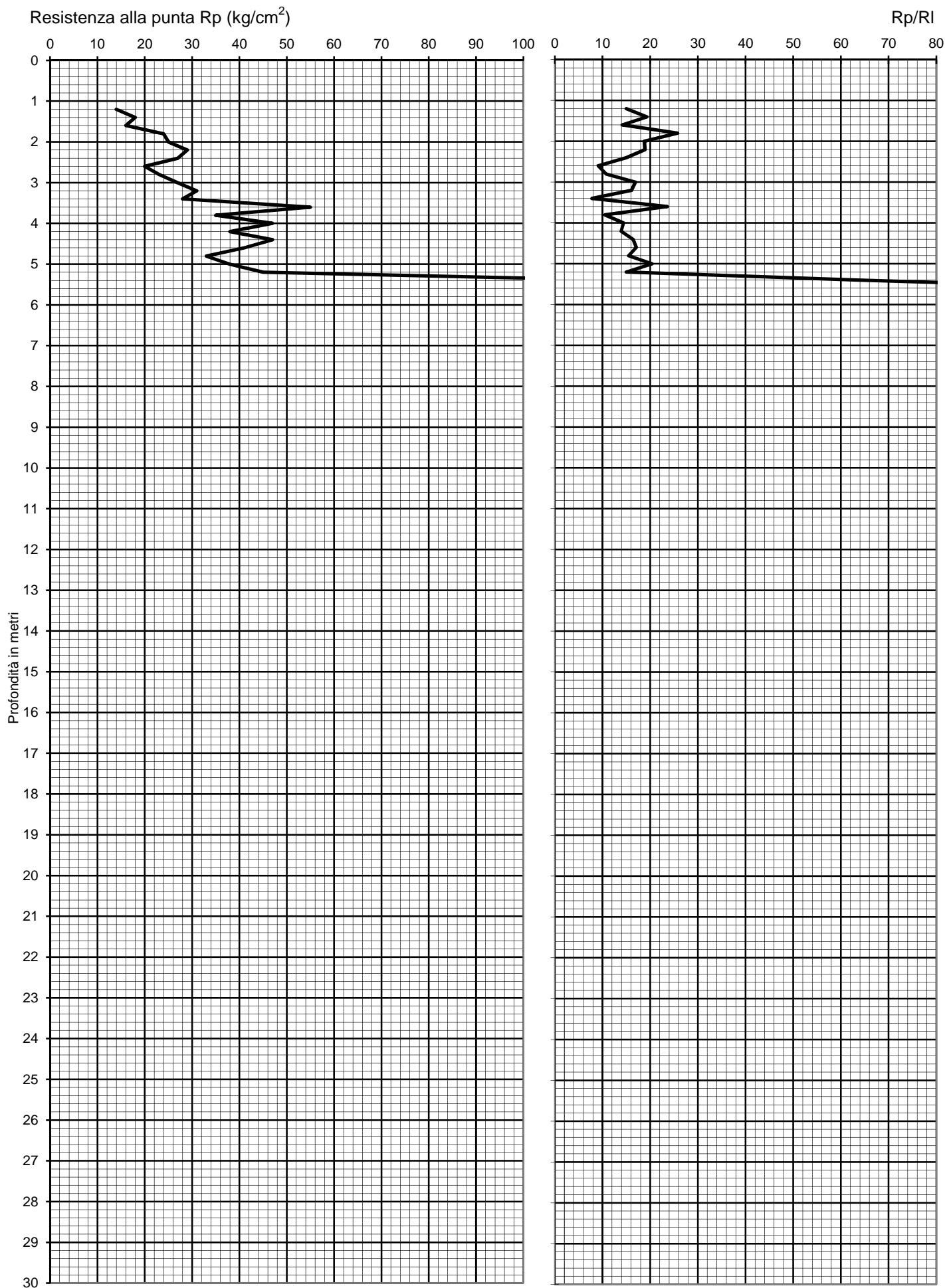
Data: 19/03/2019

Località: Via Ghiarola - Spezzano - Fiorano M. (Mo)

Committ.: Comune di Fiorano Modenese

Certificato: **56**

Data emissione: 20/03/19



DOTT. GEOL. A. MACCAFERRI

Viale Caduti in Guerra 1 - 41121 Modena

PROVA PENETROMETRICA STATICA

Penetrometro Gouda

Certificato n. : **56**

Data emissione: 20/03/19

Committente : Comune di Fiorano Modenese

Località : Via Ghiarola - Spezzano - Fiorano M. (Mo)

Prova numero : 1

Data : 19/03/2019

Operatore : Dr. A. Maccaferri

Quota : P.C.

DOTT. GEOL. A. MACCAFERRI

Viale Caduti in Guerra 1 - Modena

Prova n°: 1 Quota: P.C. Data: 19/03/2019
Località: Via Ghiarola - Spezzano - Fiorano M. (Mo)
Committ.: Comune di Fiorano Modenese
Certificato: **56** Data emissione: 20/03/19

Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
0,20					
0,40					
0,60					
0,80					
1,00					
1,20	14	28	14	0,93	15,00
1,40	18	32	18	0,93	19,29
1,60	16	33	16	1,13	14,12
1,80	24	38	24	0,93	25,71
2,00	25	45	25	1,33	18,75
2,20	29	52	29	1,53	18,91
2,40	27	54	27	1,80	15,00
2,60	20	53	20	2,20	9,09
2,80	23	55	23	2,13	10,78
3,00	27	51	27	1,60	16,88
3,20	31	60	31	1,93	16,03
3,40	28	82	28	3,60	7,78
3,60	55	90	55	2,33	23,57
3,80	35	85	35	3,33	10,50
4,00	47	96	47	3,27	14,39
4,20	38	79	38	2,73	13,90
4,40	47	90	47	2,87	16,40
4,60	41	77	41	2,40	17,08
4,80	33	65	33	2,13	15,47
5,00	38	66	38	1,87	20,36
5,20	45	90	45	3,00	15,00
5,40	123	152	123	1,93	63,62
5,60	160	180	160	1,33	120,00
5,80	280	300	280	1,33	210,00
6,00					
6,20					
6,40					
6,60					
6,80					
7,00					
7,20					
7,40					
7,60					
7,80					
8,00					
8,20					
8,40					
8,60					
8,80					
9,00					
9,20					
9,40					
9,60					
9,80					
10,00					
10,20					
10,40					
10,60					
10,80					
11,00					
11,20					
11,40					
11,60					
11,80					
12,00					
12,20					
12,40					
12,60					
12,80					
13,00					
13,20					
13,40					
13,60					
13,80					
14,00					
14,20					
14,40					
14,60					
14,80					
15,00					

Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
15,20					
15,40					
15,60					
15,80					
16,00					
16,20					
16,40					
16,60					
16,80					
17,00					
17,20					
17,40					
17,60					
17,80					
18,00					
18,20					
18,40					
18,60					
18,80					
19,00					
19,20					
19,40					
19,60					
19,80					
20,00					
20,20					
20,40					
20,60					
20,80					
21,00					
21,20					
21,40					
21,60					
21,80					
22,00					
22,20					
22,40					
22,60					
22,80					
23,00					
23,20					
23,40					
23,60					
23,80					
24,00					
24,20					
24,40					
24,60					
24,80					
25,00					
25,20					
25,40					
25,60					
25,80					
26,00					
26,20					
26,40					
26,60					
26,80					
27,00					
27,20					
27,40					
27,60					
27,80					
28,00					
28,20					
28,40					
28,60					
28,80					
29,00					
29,20					
29,40					
29,60					
29,80					
30,00					



COMUNE DI FIORANO MODENESE

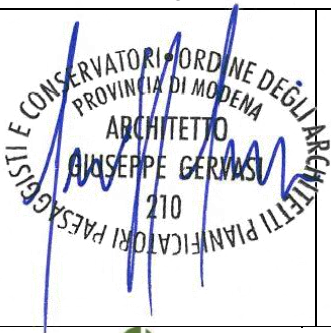



Provincia di Modena

PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO

LOTTO 1 - PROGETTO DEFINITIVO ED ESECUTIVO DELLA NUOVA SCUOLA DELL'INFANZIA DI SPEZZANO

CUP G85E21000080001 (redatto secondo il Decreto legislativo 18 aprile 2016, n. 50 e il DPR 207/2010)



