

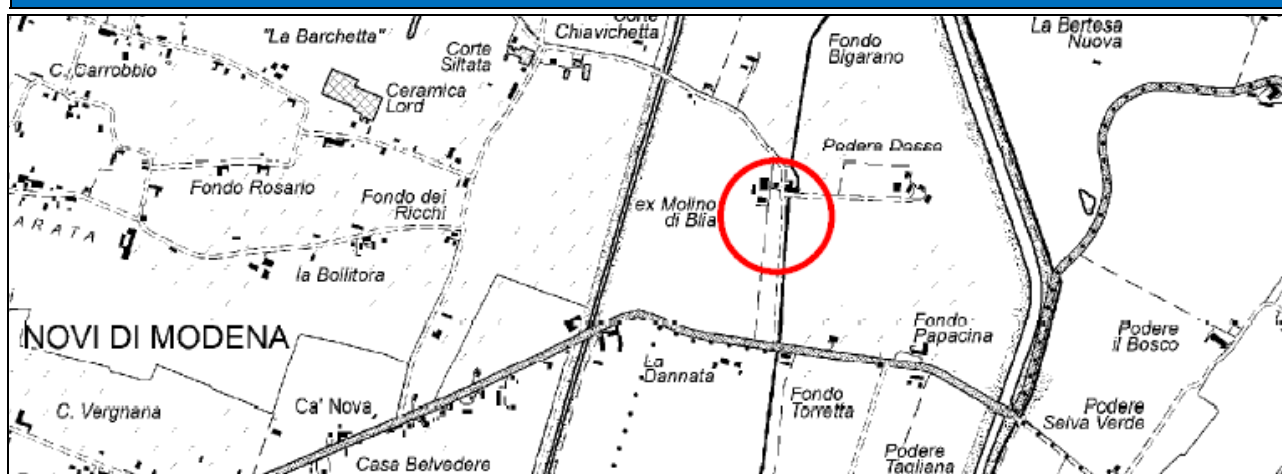
COMUNE DI NOVI DI MODENA

PROVINCIA DI MODENA

PROGETTO DI INSTALLAZIONE SILOS PRESSO ALLEVAMENTO BOVINO

PROGETTISTA: GEOM. MARCO GIORDANO
COMMITTENTE: AZ. AG. ROMANI SISTO & C.

RELAZIONE GEOLOGICA-GEOTECNICA E SISMICA



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



GIUGNO 2025

**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.ale@gmail.com

Modena 04/06/2025

RELAZIONE GEOLOGICO-GEOTECNICA E SISMICA**PROGETTO:** Installazione silo presso allevamento bovino**REGIONE:** Regione Emilia Romagna**PROVINCIA:** Modena**COMUNE:** Novi di Modena**UBICAZIONE:** Via Gazzoli 102-104**IDENTICAZIONE CATASTALE:** Foglio 23, mappali 81 e 82**PROGETTISTA:** Geom. Marco Giordano**COMMITTENTE:** Az. Ag. Romani Sisto**RIFERIMENTO NORMATIVO:** D.M. 17/01/2018 – Circ. C.S.LL.PP. 7/2019**RELAZIONE REDATTA AD USO:** Pratica edilizia

. PREMESSA

Su incarico della committenza, Azienda Agricola Romani Sisto e d'intesa con il tecnico progettista Geom. Marco Giordano, si è provveduto alla stesura della presente relazione geologico-geotecnica e sismica inerente il progetto di installazione nuovi silos presso la stalla della committenza, ubicata in via Gazzoli 102-104, nel comune di Novi di Modena (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 23/05/2025 un sopralluogo sull'area al fine di verificarne l'idoneità geologica e geomorfologica.

Per la caratterizzazione litostratigrafica e geotecnica dei terreni di sottofondazione, si è fatto riferimento a n. 2 prove penetrometriche statiche CPT, eseguite dallo scrivente sull'area in esame, in data luglio 2013, in occasione dei lavori di miglioramento sismico dei fabbricati ad uso abitazione, presenti, i cui risultati possono essere ritenuti del tutto validi anche per il progetto in questione.

Le prove sono state spinte sino alla profondità di 30 m dal piano campagna per la P1 e 10 m per la P2, sempre dal piano campagna. 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 classificazione sismica dei terreni di sottofondazione, si è effettuata sull'area, in data 23/05/2025 un'indagine geofisica, nel 2013 non eseguita, mediante metodologia HVSR, 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 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
- B3) MODELLO GEOLOGICO
- B4) CLASSIFICAZIONE SISMICA
- B5) CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

- C) CONCLUSIONI

ALLEGATI

. A) INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E AMBIENTALE

. A1) INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area esaminata, sulla quale è in progetto l'installazione dei nuovi silos si colloca nella zona a est del centro abitato di Novi di Modena (Mo), più precisamente ubicata lungo via Gazzoli 102-104; siamo nella fascia di bassa pianura modenese ad una quota media di circa 20 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. 183SE, denominata "Novi di Modena" (Allegato 1) e nell'elemento, sempre della C.T.R., in scala 1:5.000 n. 183124 denominato "Possessione Santo Stefano" (Allegato 2).

In allegato 6 si riporta la foto aerea della zona in esame, ove è ubicato l'allevamento bovino della committenza presso il quale si prevede l'installazione dei nuovi silos.

. A2) INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area oggetto di studio appartiene geologicamente al grande bacino subsidente Plio-Quaternario della Pianura Padana, in un settore deposizionalmente influenzato dalle alluvioni del Fiume Po, da quelle dei corsi d'acqua appenninici principali quali i fiumi Secchia e Panaro.

Tali depositi di origine continentale, qui principalmente riferibili al fiume Secchia, che scorre poco a nord dell'area in esame, hanno una granulometria variabile, prevalentemente fine, costituita da argille e limi e relativi termini intermedi, e disposizione lenticolare, sono collocati su un substrato marino preoloceno, la cui profondità varia gradualmente dai 400 m nella zona di Cavezzo, agli 80-100 m nella zona di Mirandola, a nord.

Tale fatto concorda con la presenza di una forte subsidenza anche in tempi recenti che ha consentito l'ingressione marina e la deposizione di tali sedimenti, che ritroviamo a scarsa profondità dal substrato.

La subsidenza è testimoniata anche dall'elevato spessore dei sedimenti marini compresi sino alla base del Pliocene, variabile tra i 6000 m della zona a Sud ai 4000 m a Nord.

La copertura alluvionale, pleistocenica ed olocenica, è costituita da una sequenza monotona di argille e limi con sottili, rare e discontinue intercalazioni di sabbia medio-fine, sedi di acquiferi molto poveri, come riportato nella Carta Geologica della RER riportata in allegato 3.

Di sotto alla copertura alluvionale sono noti terreni sedimentari di origine marina, prevalentemente argillosi, subito sotto la copertura si ha un'alternanza di argille e sabbie, più sotto ancora la sequenza argillo-marnosa del Calabrian-Pliocene Superiore è ancora argille marnose del Pliocene Inferiore.

Tali sedimenti sono considerati come il basamento per la circolazione delle acque.

Da un punto di vista strutturale, la Pianura modenese, nella zona di Novi di Modena è caratterizzata da una vasta struttura sinclinalica (piega) sepolta nota in bibliografia come "Sinclinale di Bologna-Bomporto-Reggio Emilia", con orientamento ENE-SSO, che trova presso Bomporto la sua massima depressione.

Tale struttura si raccorda a Nord, attraverso una ripida monoclinale, con una struttura tettonica positiva nota con il nome di "Dorsale Ferrarese" in cui depositi quaternari si riducono ad uno spessore di poche decine di metri.

Il substrato, costituito da terreni marini, forma immediatamente a nord del territorio di San Prospero una particolare struttura tettonica attiva (anticlinale) che determina un inarcamento

dei terreni (per piegamento) del substrato stesso, formando pertanto una specie di "collina sepolta".

Questa struttura tettonica attiva, nota con il nome di "Dorsale Ferrarese", continua verso W a Novi e Reggio e verso E a Ferrara e le Valli di Comacchio, ed è la responsabile degli eventi sismici del 20 e 29 maggio 2012, che hanno interessato la zona della bassa modenese.

La litologia superficiale del territorio in esame è prevalentemente una litologia dominata da litotipi fini quali argille e limi con relativi termini intermedi.

In profondità, invece, la zona in studio risulta caratterizzata da una sequenza superficiale di terreni fini argillosi e limosi, che ricoprono con spessori di circa 4/6 m il primo strato più grossolano, costituito da sabbie e sabbie limose, continuo fino ai 30 m indagati.

Vi è da notare che i terreni prevalentemente grossolani, sabbiosi-limosi, corrispondono in genere alle zone topograficamente più rilevate e rappresentano paleovalle dei corsi d'acqua sia principali sia minori, che divagavano in epoche recenti, mentre i terreni più fini, argillosi, corrispondono alle zone vallive.

Morfologicamente l'area d'intervento si presenta pianeggiante, tale da permettere uno sviluppo edilizio dell'intervento in progetto senza particolari problemi; si colloca in zona extra urbana a est del centro abitato di Novi.

La morfologia dell'area, tipica della fascia di bassa pianura modenese, è quasi perfettamente piana, con pendenze molto blande verso N-NE, nell'ordine del 1-2 per mille con quote medie del piano campagna di 19-20 metri s.l.m.

Attualmente l'evoluzione geomorfologica dell'area è per lo più imputabile all'uomo, che con la propria azione ha in parte inibito i fattori morfogenetici naturali, assumendo un ruolo predominante nelle trasformazioni del paesaggio.

La zona in studio è caratterizzata da una falda freatica disposta in generale a profondità modesta dal piano di campagna, grosso modo sui 2/4 metri.

Tale falda, così detta libera, è caratterizzata da bassi valori di trasmissività, da una variabilità del proprio livello in stretta relazione con gli apporti meteorici e con la rete di canalizzazione, essendo alimentata prevalentemente per infiltrazione superficiale.

Trova oggi scarsa utilizzazione, viene captata con pozzi tradizionali e le sue acque vengono prevalentemente utilizzate per innaffiare orti e giardini o per rifornire modesti impianti di irrigazioni, raramente per abbeverare il bestiame, in nessun caso si fa uso idropotabile.

Nello specifico dell'area in esame si è misurata la profondità della falda nel foro delle prove penetrometriche risultata pari a 4,00 m dal piano campagna; si esclude che in periodi particolarmente piovosi tale livello possa risalire ulteriormente fino ad interagire con le fondazioni dei silos in progetto.