REV	DATA	DESCRIZIONE	COLLABORATORI
	07/12/2020	FATTIBILITA'	COORDINAMENTO e OPERE ARCHITETTONICHE STUDIO ARCHILINEA – Arch. Giuseppe Gervasi OPERE STRUTTURALI Ing. Luca Capellari IMPIANTI MECCANICI e ANTINCENDIO P.I. Davide Malaguti e Ing. Vania Malaguti IMPIANTI ELETTRICI STUDIO PAMPURI – Ing. Andrea Talamì RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO ING. GIURGOLA MANUELA
	25/05/2022	CONSEGNA PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO	
Committente: COMUNE DI FIORANO MODENESE			RELAZIONE GEOLOGICA ELABORATO E.3
Verificato da Ing. Giulio Rimini			
			
  			

COMUNE DI FIORANO MODENESE
PROVINCIA DI MODENA

PROGETTO DI COSTRUZIONE NUOVA SCUOLA
MATERNA IN VIA GHIAROLA A SPEZZANO

COMMITTENTE: COMUNE DI FIORANO MODENESE

STUDIO DI RISPOSTA SISMICA LOCALE



DOTT. GEOL. ALESSANDRO MACCAFERRI
V.LE CADUTI IN GUERRA 1- 41121 MODENA
☎ 059-226540



DICEMBRE 2021

**DOTT. ALESSANDRO MACCAFERRI
- GEOLOGO -****Studio:**

V.le Caduti in Guerra 1

41121 Modena

Tel: 059-226540 - Fax: 059-4398943

Cell. 335-7053511 - E-mail: maccafe@tin.it

Modena 11/12/2021

STUDIO DI RISPOSTA SISMICA LOCALE**PROGETTO:** Costruzione nuova Scuola Materna**REGIONE:** Regione Emilia Romagna**PROVINCIA:** Modena**COMUNE:** Fiorano Modenese**LOCALITÀ:** Spezzano**UBICAZIONE:** Via Ghiarola**IDENTIFICAZIONE CATASTALE:** Foglio 21, mappale 142**COMMITTENTE:** Comune di Fiorano Modenese**RIFERIMENTO NORMATIVO:** D.M. 17/01/2018 - Circ. C.S.LL.PP. 7/2019**RELAZIONE REDATTA AD USO:** Pratica edilizia

SOMMARIO

1 - PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE.....	3
2 - MODELLO GEOLOGICO DEL SITO.....	5
3 – GENERALITA'	7
4 - DATI GENERALI.....	13
5 - DATI INPUT SISMICO	13
6 - RISULTATI ELABORAZIONE.....	16

1 - PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

La pericolosità sismica di base, intesa in senso probabilistico, rappresenta lo scuotimento del suolo atteso in un dato sito con una certa probabilità di eccedenza in un dato intervallo di tempo, ovvero la probabilità che un certo valore di scuotimento si verifichi in un dato intervallo di tempo. Tale parametro viene valutato dalle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) in termini di accelerazione orizzontale massima attesa ag (accelerazione massima al suolo - PGA - Pick Ground Acceleration), in condizioni ideali di sito di riferimento rigido (Suolo di categoria A) con superficie topografica orizzontale, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} , nel periodo di riferimento V_R .

Per la valutazione dell'azione sismica di progetto si è fatto riferimento ad una classe d'uso III, con un coefficiente d'uso della costruzione (C_u) pari a 1.5, stabilendo una vita nominale della costruzione (V_n) pari a 50 anni; pertanto il Periodo di riferimento considerato V_R ($V_n \cdot C_u$) risulta pari a 75 anni.

Di seguito viene riportata la tabella che individua, per i diversi stati limite, le probabilità di superamento nel Periodo di riferimento V_R .

Stati limite		DEFINIZIONE	P_{VR} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R
Stati limite di esercizio	SLO	Stato Limite di Operatività (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;	81%
	SLD	Stato Limite di Danno (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature	63%
Stati limite ultimi	SLV	Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;	10%
	SLC	Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.	5%

Il D.M. 17.01.2018 prevede anche una classificazione dei terreni in base alla loro condizione topografica.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

L'area di diretto intervento è assimilabile alla Categoria T1.

Per il sito in esame sono stati ottenuti, attraverso il software SPETTRI-NTC ver. 1.0.3 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, i seguenti risultati:

Sito in esame -		
Latitudine (ED50):	44,529096	Longitudine (ED50) : 10,840305
Classe: 3		Vita nominale: 50
Siti di riferimento		
Sito 1	ID: 16723	Lat: 44,5050 Lon: 10,8272 Distanza: 2871,875
Sito 2	ID: 16724	Lat: 44,5066 Lon: 10,8973 Distanza: 5165,102
Sito 3	ID: 16502	Lat: 44,5565 Lon: 10,8952 Distanza: 5310,846
Sito 4	ID: 16501	Lat: 44,5550 Lon: 10,8250 Distanza: 3124,346
Parametri sismici		
Categoria sottosuolo:	A	Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento:	75 anni	Coefficiente cu: 1.5
Stati limite	Probabilità di superamento	Tempo di ritorno (anni)
SLO	81%	45
SLD	63%	75
SLV	10%	712
SVC	5%	1462

Parametri indipendenti.

STATO LIMITE	SLO
a_g	0.062 g
F_0	2.492
T_c	0.263 s
S_s	1.000
C_c	1.000
S_T	1.000
q	1.000

STATO LIMITE	SLD
a_g	0.077 g
F_0	2.478
T_c	0.272 s
S_s	1.000
C_c	1.000
S_T	1.000
q	1.000

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.185 g
F_0	2.400
T_c	0.297 s
S_s	1.000
C_c	1.000
S_T	1.000
q	1.000

STATO LIMITE	SLC
a_g	0.230 g
F_0	2.431
T_c	0.309 s
S_s	1.000
C_c	1.000
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10 / (5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_c / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_c = C_c \cdot T_c^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

STATO LIMITE	SLO
S	1.000
η	1.000
T_B	0.088 s
T_c	0.263 s
T_D	1.850 s

STATO LIMITE	SLD
S	1.000
η	1.000
T_B	0.091 s
T_c	0.272 s
T_D	1.910 s

STATO LIMITE	SLV
S	1.000
η	1.000
T_B	0.099 s
T_c	0.297 s
T_D	2.341 s

STATO LIMITE	SLC
S	1.000
η	1.000
T_B	0.103 s
T_c	0.309 s
T_D	2.518 s

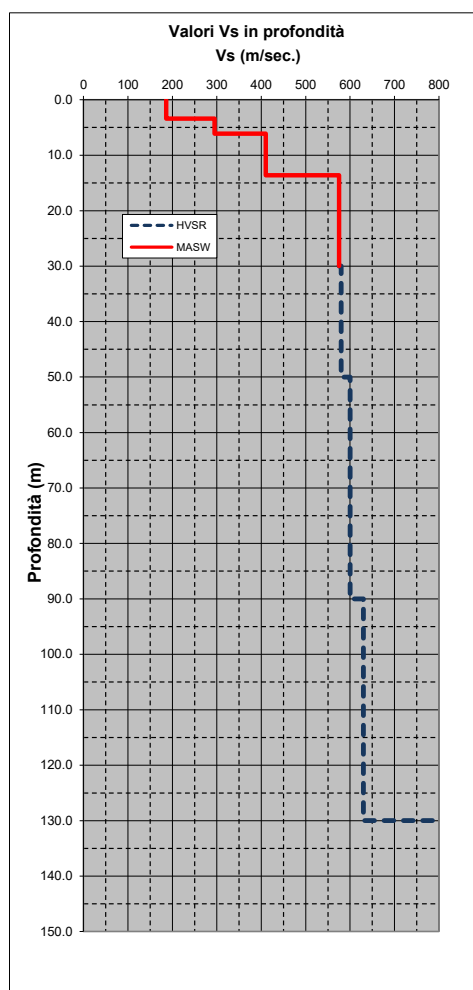
2 - MODELLO GEOLOGICO DEL SITO

Per la determinazione del modello geologico si è fatto riferimento ai risultati delle indagini sismiche eseguite. Tali risultati confermano la presenza superficiale di uno spessore di variabile da 5 a circa 7 metri di terreni limo-argillosi di copertura caratterizzato da velocità medie delle onde di taglio Vs variabili da 186 a 295 m/s. Segue un livello ghiaioso di circa 7.5 m di spessore con velocità di circa 410 m/s, sovrastante il substrato rappresentato dalla formazione geologica delle Argille grigio-azzurre (FAA).

Si è proceduto all'elaborazione della prova HVSR per ottenere il profilo di velocità in profondità raggiungendo il substrato rigido di riferimento o Bedrock sismico, che secondo la normativa vigente D.M. 17/01/2018 è caratterizzato da velocità delle onde S maggiori o uguali a 800 m/sec, alla profondità di 130 m.