In ogni caso, dato le caratteristiche litologiche-stratigrafiche prima descritte, si esclude che detta falda freatica possa risultare in comunicazione diretta con le sottostanti falde acquifere profonde; tale falda trova oggi, come detto, scarsa utilizzazione in relazione alla sua pessima qualità, sia dal punto di vista biologico che chimico, essendo usata più che altro per innaffiare orti e giardini e comunque in nessun caso si fa uso idropotabile.

Nell'area in esame il drenaggio superficiale è assicurato dalla presenza della rete dei fossi superficiali di campagna, che complessivamente creano buone condizioni di deflusso delle acque meteoriche. Nello specifico dell'area in esame non si rilevano condizioni di smaltimento difficoltoso o morfologia depressa.

In relazione alle quote idrometriche del fiume Secchia ed a quelle topografiche del territorio, l'area in esame è da ritenersi potenzialmente esondabile, tuttavia la probabilità del ripetersi di tali eventi alluvionali è tuttavia scongiurata dalla presenza poco a monte in località Marzaglia,

delle casse di espansione sul fiume Secchia, unitamente ad interventi idraulici sul fiume, consistenti in lavori di manutenzione degli alvei e potenziamento delle arginature.

Anche per quanto riguarda l'idrografia minore, non si rilevano preoccupazioni particolari per la zona specifica.

. B) CARATTERIZZAZIONE AREA D'INTERVENTO

. B1) DESCRIZIONE DEL PROGETTO

L'intervento in progetto consiste nell'installazione di nuovi silos, presso l'allevamento bovino della committenza.

L'area sulla quale si colloca l'intervento in progetto si ubica lungo via Gazzoli 102-104, nella zona est del comune di Novi di Modena (Mo).

L'area si colloca in una zona agricola, già parzialmente edificata, per la quale non si riscontrano problematiche particolari.

In allegato 6 è riportata la foto aerea della zona in esame con indicazione del stalla presso la quale avverrà l'installazione dei nuovi silos, con relativa ubicazione delle indagini eseguite.

. B2) INDAGINE GEOGNOSTICA E MODELLO GEOLOGICO

Prove penetrometriche CPT

La caratterizzazione litologica e geotecnica dei terreni del primo sottosuolo è stata eseguita mediante l'elaborazione di due prove penetrometriche statiche eseguite nell'area in oggetto, in data luglio 2013, occasione dei lavori di miglioramento sismico dei fabbricati abitativi esistenti, dopo i terremoti del 2012, che hanno colpito la zona in esame.

L'ubicazione delle prove eseguite compare nella foto aerea riportata in allegato 6, mentre i diagrammi penetrometrici, unitamente ai tabulati di campagna sono riportati in allegato 7.

Le prove che hanno raggiunto una profondità massima di 30 m dal p.d.c., sono state eseguite in sito utilizzando un penetrometro statico olandese Gouda da 10 tonnellate, automatizzato, impiegando per la perforazione una punta "Friction Jacket Cone" avente un'area di 10 cm² e un angolo alla punta di 60 gradi.

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 (R_p), espressi in Kg/ cm², i valori della resistenza laterale locale (R_l), 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 (R_p : pressione di rottura del terreno), espressa in Kg/ cm²;
- a destra, la curva del rapporto tra la resistenza alla punta e la resistenza laterale (R_l espressa in Kg/cm²).

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.

. B3) MODELLO GEOLOGICO

Successione stratigrafica

L'elaborazione delle prove penetrometriche eseguite sull'area e la correlazione delle stesse con altre indagini effettuate in aree circostanti, ha permesso di ricostruire il modello geologico del primo sottosuolo dell'area in esame. La zona in studio risulta caratterizzata da una sequenza superficiale di terreni fini argillosi e limosi, che ricoprono con spessori di circa 4/6 m il primo strato più grossolano, costituito da sabbie e sabbie limose, continuo fino ai 30 m di profondità indagati. Nello specifico dell'area in esame si evidenzia la presenza delle seguenti unità litotecniche:

Unità A da 0 m a 2,80 m

La prima unità è costituita da terreni fini, formati da argille e argille limose, a media consistenza e compattezza, tendente a diminuire con la profondità.

Unità B da 2,80 m a 4,60/6,20 m

La seconda unità è costituita da terreni medio-fini, formati da limi argillosi e limi con livelli di limi sabbiosi, a bassa compattezza e consistenza.

Unità C da 4,60/6,20 m a 9,40/10 m

La terza unità è costituita da terreni grossolani, formati da sabbie e sabbie limose, a scarso addensamento.

Unità D da 9,40/10 m a 30 m

La quarta unità è costituita sempre da terreni grossolani, formati da sabbie e sabbie limose, ben compatti e addensati.

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 si riscontra una falda freatica superficiale, la cui profondità, misurata alla fine dell'esecuzione delle prove penetrometriche, risultava attestarsi sui 4,00 metri dal piano campagna.

. B4) 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 porzione della bassa pianura modenese in cui ricade l'area in esame risulta caratterizzata da un'attività tettonica attiva, dovuta alla presenza nel sottosuolo di strutture geodinamiche note in bibliografia 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, tra cui anche quella in oggetto. Nella provincia di Modena, vi sono poi altre zone attive dal punto di vista tettonico, basti pensare alle zone che si collocano a sud, a ridosso del margine appenninico, zone nelle quali si riconoscono 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. 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 Novi di Modena ricade nella zona 3 (Allegato 4) a sismicità bassa, a cui è associato un valore della massima accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico pari a $a_g = 0,15g$. 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

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 i silos in progetto, tipo 2 e classe I).

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 HVSR

Al fine di determinare le caratteristiche sismiche dei terreni costituenti il sottosuolo dell'area in esame, si è eseguita in data 23/05/2025 un'apposita indagine sismica, mediante metodologia HVSR, con tromografo digitale, ubicata come da allegato 6.

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. 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 liscciamento 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.



Esecuzione indagine sismica HVSr

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} .

NOVI DI MODENA, VIA GAZZOLI, 102 – HVSR -

Strumento: TRZ-0010/01-09

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: 51

Inizio registrazione: 23/05/25 12:41:55

Fine registrazione: 23/05/25 13:01:55

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

Analizzato 90% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

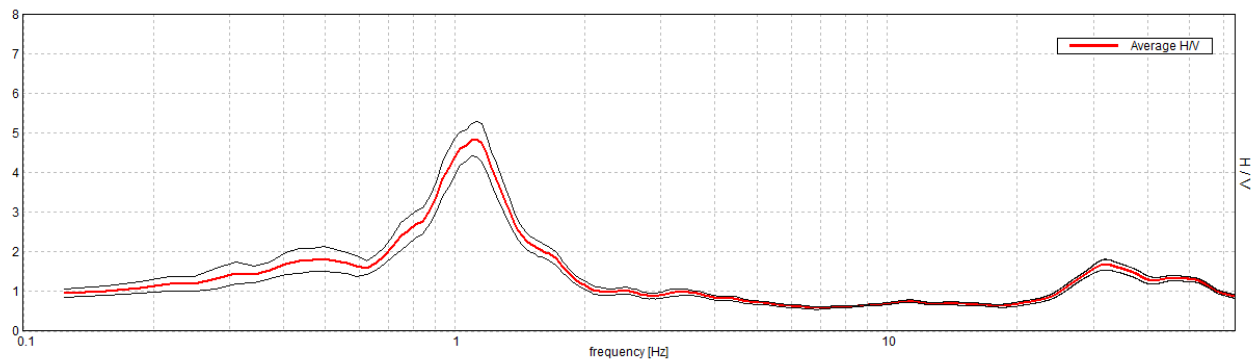
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

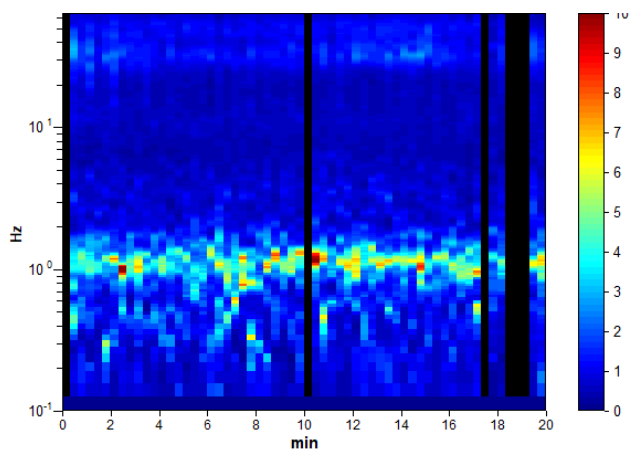
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

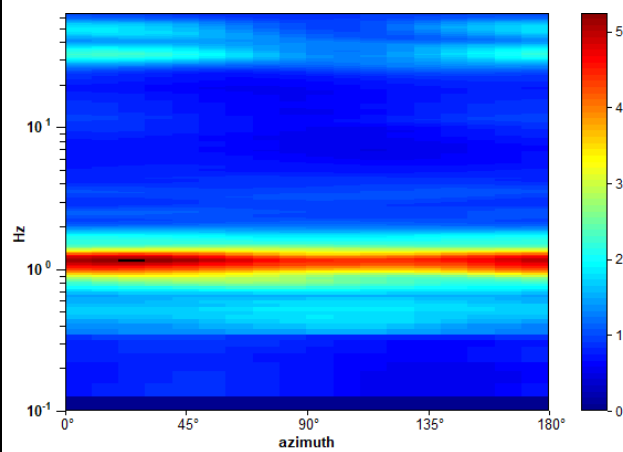
Picco H/V a 1.13 ± 0.13 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



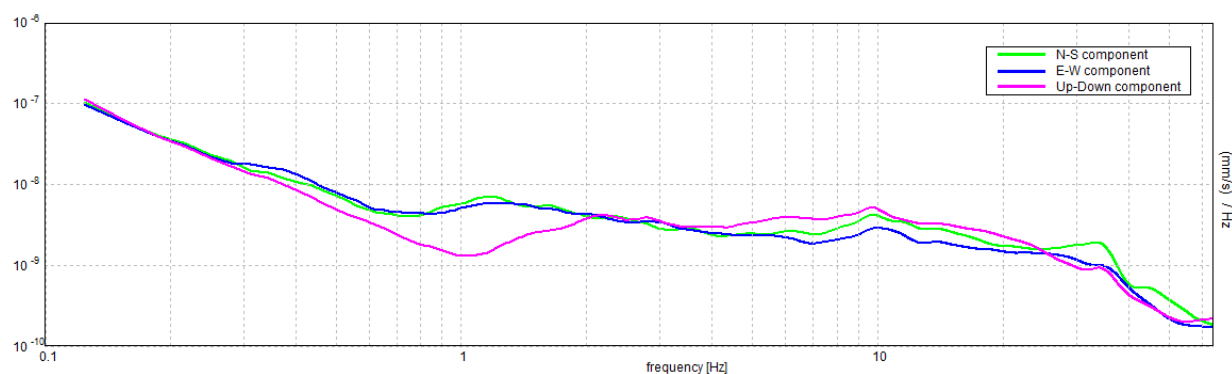
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V

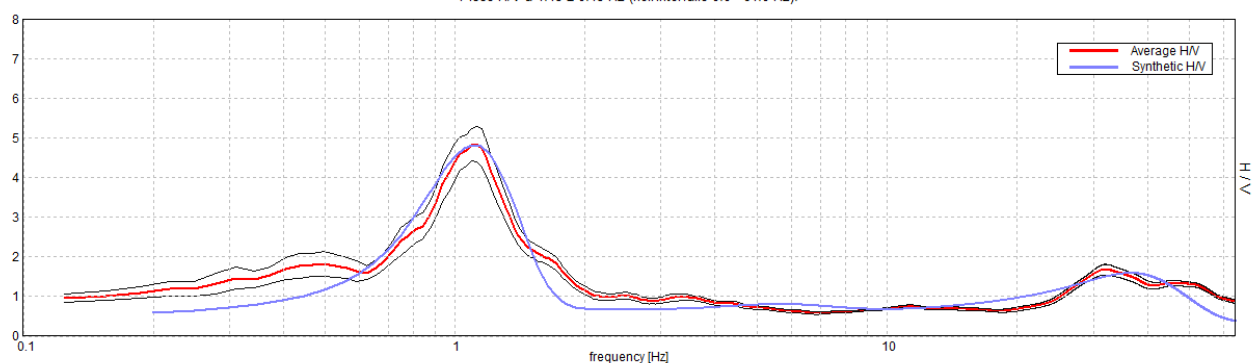


SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



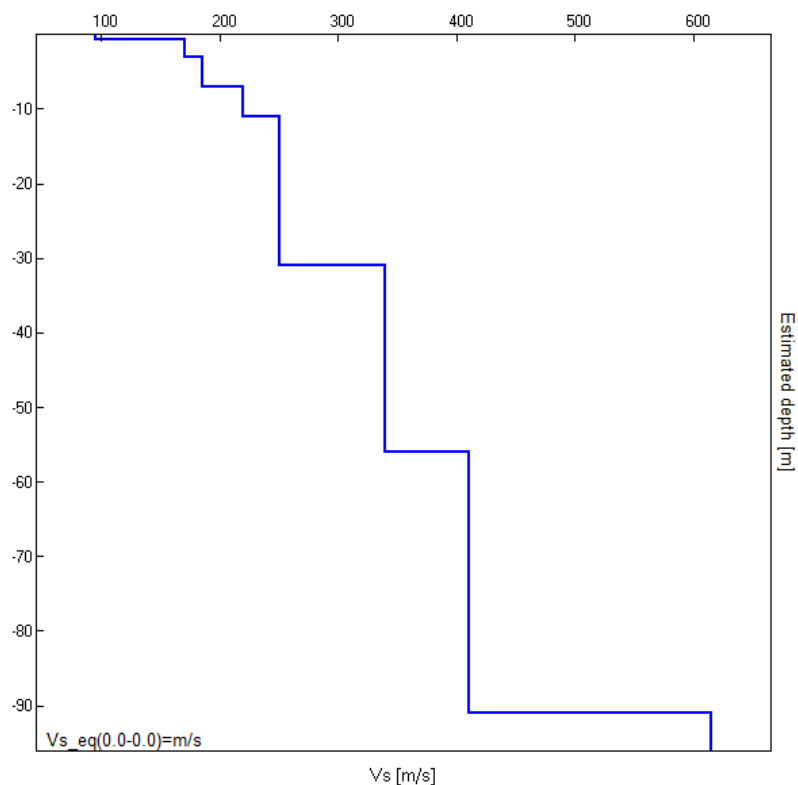
H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Picco H/V a 1.13 ± 0.13 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
0.60	0.60	95	0.45
3.00	2.40	170	0.45
7.00	4.00	185	0.45
11.00	4.00	220	0.45
31.00	20.00	250	0.45
56.00	25.00	340	0.45
91.00	35.00	410	0.45
inf.	inf.	615	0.42

$Vs_{eq}(0.0-30.0) = 220$ m/s



Picco H/V a 1.13 ± 0.13 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).
Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$1.13 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$1215.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 55	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.75 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.438 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$4.84 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.11743 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.1321 < 0.1125$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4498 < 1.78$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Per i terreni in oggetto, nell'area sulla quale è prevista l'installazione dei nuovi silos in progetto, fino ai 30 m di profondità, tenuto conto dell'indagine effettuata, si è ottenuto un valore della V_{s30} pari a 220 m/sec (Allegato 8), che definisce un suolo di fondazione **di categoria C**, riferibile a *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensate, o terreni a grana fine mediamente 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 180 e 360 m/s ($15 < N_{SPT} < 50$, $70 < c_u < 250$ kPa).

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 C, avremo:

$$- S_s = 1.70 - (0.6 \times F_o \times a_g / g)$$

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 C il coefficiente C_c risulta pari a.

$$- C_c = 1.05 \times (T^*_c)^{-0.33}.$$

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:	44,893364	Categoria sottosuolo: C
longitudine:	10,937546	Categoria topografica: T1
Classe:	1	Periodo di riferimento: 35 anni
Vita nominale:	50	Coefficiente c_u : 0.7

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 14948	Lat: 44,9064	Lon: 10,8800	Distanza: 4747,679
Sito 2	ID: 14949	Lat: 44,9079	Lon: 10,9505	Distanza: 1884,948
Sito 3	ID: 15171	Lat: 44,8579	Lon: 10,9526	Distanza: 4146,523
Sito 4	ID: 15170	Lat: 44,8564	Lon: 10,8822	Distanza: 6015,020

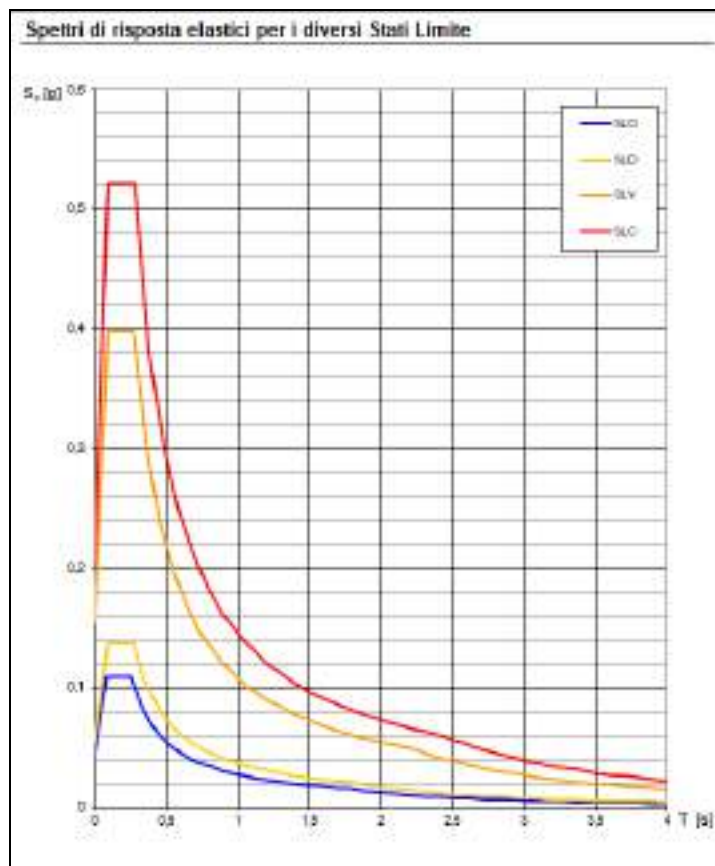
Parametri sismici

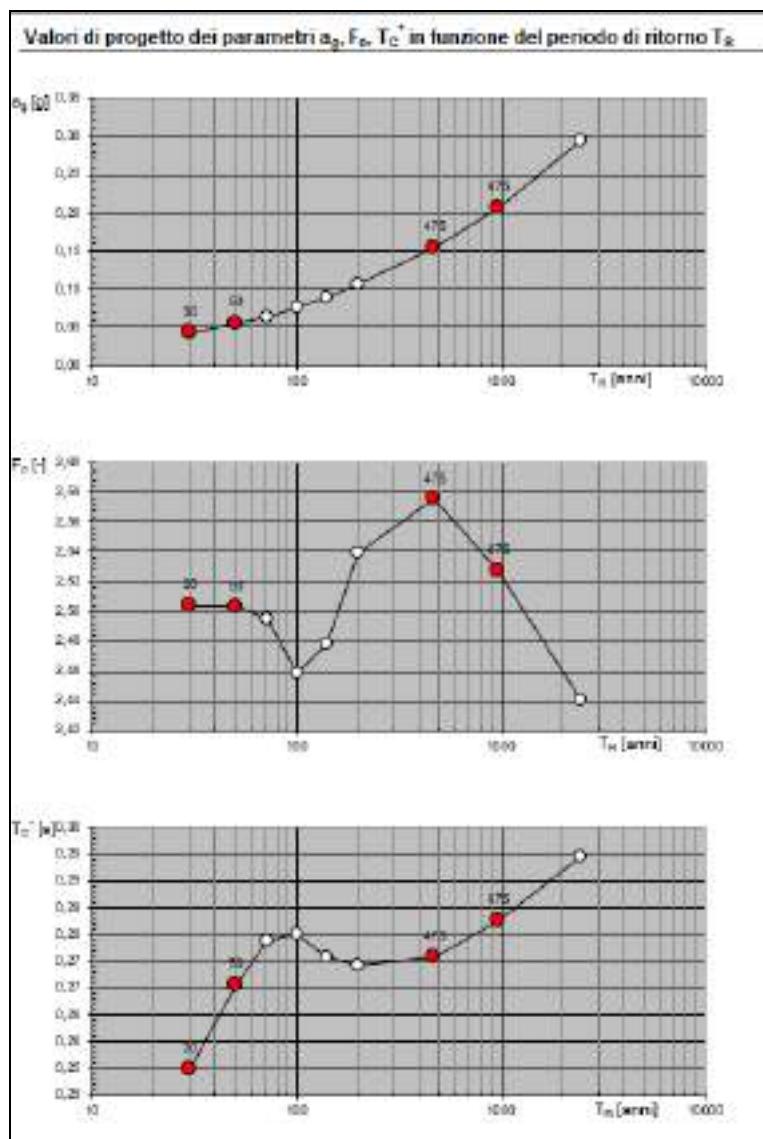
	Operativa SLO	Danno SLD	Salvaguardia della vita SLV	Prevenzione dal collasso SLC
Tr (anni)	30	35	332	682
Ag (g)	0,038	0,040	0,118	0,162
Fo	2,580	2,566	2,587	2,557
Tc* (s)	0,244	0,251	0,268	0,272