Nella figura 1 sono riportati i profili delle Vs ottenuti dalla prova MASW e dalla prova HVSR.

Figura 1: Modello geologico del sito



Sulla base di tali risultati si sintetizza nella tabella seguente il modello geologico di riferimento assunto per l'analisi di Risposta Sismica Locale.

n.	Descrizione	da [m]	da [m]	Spessore [m]	Terreno	Gmax [MPa]	Peso unità vol. [kN/m³]	Vs [m/s]
1	Copertura limo-argillosa	0	3.4	3.4	VUCETIC - P.I. 50	67.01	19.0	186
2		3.4	6.1	2.7	VUCETIC - P.I. 50	172.10	19.4	295
3	Ghiaie	6.1	13.6	7.5	Lombardia - Ghiaie	339.28	19.8	410
4	Substrato (FAA)	13.6	30	16.4	EPRI Rock (1993) 15,54-36,57 metri	680.80	20.2	575
5		30.0	50.0	20	EPRI Rock (1993) 36,88-76,20 metri	706.41	20.6	580
6		50.0	90.0	40	EPRI Rock (1993) 76,50-152,40 metri	770.64	21.0	600
		90.0	130.0	40	EPRI Rock (1993) 76,50-152,40 metri	865.82	21.4	630
7		--	--	--	Smorzamento costante	1435.27	22.0	800

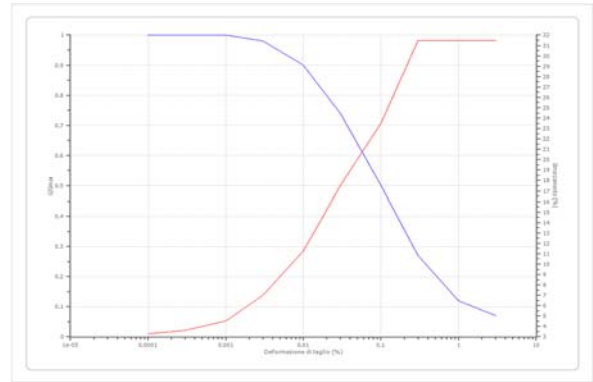
Strato rilevamento accelerogramma:

7 Affiorante

L'analisi è stata effettuata inoltre a partire dalle seguenti curve di variazione del modulo di rigidità a taglio G e del fattore di smorzamento D (damping ratio) riportate nelle figure seguenti.

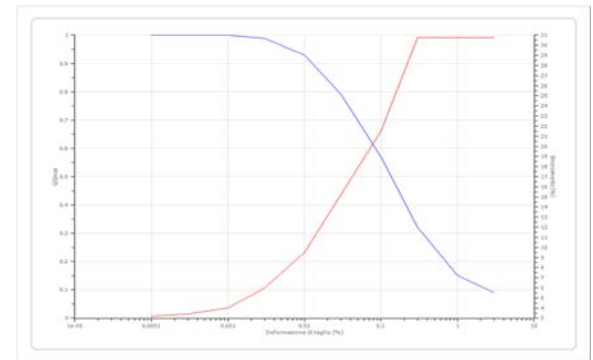
EPRI Rock (1993) 36,88-76,20 metri

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	3.290
0.0003	1.000	0.0003	3.595
0.001	1.000	0.001	4.500
0.003	0.980	0.003	7.000
0.010	0.900	0.010	11.250
0.030	0.740	0.030	17.500
0.100	0.500	0.100	23.500
0.300	0.270	0.300	31.500
1.000	0.120	1.000	31.500
3.000	0.070	3.000	31.500
0.0001	1.000	0.0001	3.290



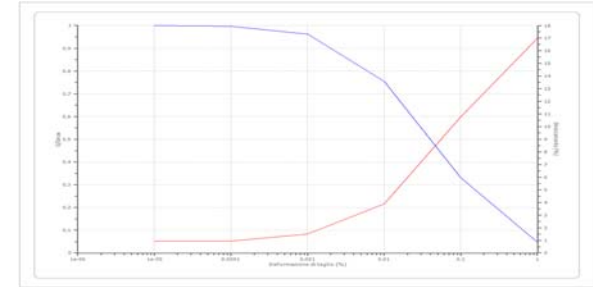
EPRI Rock (1993) 76,50-152,40 metri

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	3.360
0.0003	1.000	0.0003	3.730
0.001	1.000	0.001	5.000
0.003	0.970	0.003	8.000
0.010	0.870	0.010	12.500
0.030	0.680	0.030	19.000
0.100	0.430	0.100	24.750
0.300	0.220	0.300	32.000
1.000	0.090	1.000	32.000
3.000	0.050	3.000	32.000



Lombardia - Ghiaine

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



VUCETIC - P.I. 50

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.960
0.0002	1.000	0.0002	1.000
0.0005	1.000	0.0005	1.100
0.001	1.000	0.001	1.270
0.002	1.000	0.002	1.620
0.005	0.982	0.005	2.330
0.010	0.953	0.010	2.950
0.020	0.898	0.020	3.650
0.050	0.781	0.050	4.900
0.100	0.676	0.100	6.150
0.200	0.535	0.200	7.810
0.500	0.377	0.500	10.880
1.000	0.246	1.000	13.410

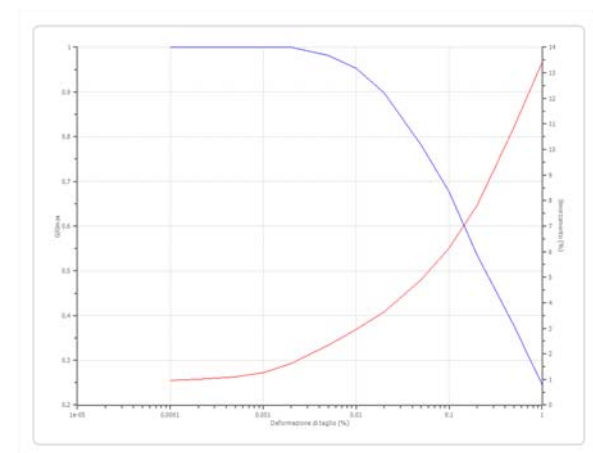


Figura 2 - Curve g/Gmax e smorzamento D

3 – GENERALITA'

Per l'esecuzione dello studio di risposta sismica locale si è utilizzato il software RSL III della Geostru. La procedura di calcolo adoperata per la valutazione della funzione di trasferimento presuppone come base di partenza uno o più accelerogrammi, o uno spettro di risposta in accelerazione, e la conoscenza della stratigrafia del sito attraverso i seguenti parametri geotecnici per ogni strato:

- peso per unità di volume;
- velocità di propagazione delle onde di taglio;
- coefficiente di spinta laterale;
- modulo di taglio iniziale (opzionale);
- spessore;
- indice di plasticità.

La non linearità del calcolo è introdotta dalla dipendenza del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso dalla deformazione.

Schematicamente la procedura è riassumibile nel seguente modo:

- a) Valutazione dello spettro di Fourier dell'accelerogramma (omessa nel caso si debba analizzare uno spettro);
- b) Ricerca di un errore relativo piccolo seguendo la procedura di:
 - Stima della funzione di trasferimento;
 - Valutazione della deformazione indotta in ciascuno strato;
 - Correzione del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso per ogni strato;

Le operazioni sono ripetute fino a quando la differenza di deformazione tra un'iterazione e la precedente non rimane al di sotto di una soglia ritenuta accettabile;

- c) Trasformazione inversa di Fourier dello spettro precedentemente calcolato ed opportunamente pesato per mezzo della funzione di trasferimento calcolata.

Attraverso questa procedura è possibile "trasferire" l'accelerogramma dal bedrock in superficie. La deformazione per ciascuno strato viene corretta sulla base del rapporto fra deformazione effettiva e massima come suggerito dalla letteratura scientifica, ovvero

$$\frac{\gamma_{eff}}{\gamma_{max}} = \frac{M - 1}{10}$$

dove M rappresenta la magnitudo del sisma.