Coefficienti Sismici

	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss	1,500	1,500	1,500	1,450
Cc	1,670	1,660	1,620	1,610
St	1,000	1,000	1,000	1,000
Kh	0,011	0,012	0,042	0,056
Kv	0,006	0,006	0,021	0,028
Amax	0,553	0,590	1,731	2,304
Beta	0,200	0,200	0,240	0,240

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 della suscettibilità alla liquefazione

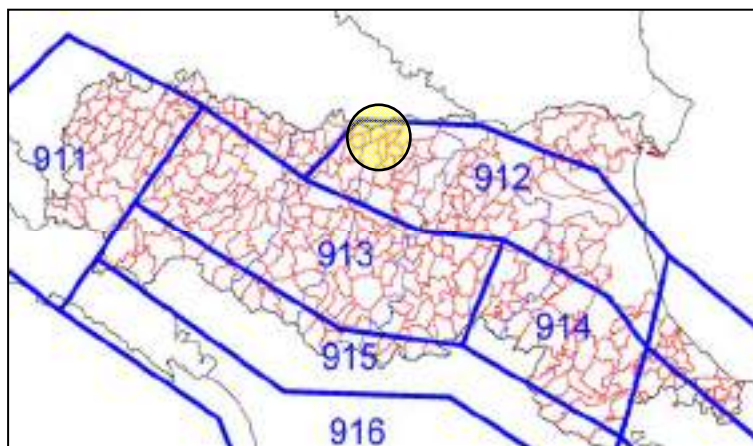
Nella nuova normativa, inerente agli aspetti sismici, di cui al D.M. 17/01/2018, è richiesto di effettuare la verifica a liquefazione nel caso in cui siano presenti, nei primi 20 m di profondità del sottosuolo indagato, terreni granulari saturi (sabbie e sabbie limose) predisposti al fenomeno della liquefazione in caso di sisma.

Per liquefazione si intende un processo di accumulazione della pressione del fluido interstiziale che causa in un terreno incoerente (sabbie e sabbie limose) saturo (sotto falda) una diminuzione della resistenza al taglio a seguito dello scuotimento sismico, potendo dar luogo a delle deformazioni permanenti significative.

Il meccanismo della liquefazione dipende sia dalle caratteristiche del sisma (magnitudo, durata, distanza epicentrale ecc.) che da quelle locali del terreno (granulometria, saturazione, densità relativa, stato tensionale, ecc).

Nello specifico dell'area in esame, rilevando strati sabbiosi saturi nei primi 20 m, ma solo terreni coesivi, è stata ugualmente valutata la suscettività alla liquefazione da prove CPT, mediante un programma di calcolo automatico che applica la correlazione di Robertson Wride

(1997). L'area del comune di Carpi, in esame appartiene alla Zona Sismogenetica n° 912 denominata "Dorsale Ferrarese" che rappresenta la zona più esterna della fascia in compressione dell'arco appenninico settentrionale, come riportato nella figura seguente.



Zone sismogenetiche

Tale zona, come dalle rilevazioni dell'INGV (marzo 2004), almeno fino ai recenti eventi del maggio 2012, era caratterizzata da una magnitudo massima registrata di 4.6 Md, con una profondità efficace di 7 km, come riportato nella tabella seguente che evidenzia come sia elevato il numero di eventi con basse magnitudo che contribuiscono alla dissipazione delle energie tettoniche che si accumulano nelle strutture compressive della dorsale.

Zona	Numero eventi Md>2	Numero eventi Md>2.5	Numero eventi Md>3.0	Magnitudo massima Md	Classe di profondità (km)	Profondità efficace (km)
912	180	141	54	4.6	5-8	7

Dettagli eventi nella zona simogenetica 912

Il Catalogo parametrico dei terremoti italiani Edizione 2004 denominato CPTI04 registra valori massimi di magnitudo momento Mw per la zona sismogenetica n° 912 pari a 6.14.

Litologicamente i terreni del primo sottosuolo in tutta l'area di interesse risultano caratterizzati da una certa omogeneità tipica di un ambiente di pianura alluvionale nel quale si alternano sia spazialmente che temporalmente ambienti deposizionali tra loro collegati.

Sostanzialmente si evidenzia una componente medio fine argillo limosa e limo argillosa dominante, che si ripete in modo monotono in profondità, almeno fino ai 20 m indagati. La verifica della suscettibilità alla liquefazione è stata eseguita pertanto considerando i risultati, sino alla profondità di 20 m dal p.d.c. dell'indagine penetrometrica eseguita. La falda è stata cautelativamente considerata alla profondità di 1 m dal p.d.c.

Di conseguenza è stata effettuata un'analisi per verificare la possibilità di occorrenza di fenomeni di liquefazione attraverso un'analisi semplificata in condizioni di free-field valutando, ad ogni quota z del deposito compresa nei primi 20 m, la suscettibilità alla liquefazione attraverso un coefficiente di sicurezza F_L dato dal rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione (CRR) e sollecitazione indotta dall'azione sismica (rapporto di tensione ciclica CSR) mediante i metodi riportati di seguito ed indicati dalle "Linee Guida AGI – Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica". Per quanto concerne la magnitudo, come riportato sopra, si è fatto riferimento ad un valore massimo pari a 6.14.

Per quel che concerne invece l'accelerazione massima attesa in superficie nell'area in esame, le analisi effettuate secondo quanto stabilito dalle NTC 2018, considerando una classe d'uso 1 "costruzioni il cui uso preveda saltuaria presenza di persone" e pertanto un Coefficiente C_u pari a 0.7 e un suolo di tipo C, hanno portato ad un valore pari a 0.1731g.

Il coefficiente di sicurezza F_L è stato calcolato a partire dalla seguente formula:

$$F_L = \frac{CRR}{CSR} MSF$$

Il rapporto di tensione ciclica CSR, ad una determinata profondità, può essere valutato attraverso l'espressione di Seed e Idriss, 1971 riportata di seguito:

$$CSR = 0.65 \frac{a_{\max}}{g} \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} R_d$$

Dove: a_{\max} : accelerazione di picco al piano campagna del terremoto di progetto;

g : accelerazione di gravità;

σ_{v0} : tensione totale verticale alla profondità considerata;

σ'_{v0} : tensione efficace verticale alla profondità considerata;

R_d : coefficiente riduttivo dell'azione sismica per valutare la deformabilità del sottosuolo;

Il coefficiente riduttivo dell'azione sismica R_d si può ricavare, per profondità del piano campagna inferiori a 20 m, mediante la seguente espressione (Idriss e Boulanger, 2004):

$$R_d = \exp \left[\left(-1.012 - 1.126 \sin \left(\frac{z}{11.73} + 5.133 \right) \right) + \left(0.106 + 0.118 \sin \left(\frac{z}{11.28} + 5.142 \right) \right) M \right]$$

Essendo z la profondità dal piano campagna espressa in metri ed M la magnitudo di momento dell'evento sismico atteso.

Poiché le procedure semplificate sono state elaborate sulla base di osservazioni sul comportamento dei depositi durante eventi sismici con magnitudo di momento M pari a 7.5, per eventi di magnitudo diversa occorre ridurre il carico sismico a quello equivalente di un terremoto di magnitudo 7.5 ($CSR_{M=7.5}$) attraverso la seguente relazione:

$$CSR_{M=7.5} = \frac{CSR}{MSF}$$

In cui MSF è un fattore di scala per la magnitudo che si può ricavare dall'espressione riportata di seguito (Idriss e Boulanger, 2004):

$$MSF = 6.9 \exp \left(\frac{-M}{4} \right) - 0.058$$

Per quel che concerne invece la valutazione del rapporto di resistenza ciclica CRR, la resistenza penetrometrica, q_c , ricavata dalle indagine penetrometriche statiche CPT, deve essere ricondotta ad un valore normalizzato, q_{c1N} , attraverso la seguente espressione:

$$q_{c1N} = C_q \frac{q_c}{p_a}$$

Dove p_a (pressione atmosferica pari a 100kPa) e q_c espressa nella stessa unità di misura.

Il coefficiente C_Q (fattore correttivo per tener conto dell'influenza della pressione verticale efficace) può essere ricavato per via iterativa dalla seguente espressione (Boulanger e Idriss, 2004):

$$C_Q = \left(\frac{P_a}{\sigma'_{v0}} \right)^{1.338 - 0.294(q_{c1N})^{0.264}}$$

Tale coefficiente non deve superare il valore di 1.7. Dal valore di (q_{c1N}) è possibile ottenere la resistenza alla liquefazione, per eventi sismici di magnitudo di momento pari a $M=7.5$, mediante la seguente espressione valida per sabbie pulite (Idriss e Boulanger, 2004).

$$CRR = \exp \left[\frac{q_{c1N}}{540} + \left(\frac{q_{c1N}}{67} \right)^2 - \left(\frac{q_{c1N}}{80} \right)^3 + \left(\frac{q_{c1N}}{114} \right)^4 - 3 \right]$$

Per materiali con frazione fine non trascurabile invece, per ottenere la resistenza alla liquefazione CRR è stata utilizzata la seguente equazione (Robertson e Wride, 1997):

$$CRR = 0.883 \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right] + 0.05 \quad \text{se } (q_{c1N})_{cs} < 50$$

$$CRR = 93 \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right]^3 + 0.08 \quad \text{se } (q_{c1N})_{cs} > 50$$

Nelle equazioni sopra riportate appare il valore $(q_{c1N})_{cs}$.