Per la valutazione della funzione di trasferimento, RSL considera un suolo variamente stratificato composto da N strati orizzontali di cui l'N-esimo è il letto di roccia (bedrock). Ponendo come ipotesi che ciascuno strato

si comporti come un solido di Kelvin-Voigt $\left[\tau = G\gamma + \eta \frac{\partial \gamma(z,t)}{\partial z \partial t} \right]$, la propagazione delle onde di taglio che attraversano gli strati verticalmente può essere definita dall'equazione dell'onda:

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \eta \frac{\partial^3 u}{\partial z^2 \partial t} \quad (1)$$

dove: u rappresenta lo spostamento; t il tempo; ρ la densità; G il modulo di deformazione al taglio; η la viscosità. Per onde armoniche lo spostamento può essere scritto come:

$$u(z, t) = U(z) e^{i\omega t} \quad (2)$$

che sostituita nella (1) pone

$$(G + i\omega\eta) \frac{d^2 U}{dz^2} = \rho\omega^2 U \quad (3)$$

dove ω rappresenta la frequenza angolare. La (3) può essere riscritta come

$$G^* \frac{d^2 U}{dz^2} = \rho\omega^2 U \quad (4)$$

avendo posto $G^* = G + i\omega\eta$, ovvero il modulo di deformazione al taglio complesso. Questo può essere ulteriormente riscritto come

$$G^* = G(1 + 2i\xi) \quad (5)$$

avendo posto

$$\eta = \frac{2G}{\omega} \xi \quad (6)$$

dove ξ rappresenta il coefficiente di smorzamento viscoso. Ciò posto, e fatta convenzione che l'apice * indica la natura complessa della variabili in gioco, la soluzione dell'equazione generica dell'onda è la seguente:

$$u(z, t) = E e^{i(\omega t + k^* z)} + F e^{i(\omega t - k^* z)} \quad (7)$$

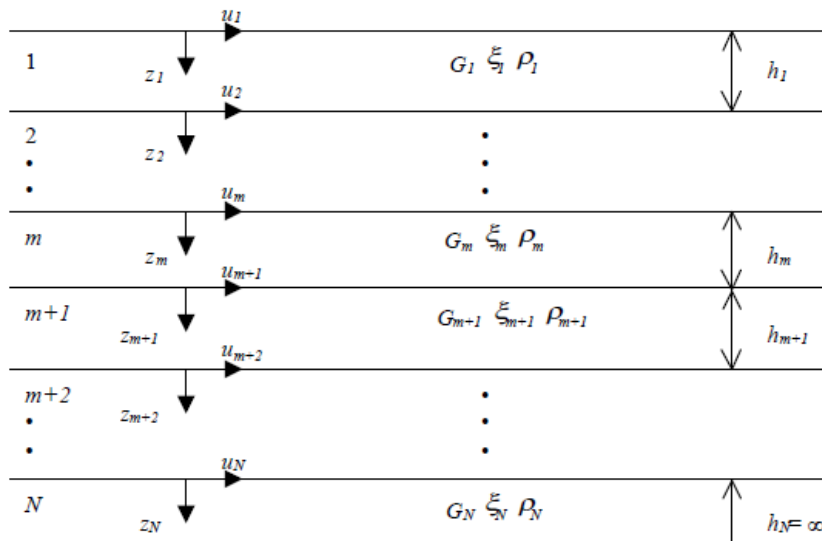


Figura 19: Esempio di stratigrafia per riferimento.

dove E e F dipendono dalle condizioni al contorno e rappresentano l'ampiezza d'onda che viaggia rispettivamente verso l'alto (-z) e verso il basso (+z), mentre k^* rappresenta il numero d'onda complesso dato dalla seguente espressione:

$$k^* = \omega \sqrt{\frac{\rho}{G^*}} \quad (8)$$

Il taglio invece è dato da:

$$\tau(z, t) = G^* \frac{dU}{dz} e^{i\omega t} = ik^* G^* \left[E e^{i(\omega t + k^* z)} + F e^{i(\omega t - k^* z)} \right] e^{i\omega t} \quad (9)$$

Per il generico strato m di spessore h_m gli spostamenti, rispettivamente in sommità ($z = 0$) ed al fondo ($z = h_m$), sono:

$$u_m(0, t) = (E_m + F_m) e^{i\omega t} \quad (10)$$

$$u_m(h_m, t) = (E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m}) e^{i\omega t} \quad (11)$$

Poiché deve essere rispettata la congruenza sullo spostamento all'interfaccia tra gli strati, ovvero lo spostamento in sommità ad uno strato deve essere uguale allo spostamento sul fondo di quello immediatamente sopra, se ne deduce che:

$$u_m(z = h_m, t) = u_{m+1}(z = 0, t) \quad (12)$$

Usando la (10), (11) e la (12), ne consegue che

$$E_{m+1} + F_{m+1} = E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m} \quad (13)$$

Il taglio in sommità ed al fondo dell'm-esimo strato è dato da:

$$\tau_m(0, t) = ik_m^* G_m^* [E_m - F_m] e^{i\omega t} \quad (14)$$

$$\tau_m(h_m, t) = ik_m^* G_m^* [E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}] e^{i\omega t} \quad (15)$$

Poiché fra uno strato e l'altro il taglio deve essere continuo si ha

$$\tau_m(z = h_m, t) = \tau_{m+1}(z = 0, t) \quad (16)$$

ovvero

$$E_{m+1} - F_{m+1} = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} (E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}) \quad (17)$$

Sommando la (13) alla (17) e sottraendo la (17) alla (13) si ottiene

$$E_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 + \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 - \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (18)$$

$$F_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 - \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 + \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (19)$$

dove α_m^* rappresenta il coefficiente di impedenza complesso al contorno tra gli strati m ed m+1, ed è dato dalla seguente espressione:

$$\alpha_m^* = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} \quad (20)$$

Poiché in superficie il taglio è nullo,

$$\tau_1(0, t) = ik_1^* G_1^* [E_1 - F_1] e^{i\omega t} = 0$$

si deduce che $E_1 = F_1$.

Le equazioni (18) e (19) possono essere successivamente applicate agli strati successivi da 2 ad m. La funzione di trasferimento A_{mn} che lega gli spostamenti in sommità degli strati m ed n è definita dalla seguente espressione:

$$A_{mn} = \frac{u_m}{u_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (21)$$

A_{mn} rappresenta la funzione di trasferimento, ovvero la funzione che mette in relazione il modulo della deformazione tra i punti m e n.

In pratica lo stato deformativo di una stratigrafia rimane definito una volta nota la deformazione di un suo qualsiasi punto. Inoltre, poiché la velocità e l'accelerazione sono legati allo spostamento,

$$\dot{u}(z, t) = \frac{\partial u}{\partial t} = i\omega u(z, t) \quad \ddot{u}(z, t) = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\omega^2 u(z, t)$$

(22)

La funzione di trasferimento A_{mn} può essere espressa anche in funzione delle velocità e dell'accelerazione al tetto degli strati n ed m:

$$A_{mn}(\omega) = \frac{u_m}{u_n} = \frac{\dot{u}_m}{\dot{u}_n} = \frac{\ddot{u}_m}{\ddot{u}_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (23)$$

La deformazione tangenziale rimane definita alla profondità z e al tempo t dalla relazione:

$$\gamma(z, t) = \frac{\partial u}{\partial z} = ik^* \left(E e^{ik^+ z} - F e^{-ik^+ z} \right) e^{i\omega t} \quad (24)$$

E la corrispondente tensione tangenziale, dalla seguente espressione:

$$\tau(z, t) = G^* \gamma(z, t) \quad (25)$$

Ai fini di una corretta interpretazione del problema della risposta sismica locale, risulta utile riprodurre la rappresentazione schematica di Figura 18 in cui è riportata la terminologia utilizzata per lo studio del moto sismico di un deposito che poggia su un basamento roccioso.

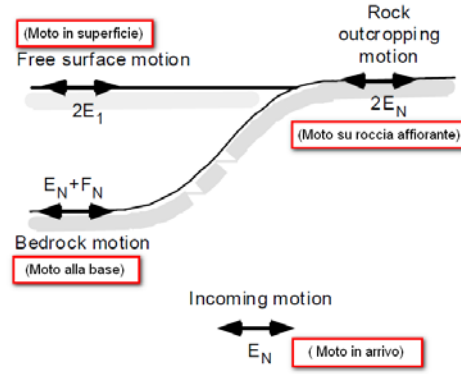


Figura 3: Schema di riferimento e terminologia utilizzata.

Le onde di taglio si propagano verticalmente attraverso il bedrock con ampiezza pari ad E_N ; al tetto del bedrock, sotto il deposito degli strati di terreno, il moto ha un'ampiezza pari a $E_N + F_N$. Sulla roccia affiorante, poiché le tensioni tangenziali sono nulle ($E_N = F_N$), il moto avrà ampiezza pari a $2E_N$. La funzione di trasferimento dal bedrock al bedrock-affiorante è la seguente:

$$A_{NN}(\omega) = \frac{2E_N}{E_N + F_N} \quad (26)$$

A è non lineare poiché G è funzione di γ . Nella procedura di calcolo infatti, da una stima iniziale del modulo di deformazione al taglio, si ottiene la tensione ipotizzando un legame lineare, per poi ottenere un nuovo valore di γ . Grazie a questo valore aggiornato si valuta un nuovo modulo G così da ripetere la procedura fino a quando la differenza tra la deformazione aggiornata e quella ottenuta dalla precedente iterazione viene ritenuta accettabile. Il modello per $G(\gamma)$ adoperato è quello suggerito da Ishibashi e Zhang (1993) che tiene conto degli effetti della pressione di confinamento e dell'indice di plasticità:

$$G = G_{max} \cdot K(\gamma, PI) (\sigma'_m)^{m(\gamma, PI) - m_0} \quad (24)$$

$$K(\gamma, PI) = 0.5 \left\{ 1 + \tanh \left[\ln \left(\frac{0.000102 + n(PI)}{\gamma} \right)^{0.492} \right] \right\} \quad (25)$$

$$m(\gamma, PI) - m_0 = 0.272 \left\{ 1 - \tanh \left[\ln \left(\frac{0.000556}{\gamma} \right)^{0.4} \right] \right\} \exp(-0.0145 PI^{1.3}) \quad (26)$$

$$n(PI) = \begin{cases} 0.0 & \text{per } PI = 0 \\ 3.37 \times 10^{-6} PI^{1.404} & \text{per } 0 < PI \leq 15 \\ 7.0 \times 10^{-7} PI^{1.976} & \text{per } 15 < PI \leq 70 \\ 2.7 \times 10^{-5} PI^{1.115} & \text{per } PI > 70 \end{cases} \quad (27)$$

dove G_{max} è dato dalla relazione

$$G_{max} = \rho V_s^2 \quad (28)$$

dove ρ è la densità del terreno e V_s la velocità di propagazione delle onde di taglio nello stesso. La (28) fornisce il valore iniziale di G per la prima iterazione.

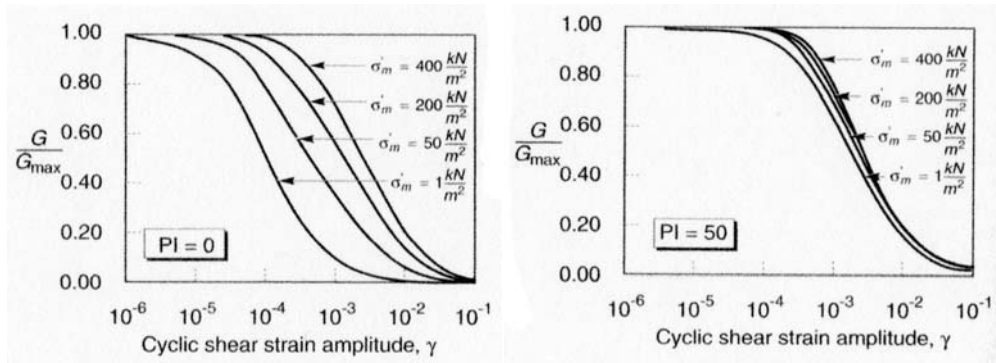


Figura 4: Influenza della pressione di confinamento e della plasticità sul modulo di deformazione al taglio.

Per quanto riguarda invece il coefficiente di smorzamento viscoso ξ , in conseguenza del modello introdotto dalla (24) si ha:

$$\xi = 0.333 \frac{1 + \exp(-0.0145 PI^{1.5})}{2} \left[0.586 \left(\frac{G}{G_{max}} \right)^2 - 1.547 \frac{G}{G_{max}} + 1 \right] \quad (29)$$

da cui si deduce che anche ξ deve essere ricalcolato ad ogni iterazione.

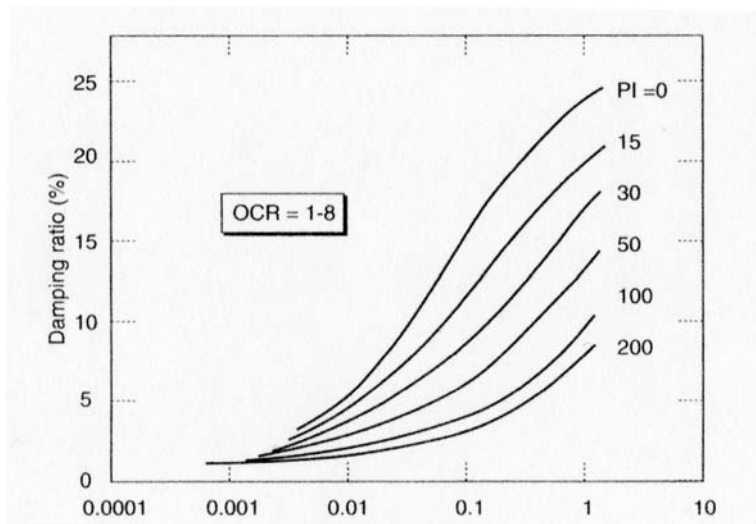


Figura 5: Influenza della plasticità sul coefficiente di smorzamento viscoso.

4 - DATI GENERALI

Descrizione :	Progetto di costruzione di una scuola materna
Committente :	Comune di Fiorano Modenese
Cantiere :	Spezzano
Via :	Via Ghiarola
Latitudine (ED50) :	44,529096 [°]
Longitudine (ED50) :	10,840305 [°]

5 - DATI INPUT SISMICO

Il calcolo è stato eseguito inserendo come segnale di input n° 7 terremoti reali spettro-compatibili in media agli spettri di normativa (figure da 6 a 12) scaricati dalla piattaforma WebGIS realizzata da EUCENTRE per la Regione Emilia-Romagna riferiti al nodo del reticolo di riferimento più prossimo al sito di indagine considerando quello relativo ad un periodo di ritorno pari a 475 anni. Per tali segnali si è provveduto al taglio delle frequenze superiori ai 25 Hz e sono stati scalati sulla base di un valore di accelerazione massima orizzontale di picco (PGA) su un suolo di riferimento di tipo A, per $T=0$, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità (arefg - 10% di probabilità di superamento in 50 anni) pari a 0.185 g.

Di seguito sono riportati gli accelerogrammi utilizzati.

Terremoti di riferimento

Accelerogramma importato

Nome del file	TR475_ID16723_1
Durata della traccia	24.575 [s]
Accelerazione massima	0.185 [g]

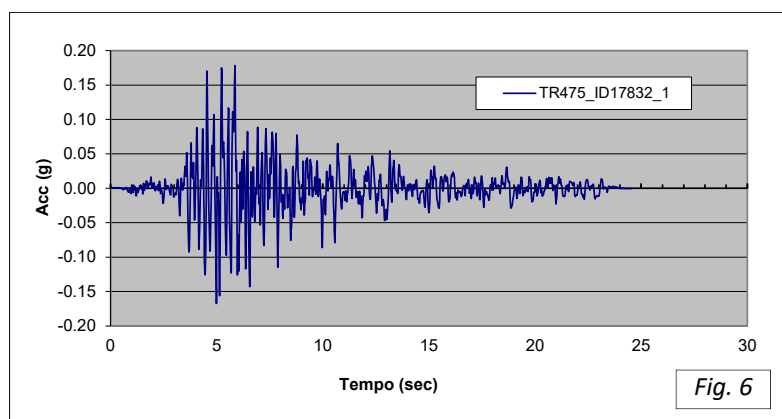
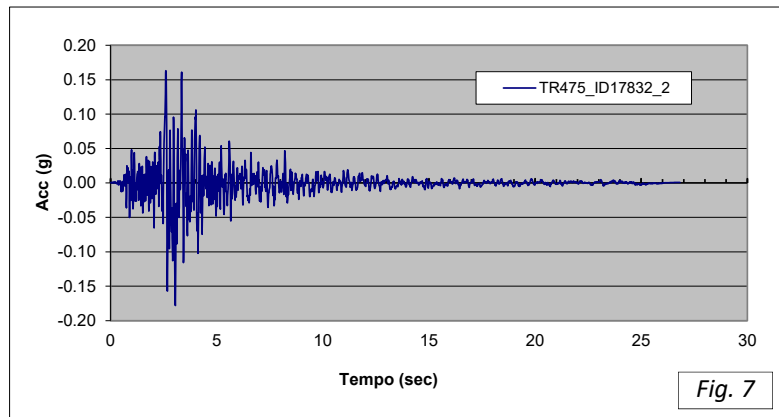