Infatti, nel caso di materiali con frazione fine non trascurabile la resistenza penetrometrica normalizzata q_{c1N} deve essere ricondotta ad un valore per sabbie pulite $(q_{c1N})_{cs}$ mediante la seguente espressione (Robertson e Wride, 1998):

$$(q_{c1N})_{cs} = K_c * q_{c1N}$$

Il fattore correttivo K_c è dato da:

$$K_c = 1.0 \quad \text{per } I_c \leq 1.64$$

$$K_c = -17.88 + 33.75I_c - 21.63I_c^2 + 5.581I_c^3 - 0.4031I_c^4 \quad \text{per } I_c > 1.64$$

Il parametro di comportamento del terreno I_c da inserire nelle equazioni sopra riportate è una funzione della resistenza alla punta q_c e della resistenza laterale del manicotto f_s misurate dalle prove penetrometriche CPT.

In particolare:

$$I_c = \left[(3.47 - \log Q)^2 + (1.22 + \log F)^2 \right]^{0.5}$$

con:

$$Q = \left[\left(\frac{(q_c - \sigma_{v0})}{P_a} \right) \right] \left[\left(\frac{P_a}{\sigma'_{v0}} \right)^n \right] \quad \text{resistenza penetrometrica normalizzata}$$

$$F = \left[\frac{f_s}{(q_c - \sigma_{v0})} \right] * 100\% \quad \text{resistenza laterale normalizzata}$$

Da quanto sopra, il 1° dato da ottenere è l'Indice I_C e relativo esponente di sforzo (n), che si ottengono procedendo per steps successivi:

- 1) se $I_C > 2,6$ ed $n=1$ allora il terreno è classificabile coesivo quindi non liquefacibile ed il calcolo è terminato;
- 2) se $I_C < 2,6$ il suolo può essere di natura granulare e si ripete il calcolo con $n=0,5$;
- 3) se dal ricalcolo del punto 2 $I_C > 2,6$ il suolo è classificabile come non coesivo ed il valore di I_C sarà utilizzato nel calcolo di q_{c1N}
- 4) se dal ricalcolo del punto 3 $I_C > 2,6$ il suolo è classificabile come limoso ed eventualmente coesivo e si dovrà ripetere il calcolo con $n=0,7$ ed il valore del nuovo I_C sarà utilizzato nel calcolo di q_{c1N}
- 5) se dal ricalcolo del punto 4 $I_C > 2,6$ si utilizzerà come q_{c1N} il valore di $2q_c$.

Facendo riferimento a quanto previsto dalla Delibera dell'Assemblea Legislativa della RER n° 112 della Regione Emilia Romagna, ottenuti i valori di CSR e di CRR è possibile valutare il coefficiente di sicurezza F_L .

Come previsto da tale normativa se $F_L > 1$ si possono escludere fenomeni di liquefazione mentre se $F_L < 1$ è possibile che avvengano fenomeni di liquefazione.

Dalla verifica, ottenuto il parametro F_L , è possibile operare una stima probabilistica della possibilità che avvenga la liquefazione, utilizzando la seguente relazione proposta dalla normativa:

$$I_L = \int_0^{20} F(z)w(z)dz$$

In cui z è la profondità dal piano campagna in metri e $w(z) = 10 - 0.5z$.

Ad una data quota z il fattore $F(z)$ vale:

$$F = 1 - F_L \quad \text{se } F_L \leq 1$$

$$F = 0 \quad \text{se } F_L > 1$$

In particolare il valore dell'indice del potenziale di liquefazione I_L valutato porta alla definizione del rischio di liquefazione secondo Sonmez (2003) che risulta:

Indice del potenziale di liquefazione, SONMEZ, 2003	Pericolosità di liquefazione
$I_L = 0$	Nulla
$0 < I_L < 2$	Bassa
$2 < I_L < 5$	Moderata
$5 < I_L < 15$	Alta
$I_L > 15$	Molto alta

Come riportato nella tabella seguente si è ottenuto un valore dell'indice di potenziale liquefazione I_L pari a 1.35, con il rischio di liquefazione che può essere considerato basso e accettabile.

Prova	Indice di potenziale Liquefazione I_L	Rischio di Liquefazione
P1	1.35	Basso

In allegato 5 si riporta la Carta della Microzonazione sismica del Comune di Novi di Modena, nella quale l'area in esame non risulta indagata, ma si pone vicina ad una zona classificata a rischio di liquefazione, che però nell'area come visto è basso e quindi del tutto accettabile.

. B5) CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

La caratterizzazione geotecnica dei terreni del primo sottosuolo è stata eseguita mediante l'elaborazione delle due prove penetrometriche statiche eseguita sull'area, sulla quale è previsto l'intervento in progetto, in occasione del miglioramento sismico dell'abitazione. Le prove sono state spinte sino alla profondità massima di 30 m dal piano campagna.

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 ha evidenziato la presenza di terreni con buone caratteristiche di resistenza. Sulla base dei dati ottenuti, si ritiene idonea, per i silos in progetto, l'adozione di fondazioni superficiali, il cui piano di posa dovrà essere collocato ad una profondità non inferiore a 60 cm dal p.d.c. attuale in modo tale da consentire di fatto il superamento del terreno superficiale più alterato, compreso direttamente nella zona soggetta alle variazioni di umidità e temperatura. Sulla base delle prove eseguite si è stimata una portanza in termini di stati limite ultimo SLU, pari a 1.6 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), soprattutto in riferimento ai possibili cedimenti del secondo strato più compressibile.

Nelle tabelle seguenti è riportata per le prove eseguite la caratterizzazione litostratigrafica e geotecnica media, con i principali parametri utili alle successive verifiche.

Parametri geotecnici

Prova P1

Strato	Prof.	Rpm	Cu	C'	ϕ	Mo	γ	Dr	v	w	Tipo
1	0 – 2,80	15	0,67	0,32	19	58	1,9	/	0,44	2	Argille limose
2	2,80 – 6,20	9	0,46	0,28	21	43	1,9	/	0,45	1,5	Limi argillosi
3	6,20 – 10	40	/	/	28	121	1,8	40	0,4	4	Sabbie
4	10 – 30	176	/	/	39	460	1,8	70	0,3	12	Sabbie limose

Prova P2

Strato	Prof.	Rpm	Cu	C'	ϕ	Mo	γ	Dr	v	w	Tipo
1	0 – 2,80	21	0,81	0,44	19	71	1,9	/	0,44	2	Argille limose
2	2,80 – 4,60	10	0,48	0,29	21	44	1,9	-/-	0,45	1,5	Limi argillosi
3	4,60 – 9,40	43	/	/	28	128	1,8	42	0,4	4	Sabbie
4	9,40 – 10	103	/	/	34	280	1,8	70	0,3	10	Sabbie limose

Dove:

Strato:	Numero progressivo strato	ϕ :	Angolo di resistenza al taglio (°)
Prof:	Profondità base strato (m)	Mo:	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Rpm:	Resistenza alla punta media (Kg/cm ²)	γ :	Peso unità di volume (t/m ³)
Cu:	Coesione non drenata (Kg/cm ²)	w:	Coefficiente di Winkler (Kg/cm ³)
C':	Coesione efficace (Kg/cm ²)	v:	Coefficiente di Poisson
Dr:	Densità relativa (%)	Tipo:	Litologia prevalente strato

Per il 1° strato quello maggiormente compressibile, grosso modo fino a circa 3 m di profondità, si sono inoltre stimati i principali valori di deformazione del terreno di sottofondazione, riportati nella seguente tabella:

Strato	Prof.	Rpm	E	OCR	Cc	Cr	e
1	0 – 2,80	15	89,40	1,4	0,36	0,028	0,66

Dove:

Rpm:	Resistenza alla punta media (Kg/cm ²)	Cc:	Coefficiente di compressione
E:	Modulo elastico (Kg/cm ²)	Cr:	Coefficiente di ricomprensione
OCR:	Grado di sovraconsolidazione	e:	Indice dei vuoti

. C) CONCLUSIONI

La presente relazione tratta dei caratteri geologici, geomorfologici, sismici e geotecnici di un'area posta lungo via Gazzoli 102-104, nel comune di Novi di Modena (Mo), sulla quale è in progetto l'installazione di nuovi silos presso l'allevamento bovino esistente della committenza.

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 di resistenza.

Si è infatti verificata la mancanza di controindicazioni da un punto di vista geologico, geotecnico, idrologico, idrogeologico e sismico. 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 discrete caratteristiche geomeccaniche.

La caratterizzazione dei terreni di sottofondazione nell'area in esame, è stata ottenuta facendo riferimento a due prove penetrometriche statiche, di cui una spinta sino alla profondità massima di 30 m dal piano campagna attuale, l'altra a 10 m sempre dal piano campagna, eseguite sull'area in occasione del progetto di miglioramento sismico del fabbricato abitazione adiacente, tenuto conto della buona omogeneità della zona in studio.

Si rileva una copertura di terreni fini limosi e argillosi, che sormontano con spessori di circa 4/6 metri lo strato più grossolano sabbioso e sabbio limoso, continuo fino ai 30 m indagati

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.

Sulla base dei dati ottenuti, si ritiene idonea l'adozione di fondazioni superficiali a platea, per i silos in progetto, che si dovranno attestare ad almeno 60 cm di profondità, oltrepassando i terreni superficiali più alterati e in parte di riporto.

A titolo indicativo si è stimata per i terreni in esame una portanza in termini di stati limite ultimo SLU, pari a 1.6 Kg/cm²; una volta noti i carichi agenti ai sensi delle norme vigenti si dovranno eseguire le verifiche agli stati limite (NTC2018), soprattutto in riferimento ai possibili cedimenti del secondo strato più compressibile.

L'area presenta un livello di falda freatica alla profondità di circa 4 m dal piano campagna, che non dovrebbe interferire con gli scavi di fondazione in progetto.

Dal punto di vista sismico si dovrà fare riferimento come zonizzazione per il comune di Novi di Modena, alla zona 3. Si è classificata l'area in esame definendo i parametri di pericolosità sismica di base; quindi, mediante apposita indagine sismica HVSR, si è determinata la categoria sismica di suolo di fondazione dei terreni presenti, risultata essere la categoria C.

Per quanto riguarda invece l'amplificazione topografica siamo nella categoria T1.

Si è verificato, inoltre, come, per i terreni in esame, il rischio di liquefazione sia basso e quindi del tutto accettabile.

In ogni modo, in fase esecutiva, una volta definito l'intervento, occorrerà durante le operazioni di cantiere, l'assistenza dello scrivente per la verifica in corso d'opera delle condizioni geologiche e geotecniche assunte in questa sede.

Modena, 04/06/2025

Il Tecnico

Dott. Geol. Alessandro Maccaferri



ALLEGATI

Allegato 1 – Inquadramento geografico

Allegato 2 – Ubicazione area d'interesse

Allegato 3 – Carta geologica RER

Allegato 4 – Carta della zonizzazione sismica RER

Allegato 5 – Carta della microzonazione sismica PSC

Allegato 6 – Ubicazione indagini geognostiche


Allegato 7 – Prova penetrometrica statica CPT

Allegato 8 – Indagine sismica HVSR

Inquadramento Geografico

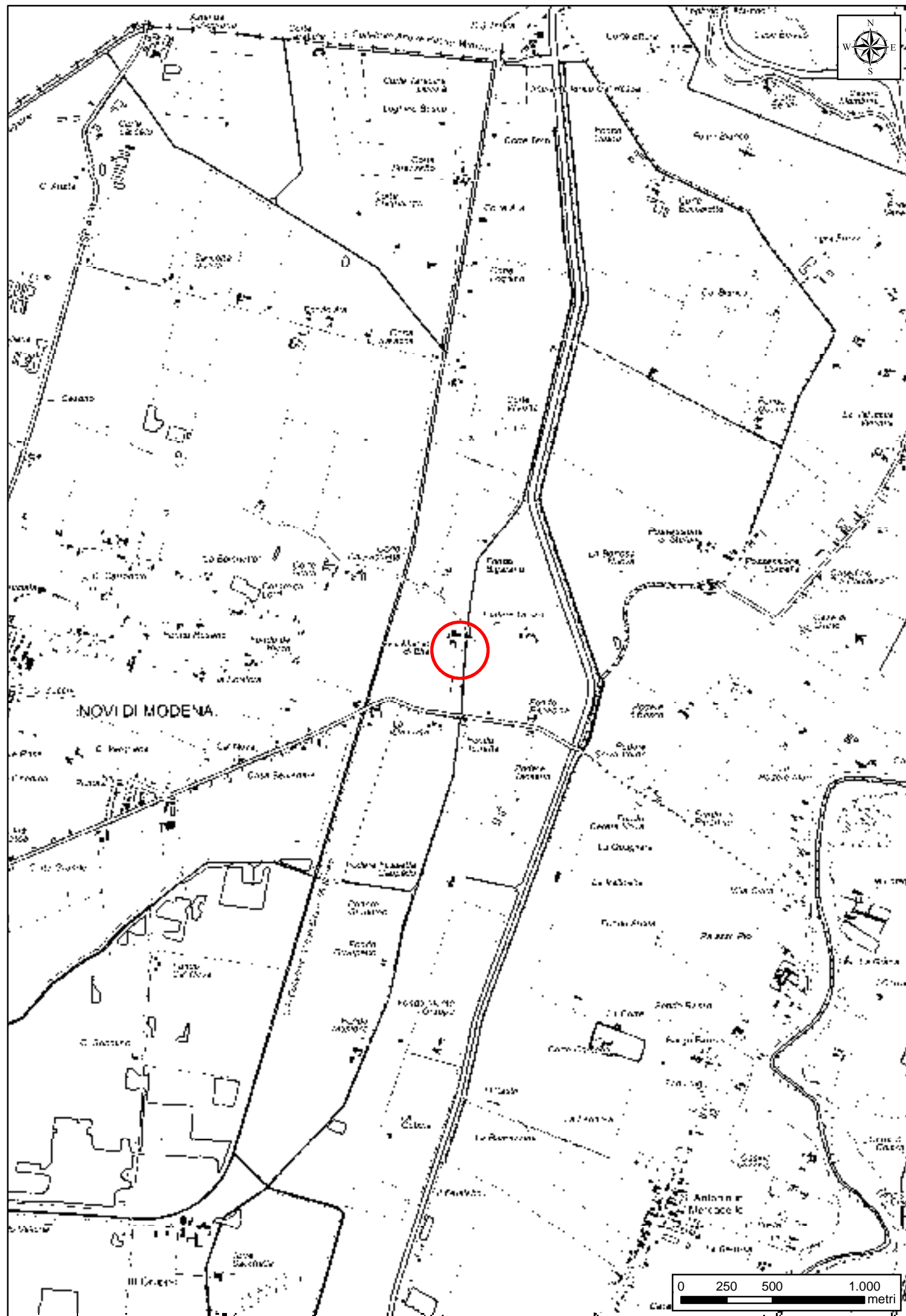
C.T.R. scala 1 : 25.000

Estratto Tavola 183SE "Novi di Modena"

 Ubicazione area in oggetto

A
L
L
E
G
A
T
O


1



<p>Ubicazione area in studio</p> <p>C.T.R. scala 1 : 5.000</p> <p>Estratto Elemento 183124 "Possessione Santo Stefano"</p> <p> Ubicazione area in oggetto</p>	<p>A L L E G A T O</p>	<p>2</p>
---	--	----------

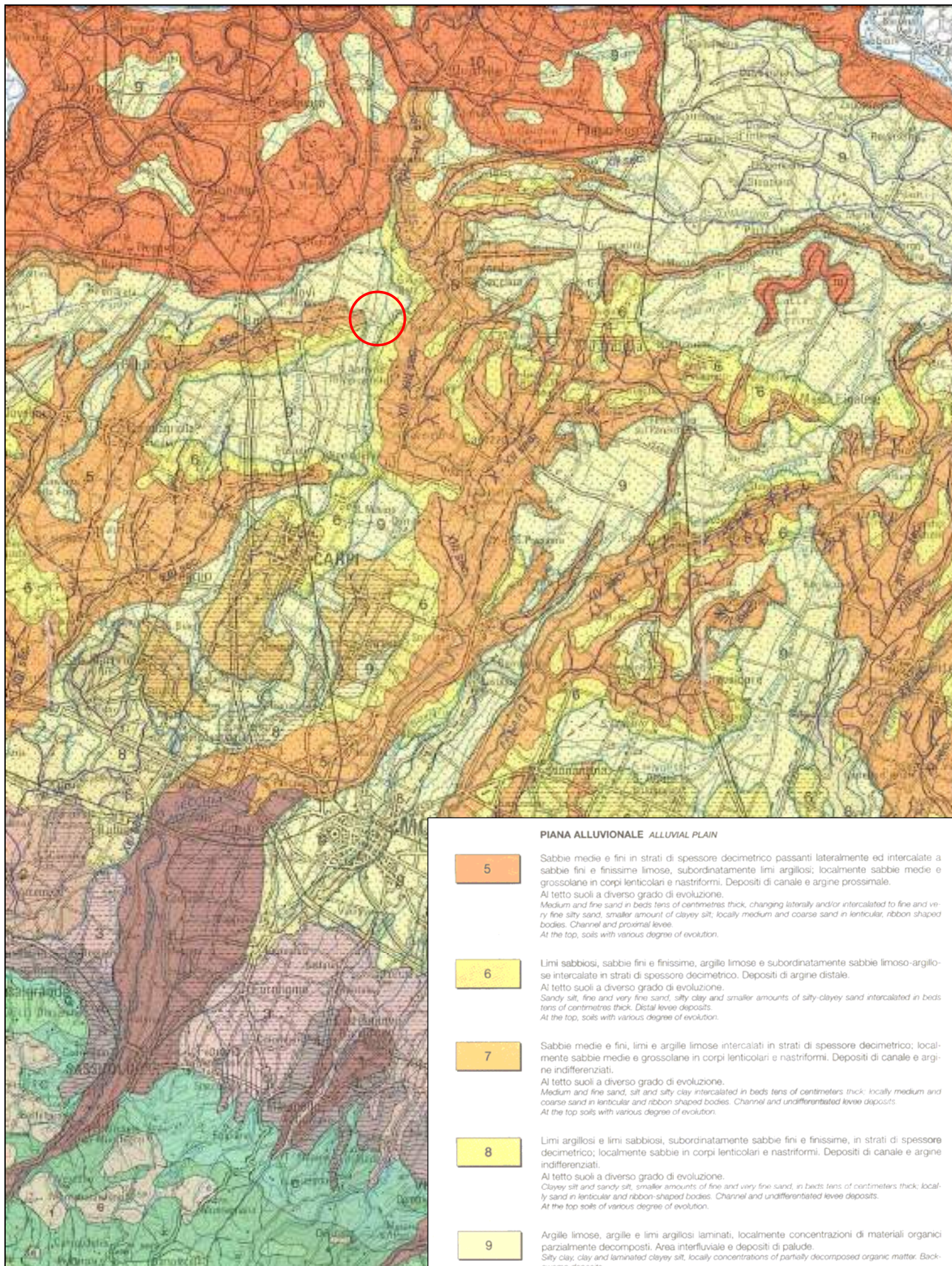
**Carta geologica di pianura
dell'Emilia Romagna**

Scala 1 : 250.000

 Ubicazione area in oggetto

A
L
L
E
G
A
T
O

3



PIANA ALLUVIONALE ALLUVIAL PLAIN

5

Sabbie medie e fini in strati di spessore decimetrico passanti lateralmente ed intercalate a sabbie fini e finissime limose, subordinatamente limi argillosi; localmente sabbie medie e grossolane in corpi lenticolari e nastriformi. Depositi di canale e argine prossimale.

Al tetto suoli a diverso grado di evoluzione.
Medium and fine sand in beds tens of centimetres thick, changing laterally and/or intercalated to fine and very fine silty sand, smaller amount of clayey silt; locally medium and coarse sand in lenticular, ribbon shaped bodies. Channel and proximal levee deposits.

At the top, soils with various degree of evolution.

6

Limi sabbiosi, sabbie fini e finissime, argille limose e subordinatamente sabbie limoso-argillose intercalate in strati di spessore decimetrico. Depositi di argine distale.

Al tetto suoli a diverso grado di evoluzione.
Sandy silt, fine and very fine sand, silty clay and smaller amounts of silty-clayey sand intercalated in beds tens of centimetres thick. Distal levee deposits.

At the top, soils with various degree of evolution.

7

Sabbie medie e fini, limi e argille limose intercalati in strati di spessore decimetrico; localmente sabbie medie e grossolane in corpi lenticolari e nastriformi. Depositi di canale e argine indifferenziati.

Al tetto suoli a diverso grado di evoluzione.
Medium and fine sand, silt and silty clay intercalated in beds tens of centimetres thick; locally medium and coarse sand in lenticular and ribbon shaped bodies. Channel and undifferentiated levee deposits.

At the top soils with various degree of evolution.