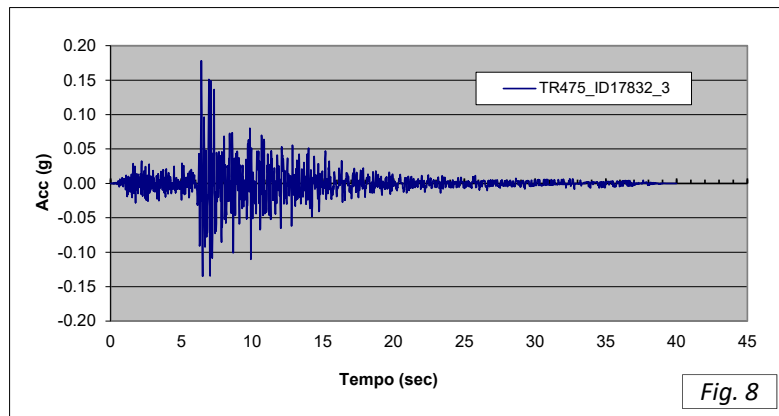
Fig. 6

Accelerogramma importato

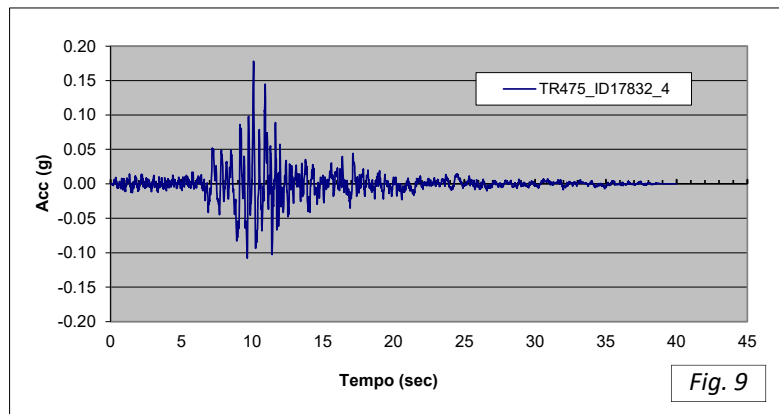
Nome del file **TR475_ID16723_2**
Durata della traccia 26.825 [s]
Accelerazione massima 0.185 [g]

**Accelerogramma importato**

Nome del file **TR475_ID16723_3**
Durata della traccia 39.990 [s]
Accelerazione massima 0.185 [g]

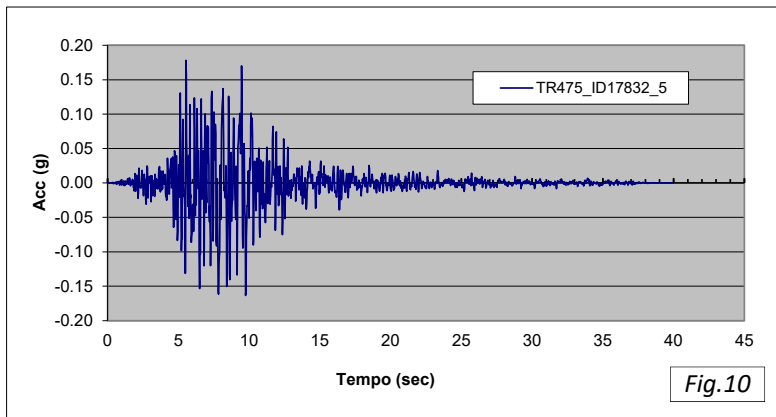
**Accelerogramma importato**

Nome del file **TR475_ID16723_4**
Durata della traccia 39.990 [s]
Accelerazione massima 0.185 [g]

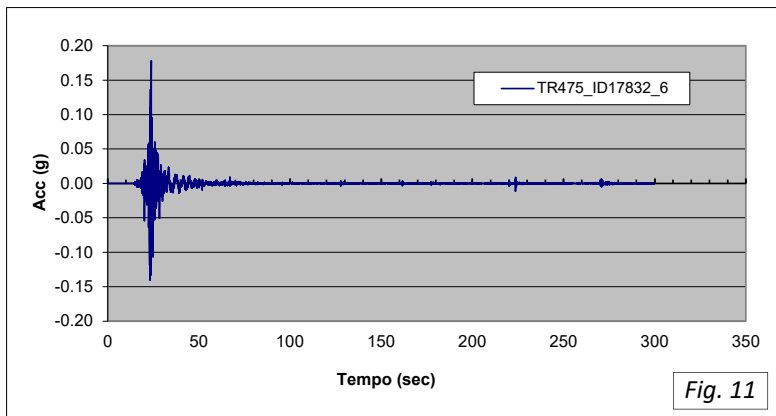


Accelerogramma importato

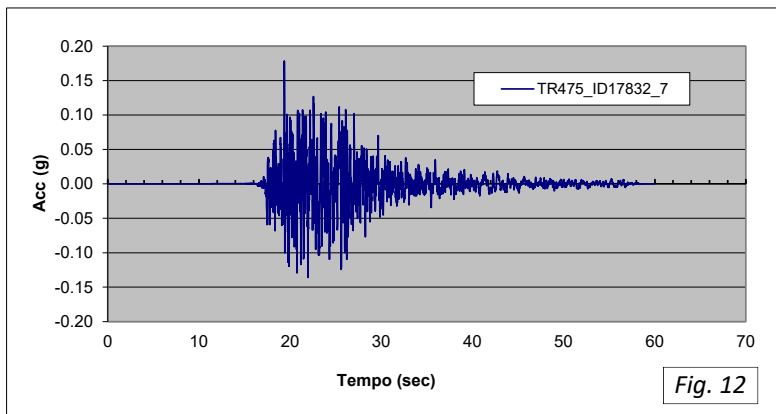
Nome del file **TR475_ID16723_5**
Durata della traccia 39.980 [s]
Accelerazione massima 0.185 [g]

**Accelerogramma importato**

Nome del file **TR475_ID16723_6**
Durata della traccia 299.995 [s]
Accelerazione massima 0.185 [g]

**Accelerogramma importato**

Nome del file **TR475_ID16723_7**
Durata della traccia 55.975 [s]
Accelerazione massima 0.185 [g]



6 - RISULTATI ELABORAZIONE

Numero di iterazioni 8
 Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5
 Tipo di modulo elastico Shake
 Massimo errore percentuale di convergenza 5.89 E-04

Fattori di amplificazione ICMS 2018	
Tai : 0.190 [s]	Tvi : 0.620 [s]
Tao : 0.190 [s]	Tvo : 0.680 [s]
Sami : 4.632 [m/s ²]	Svmi : 0.243 [m/s]
Samo : 5.592 [m/s ²]	Svmo : 0.276 [m/s]
Fa : 1.207 [-]	Fv : 1.137 [-]
TB : 0.103 [s]	TC : 0.310 [s]
TD : 2.264 [s]	SA(0) : 0.166 [g]
SA(TB) : 0.570[g]	

TABELLA RIASSUNTIVA PARAMETRI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE Del. Reg. 476/2021	
Valore della PGA0 di riferimento da Norme Tecniche per la Costruzioni (NTC 2018)	0.185
Valore della PGA rilevata sul sito in esame	0.205
Fattore di Amplificazione (FA) della PGA	1.11
Coefficiente di amplificazione in termini di SI/SI0 – intervallo di frequenza 0,10÷0,50s	1.55
Coefficiente di amplificazione in termini di SI/SI0 – intervallo di frequenza 0,50÷1,00s	1.23
Coefficiente di amplificazione in termini di SI/SI0 – intervallo di frequenza 0,50÷1,50s	1.18
Coefficiente di amplificazione in termini di A/A0 – intervallo di frequenza 0,10÷0,50s (FA0.1-0.5s)	1.16
Coefficiente di amplificazione in termini di A/A0 – intervallo di frequenza 0,50÷1,00s (FA0.4-0.8s)	1.11
Coefficiente di amplificazione in termini di A/A0 – intervallo di frequenza 0,50÷1,00s (FA0.7-1.1s)	1.20
Coefficiente di amplificazione in termini di A/A0 – intervallo di frequenza 0,50÷1,50s (FA0.5-1.5s)	1.16
Acceleration Spectrum Intensity (ASIPU) tra 0.1 e 0.5s	162
ASI (0.1-0.5)/0.4s	405
Fattore HMS (0.1-0.5s)	469

Di seguito viene riportato lo Spettro medio di risposta elastico ottenuto.