8

Limi argillosi e limi sabbiosi, subordinatamente sabbie fini e finissime, in strati di spessore decimetrico; localmente sabbie in corpi lenticolari e nastriformi. Depositi di canale e argine indifferenziati.

Al tetto suoli a diverso grado di evoluzione.
Clayey silt and sandy silt, smaller amounts of fine and very fine sand, in beds tens of centimetres thick; locally sand in lenticular and ribbon-shaped bodies. Channel and undifferentiated levee deposits.

At the top soils of various degree of evolution.

9

Argille limose, argille e limi argillosi laminati, localmente concentrazioni di materiali organici parzialmente decomposti. Area interfluviale e depositi di palude.

Silty clay, clay and laminated clayey silt, locally concentrations of partially decomposed organic matter. Back-swamp deposits.


10

Sabbie medie e grossolane subordinatamente ghiaie e ghiaie sabbiose, limi e limi sabbiosi in strati di spessore decimetrico. Depositi di piana a meandri.

Al tetto suoli a diverso grado di evoluzione.
Medium and coarse sand, to a lesser extent gravel and sandy gravel, smaller amounts of silt and sandy silt in bed tens of centimetres thick. Meander belt deposits.

At the top, soils of various degree of evolution.

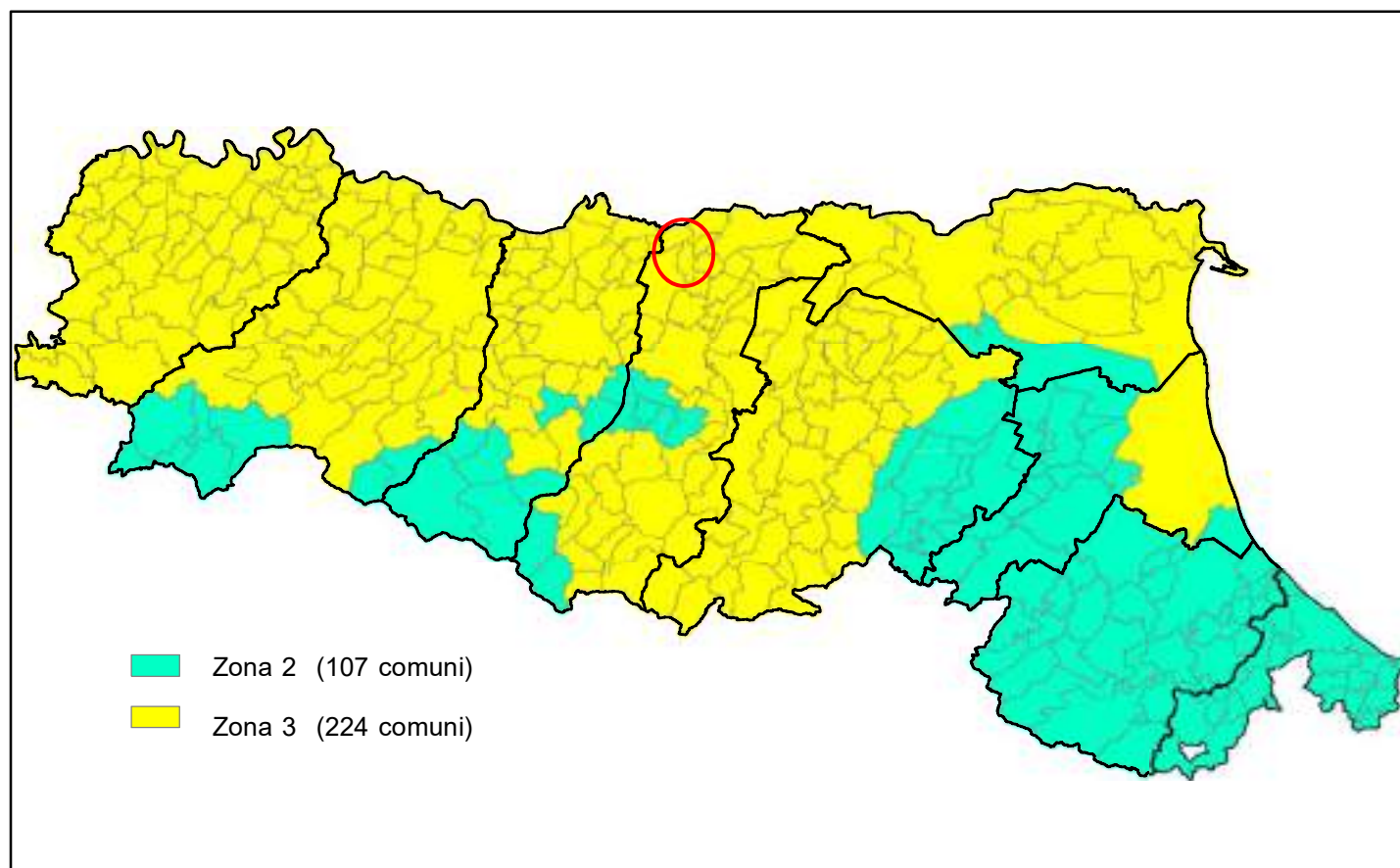
Carta della zonizzazione sismica

 Comune di Novi di Modena

A
L
L
E
G
A
T
O


4

Classificazione sismica dei comuni dell'Emilia Romagna



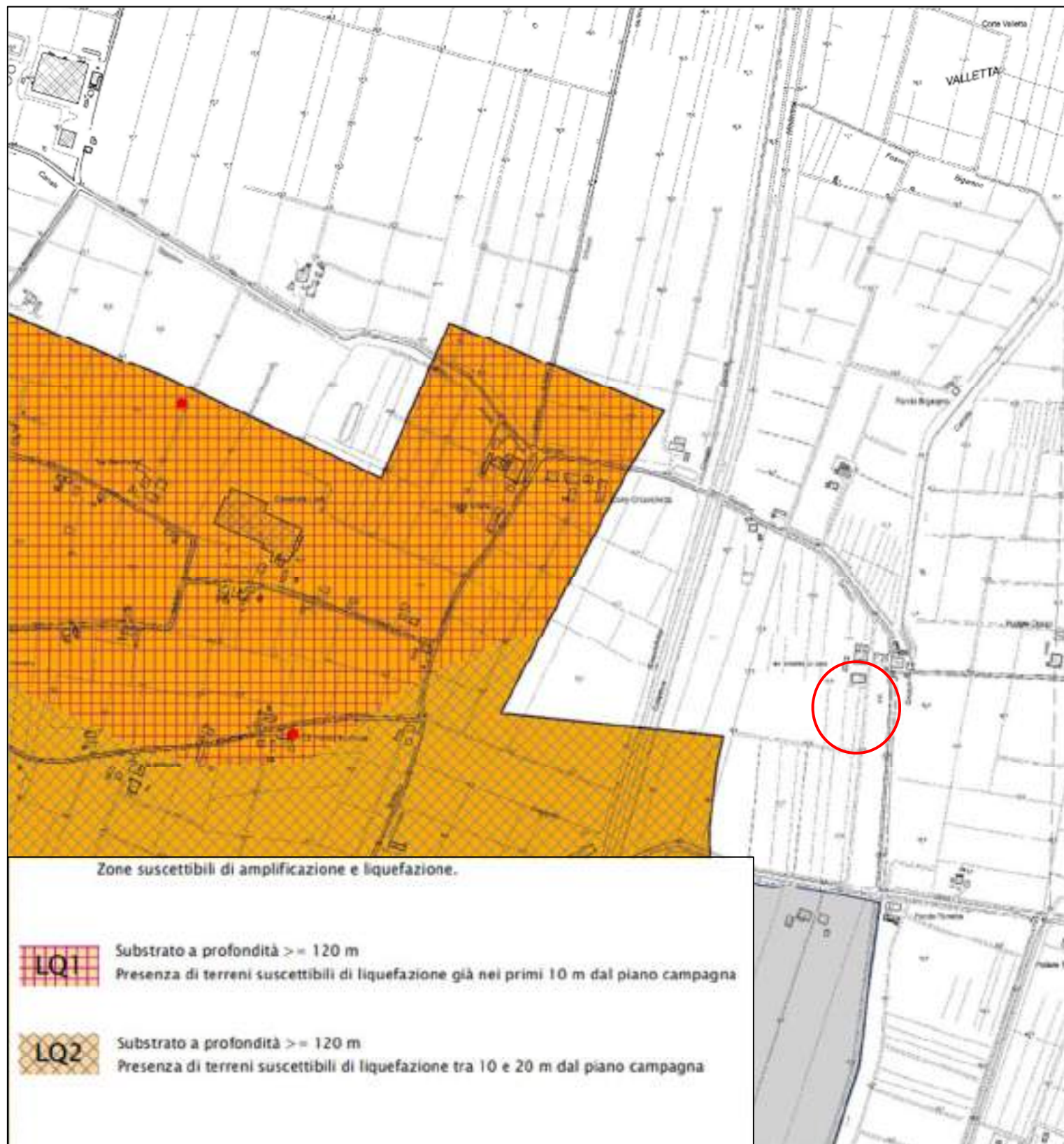
**Carta delle microzone omogenee in
prospettiva sismica**

Scala 1 : 10.000

 Ubicazione area in oggetto

A
L
L
E
G
A
T
O

5



<p data-bbox="311 952 1101 1064">Foto aerea con ubicazione indagini geognostiche</p> <p data-bbox="438 1131 925 1243"> P1 Prova penetrometrica  S1 Indagine sismica HVSR</p>	<p data-bbox="1204 884 1236 1232">A L L E G A T O</p>	<p data-bbox="1292 1019 1332 1075">6</p>
--	---	--