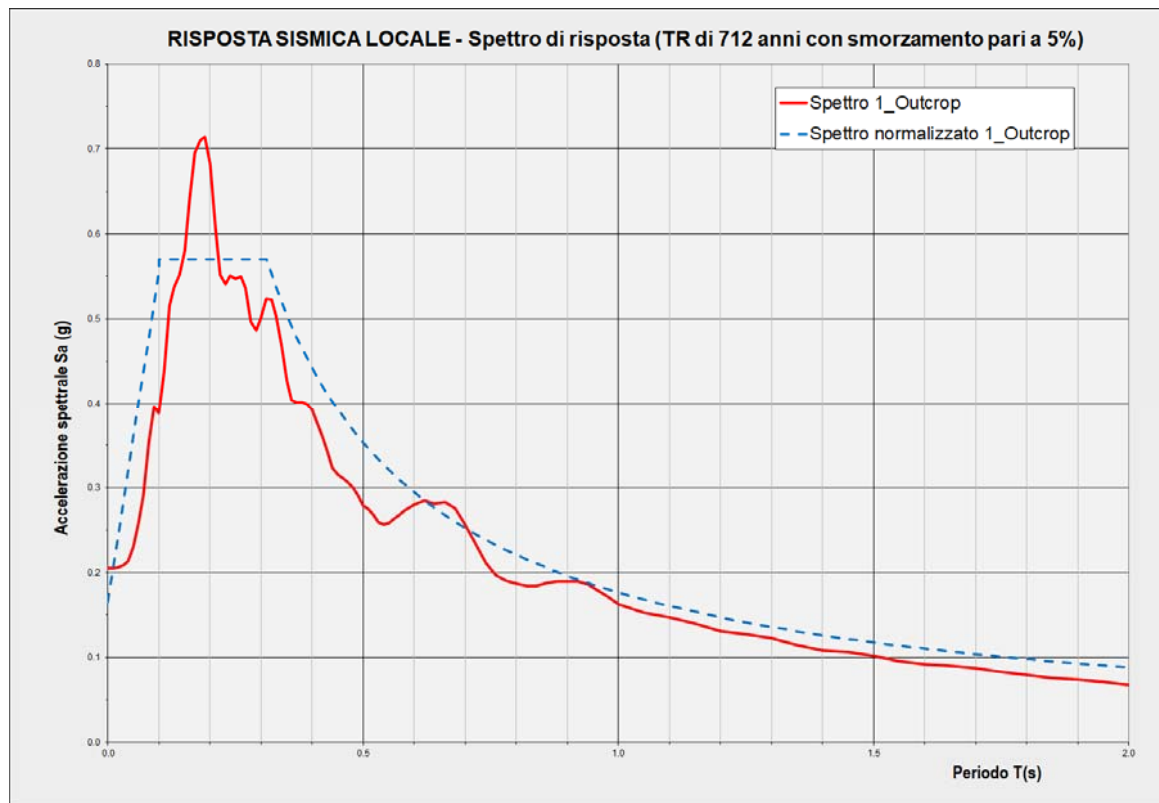


Fig. 13 - Spettro medio di risposta elastico

Spettro medio di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.2051	0.26	0.5500	0.52	0.2674	0.98	0.1716	2.25	0.0476
0.01	0.2051	0.27	0.5361	0.53	0.2592	1.00	0.1628	2.30	0.0460
0.02	0.2064	0.28	0.4963	0.54	0.2563	1.05	0.1528	2.35	0.0442
0.03	0.2089	0.29	0.4866	0.55	0.2588	1.10	0.1475	2.40	0.0429
0.04	0.2132	0.30	0.5009	0.56	0.2629	1.15	0.1398	2.50	0.0411
0.05	0.2302	0.31	0.5236	0.57	0.2674	1.20	0.1310	2.60	0.0388
0.06	0.2600	0.32	0.5231	0.58	0.2733	1.25	0.1274	2.70	0.0371
0.07	0.2913	0.33	0.5032	0.60	0.2803	1.30	0.1228	2.80	0.0358
0.08	0.3523	0.34	0.4683	0.62	0.2852	1.35	0.1151	2.90	0.0336
0.09	0.3962	0.35	0.4267	0.64	0.2809	1.40	0.1088	3.00	0.0317
0.10	0.3883	0.36	0.4041	0.66	0.2827	1.45	0.1069	3.10	0.0296
0.11	0.4380	0.37	0.4012	0.68	0.2761	1.50	0.1018	3.20	0.0280
0.12	0.5156	0.38	0.4012	0.70	0.2568	1.55	0.0957	3.30	0.0273
0.13	0.5370	0.39	0.4000	0.72	0.2329	1.60	0.0921	3.40	0.0265
0.14	0.5520	0.40	0.3918	0.74	0.2114	1.65	0.0900	3.50	0.0254
0.15	0.5804	0.41	0.3772	0.76	0.1967	1.70	0.0872	3.60	0.0243
0.16	0.6398	0.42	0.3612	0.78	0.1905	1.75	0.0826	3.70	0.0230
0.17	0.6952	0.43	0.3422	0.80	0.1867	1.80	0.0793	3.80	0.0218
0.18	0.7104	0.44	0.3238	0.82	0.1847	1.85	0.0761	3.90	0.0206
0.19	0.7143	0.45	0.3154	0.84	0.1844	1.90	0.0740	4.00	0.0196
0.20	0.6818	0.46	0.3114	0.86	0.1879	1.95	0.0713		
0.21	0.6057	0.47	0.3064	0.88	0.1900	2.00	0.0680		
0.22	0.5517	0.48	0.3003	0.90	0.1897	2.05	0.0639		
0.23	0.5409	0.49	0.2899	0.92	0.1894	2.10	0.0594		
0.24	0.5509	0.50	0.2795	0.94	0.1860	2.15	0.0548		
0.25	0.5470	0.51	0.2744	0.96	0.1790	2.20	0.0507		

Lo spettro ottenuto è stato normalizzato seguendo il metodo previsto dagli IMCS ottenendo i risultati riportati nelle tabelle seguenti e graficamente in fig. 14.

Spettro normalizzato di risposta elastico (metodo IMCS)

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.1660	0.26	0.5701	0.52	0.3397	0.98	0.1803	2.25	0.0785
0.01	0.2051	0.27	0.5701	0.53	0.3333	1.00	0.1767	2.30	0.0768
0.02	0.2442	0.28	0.5701	0.54	0.3272	1.05	0.1683	2.35	0.0752
0.03	0.2834	0.29	0.5701	0.55	0.3212	1.10	0.1606	2.40	0.0736
0.04	0.3225	0.30	0.5701	0.56	0.3155	1.15	0.1536	2.50	0.0707
0.05	0.3616	0.31	0.5699	0.57	0.3099	1.20	0.1472	2.60	0.0679
0.06	0.4007	0.32	0.5521	0.58	0.3046	1.25	0.1413	2.70	0.0654
0.07	0.4398	0.33	0.5353	0.60	0.2944	1.30	0.1359	2.80	0.0631
0.08	0.4789	0.34	0.5196	0.62	0.2849	1.35	0.1309	2.90	0.0609
0.09	0.5180	0.35	0.5048	0.64	0.2760	1.40	0.1262	3.00	0.0589
0.10	0.5572	0.36	0.4907	0.66	0.2677	1.45	0.1218	3.10	0.0570
0.11	0.5701	0.37	0.4775	0.68	0.2598	1.50	0.1178	3.20	0.0552
0.12	0.5701	0.38	0.4649	0.70	0.2524	1.55	0.1140	3.30	0.0535
0.13	0.5701	0.39	0.4530	0.72	0.2454	1.60	0.1104	3.40	0.0520
0.14	0.5701	0.40	0.4417	0.74	0.2387	1.65	0.1071	3.50	0.0505
0.15	0.5701	0.41	0.4309	0.76	0.2325	1.70	0.1039	3.60	0.0491
0.16	0.5701	0.42	0.4206	0.78	0.2265	1.75	0.1010	3.70	0.0477
0.17	0.5701	0.43	0.4108	0.80	0.2208	1.80	0.0981	3.80	0.0465
0.18	0.5701	0.44	0.4015	0.82	0.2154	1.85	0.0955	3.90	0.0453
0.19	0.5701	0.45	0.3926	0.84	0.2103	1.90	0.0930	4.00	0.0442
0.20	0.5701	0.46	0.3841	0.86	0.2054	1.95	0.0906		
0.21	0.5701	0.47	0.3759	0.88	0.2008	2.00	0.0883		
0.22	0.5701	0.48	0.3681	0.90	0.1963	2.05	0.0862		
0.23	0.5701	0.49	0.3605	0.92	0.1920	2.10	0.0841		
0.24	0.5701	0.50	0.3533	0.94	0.1879	2.15	0.0822		
0.25	0.5701	0.51	0.3464	0.96	0.1840	2.20	0.0803		

Nella Figura 14 viene riportato il confronto tra gli spettri di input e output e in fig. 15 gli spettri relativi ai singoli terremoti.

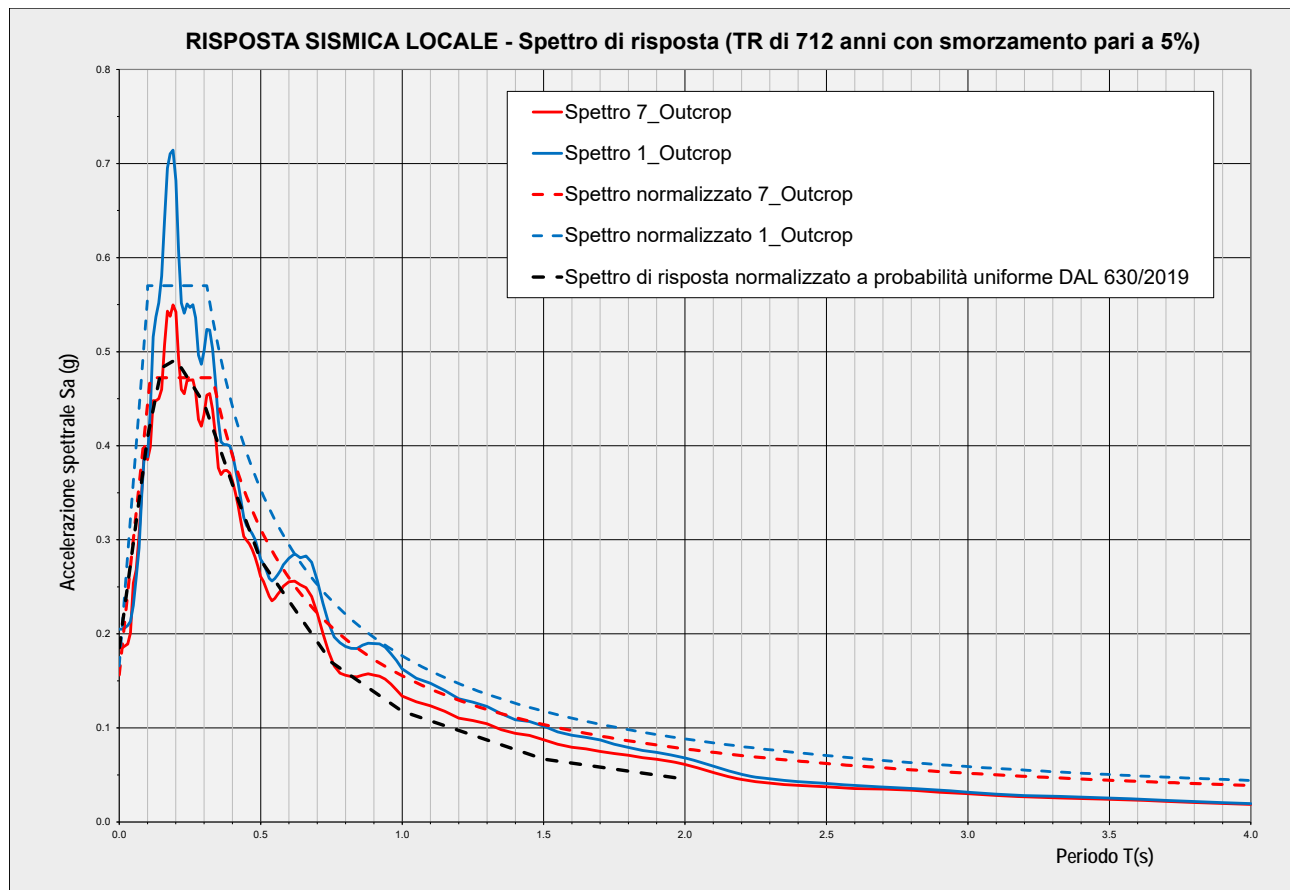


Fig. 14 - Spettri di risposta elastico

Parametri spettro normalizzato

A_g [g]	F_0	T_c^*	T_B [s]	T_C [s]	T_D [s]	$Se(0)$ [g]	$Se(T_B)$ [g]	S
0.166	3.433906	--	0.103	0.310	2.264	0.166	0.570	0.897

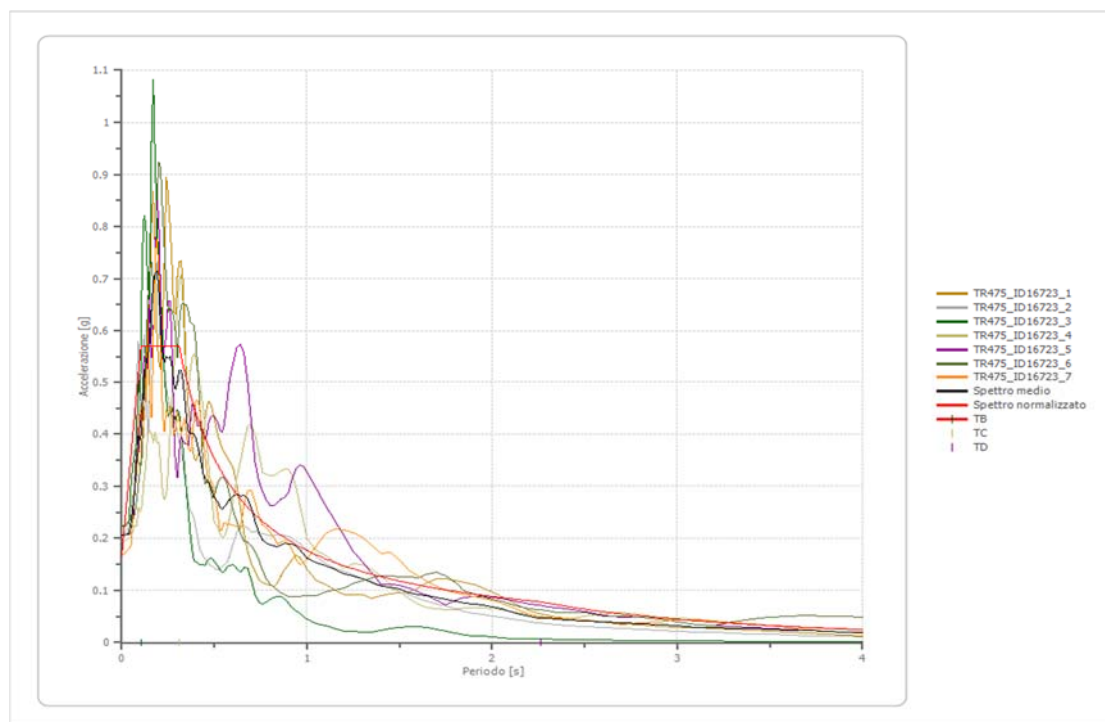


Fig. 15 - Confronto tra gli spettri

CONCLUSIONI

Su incarico del comune di Fiorano Modenese si è proceduto allo studio di risposta sismica locale inerente l'area sulla quale è in progetto la costruzione della nuova scuola materna.

L'area in esame si colloca in via Ghiarola, a Spezzano, nel comune di Fiorano Modenese (Mo).

Per la caratterizzazione litostratigrafica e geotecnica dei terreni in esame sono state eseguite n. 3 prove penetrometriche statiche spinte sino alla profondità massima di circa 8 metri, profondità alla quale si rinviene un primo strato di ghiaia molto competente, che non ha permesso oltre l'avanzamento.

Le prove effettuate sono state poi confrontate con altre prove eseguite in zone adiacenti all'area in esame, in occasione di altri precedenti interventi edilizi, rilevando una sostanziale omogeneità della situazione geologica.

Per la caratterizzazione sismica dei terreni presenti, si è effettuata sull'area, un'indagine geofisica, mediante stendimento MASW, attraverso la quale si è determinata la Vs30, cioè la velocità delle onde sismiche nei primi 30 m di profondità, sulla base della quale si è proceduto a definire la categoria di suolo da un punto di vista sismico dei terreni presenti.

Si è quindi eseguita un'indagine sismica passiva HVSR, mediante tromografo digitale, al fine di definire la frequenza naturale dei terreni presenti e quindi la possibilità di eventuali fenomeni di risonanza in caso di sisma.

Si è quindi proceduto ad effettuare uno studio di risposta sismica locale sull'area in esame; lo studio eseguito ha evidenziato un valore dell'accelerazione, in termini di PGA, pari a 0,205g, con un fattore di amplificazione pari a 1,11. Si sono inoltre calcolati i coefficienti di amplificazione in termini di intensità spettrale e di intensità di Housner.

Modena 11/12/2021

Il Tecnico

Dott. Geol. Alessandro Maccaferri