Prove penetrometriche CPT

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

7



Via AUSTRIA, 24 - 41100 MODENA

Telefono 059/313999

Telefax 059/454827



PROVA PENETROMETRICA STATICA

Penetrometro Gouda

Certificato n. : **466/13**

Data emissione: 27/05/13

Committente : AZ. AGR. SPADAZZI LUCIA

Località : VIA GAZZOLI N. 104 NOVI DI MODENA

Prova numero : 1

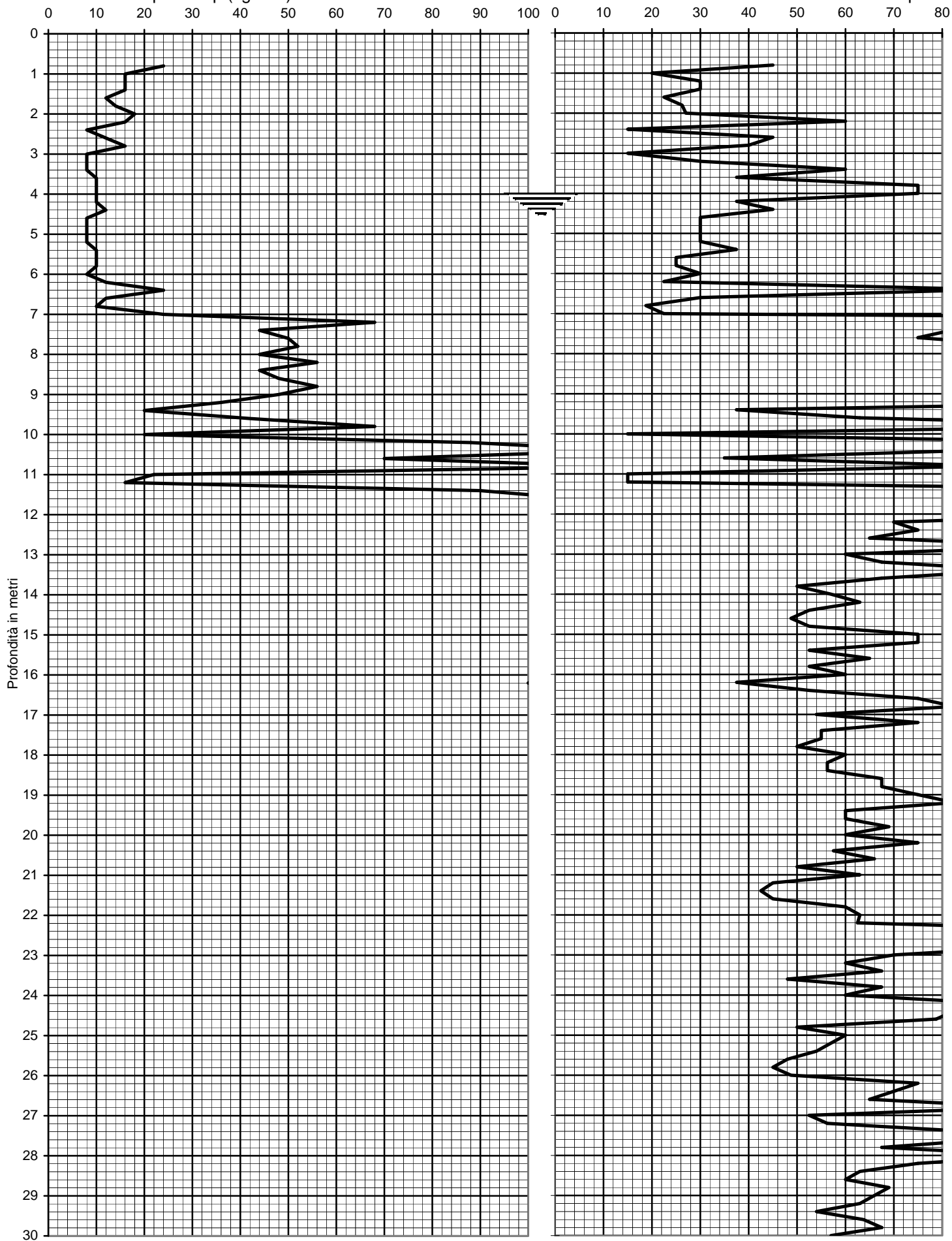
Data : 27/05/2013

Operatore : DR. REBECCHI

Quota : P.C.

Resistenza alla punta R_p (kg/cm^2)

R_p/R_l



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	24	32	24	0,53	45,00
1,00	16	28	16	0,80	20,00
1,20	16	24	16	0,53	30,00
1,40	16	24	16	0,53	30,00
1,60	12	20	12	0,53	22,50
1,80	14	22	14	0,53	26,25
2,00	18	28	18	0,67	27,00
2,20	16	20	16	0,27	60,00
2,40	8	16	8	0,53	15,00
2,60	12	16	12	0,27	45,00
2,80	16	22	16	0,40	40,00
3,00	8	16	8	0,53	15,00
3,20	8	12	8	0,27	30,00
3,40	8	10	8	0,13	60,00
3,60	10	14	10	0,27	37,50
3,80	10	12	10	0,13	75,00
4,00	10	12	10	0,13	75,00
4,20	10	14	10	0,27	37,50
4,40	12	16	12	0,27	45,00
4,60	8	12	8	0,27	30,00
4,80	8	12	8	0,27	30,00
5,00	8	12	8	0,27	30,00
5,20	8	12	8	0,27	30,00
5,40	10	14	10	0,27	37,50
5,60	10	16	10	0,40	25,00
5,80	10	16	10	0,40	25,00
6,00	8	12	8	0,27	30,00
6,20	12	20	12	0,53	22,50
6,40	24	28	24	0,27	90,00
6,60	12	18	12	0,40	30,00
6,80	10	18	10	0,53	18,75
7,00	24	40	24	1,07	22,50
7,20	68	72	68	0,27	255,00
7,40	44	52	44	0,53	82,50
7,60	50	60	50	0,67	75,00
7,80	52	60	52	0,53	97,50
8,00	44	48	44	0,27	165,00
8,20	56	62	56	0,40	140,00
8,40	44	48	44	0,27	165,00
8,60	48	52	48	0,27	180,00
8,80	56	60	56	0,27	210,00
9,00	48	56	48	0,53	90,00
9,20	36	40	36	0,27	135,00
9,40	20	28	20	0,53	37,50
9,60	42	52	42	0,67	63,00
9,80	68	76	68	0,53	127,50
10,00	20	40	20	1,33	15,00
10,20	88	100	88	0,80	110,00
10,40	120	140	120	1,33	90,00
10,60	70	100	70	2,00	35,00
10,80	120	140	120	1,33	90,00
11,00	22	44	22	1,47	15,00
11,20	16	32	16	1,07	15,00
11,40	90	100	90	0,67	135,00
11,60	110	120	110	0,67	165,00
11,80	140	160	140	1,33	105,00
12,00	160	180	160	1,33	120,00
12,20	140	170	140	2,00	70,00
12,40	150	180	150	2,00	75,00
12,60	130	160	130	2,00	65,00
12,80	140	160	140	1,33	105,00
13,00	160	200	160	2,67	60,00
13,20	180	220	180	2,67	67,50
13,40	190	220	190	2,00	95,00
13,60	180	220	180	2,67	67,50
13,80	200	260	200	4,00	50,00
14,00	190	240	190	3,33	57,00
14,20	210	260	210	3,33	63,00
14,40	140	180	140	2,67	52,50
14,60	130	170	130	2,67	48,75
14,80	140	180	140	2,67	52,50
15,00	200	240	200	2,67	75,00

Prof. (m)	P (kg/cm ²)	P + L (kg/cm ²)	Rp (kg/cm ²)	RI (kg/cm ²)	Rp/RI [-]
15,20	200	240	200	2,67	75,00
15,40	140	180	140	2,67	52,50
15,60	130	160	130	2,00	65,00
15,80	140	180	140	2,67	52,50
16,00	160	200	160	2,67	60,00
16,20	100	140	100	2,67	37,50
16,40	140	180	140	2,67	52,50
16,60	200	240	200	2,67	75,00
16,80	220	260	220	2,67	82,50
17,00	180	230	180	3,33	54,00
17,20	200	240	200	2,67	75,00
17,40	220	280	220	4,00	55,00
17,60	220	280	220	4,00	55,00
17,80	200	260	200	4,00	50,00
18,00	160	200	160	2,67	60,00
18,20	150	190	150	2,67	56,25
18,40	150	190	150	2,67	56,25
18,60	180	220	180	2,67	67,50
18,80	180	220	180	2,67	67,50
19,00	200	240	200	2,67	75,00
19,20	220	260	220	2,67	82,50
19,40	200	250	200	3,33	60,00
19,60	240	300	240	4,00	60,00
19,80	230	280	230	3,33	69,00
20,00	240	300	240	4,00	60,00
20,20	250	300	250	3,33	75,00
20,40	230	290	230	4,00	57,50
20,60	220	270	220	3,33	66,00
20,80	200	260	200	4,00	50,00
21,00	210	260	210	3,33	63,00
21,20	180	240	180	4,00	45,00
21,40	170	230	170	4,00	42,50
21,60	180	240	180	4,00	45,00
21,80	200	250	200	3,33	60,00
22,00	210	260	210	3,33	63,00
22,20	250	310	250	4,00	62,50
22,40	160	180	160	1,33	120,00
22,60	220	260	220	2,67	82,50
22,80	260	300	260	2,67	97,50
23,00	280	340	280	4,00	70,00
23,20	240	300	240	4,00	60,00
23,40	180	220	180	2,67	67,50
23,60	160	210	160	3,33	48,00
23,80	180	220	180	2,67	67,50
24,00	200	250	200	3,33	60,00
24,20	240	280	240	2,67	90,00
24,40	220	260	220	2,67	82,50
24,60	210	250	210	2,67	78,75
24,80	200	260	200	4,00	50,00
25,00	200	250	200	3,33	60,00
25,20	190	240	190	3,33	57,00
25,40	180	230	180	3,33	54,00
25,60	160	210	160	3,33	48,00
25,80	150	200	150	3,33	45,00
26,00	130	170	130	2,67	48,75
26,20	150	180	150	2,00	75,00
26,40	140	170	140	2,00	70,00
26,60	130	160	130	2,00	65,00
26,80	130	150	130	1,33	97,50
27,00	140	180	140	2,67	52,50
27,20	150	190	150	2,67	56,25
27,40	170	200	170	2,00	85,00
27,60	180	210	180	2,00	90,00
27,80	180	220	180	2,67	67,50
28,00	200	230	200	2,00	100,00
28,20	200	240	200	2,67	75,00
28,40	210	260	210	3,33	63,00
28,60	200	250	200	3,33	60,00
28,80	230	280	230	3,33	69,00
29,00	220	270	220	3,33	66,00
29,20	210	260	210	3,33	63,00
29,40	180	230	180	3,33	54,00
29,60	170	210	170	2,67	63,75
29,80	180	220	180	2,67	67,50
30,00	190	240	190	3,33	57,00



Via AUSTRIA, 24 - 41100 MODENA

Telefono 059/313999

Telefax 059/454827



PROVA PENETROMETRICA STATICA

Penetrometro Gouda

Certificato n. : **467/13**

Data emissione: 27/05/13

Committente : AZ. AGR. SPADAZZI LUCIA

Località : VIA GAZZOLI N. 104 NOVI DI MODENA

Prova numero : 2

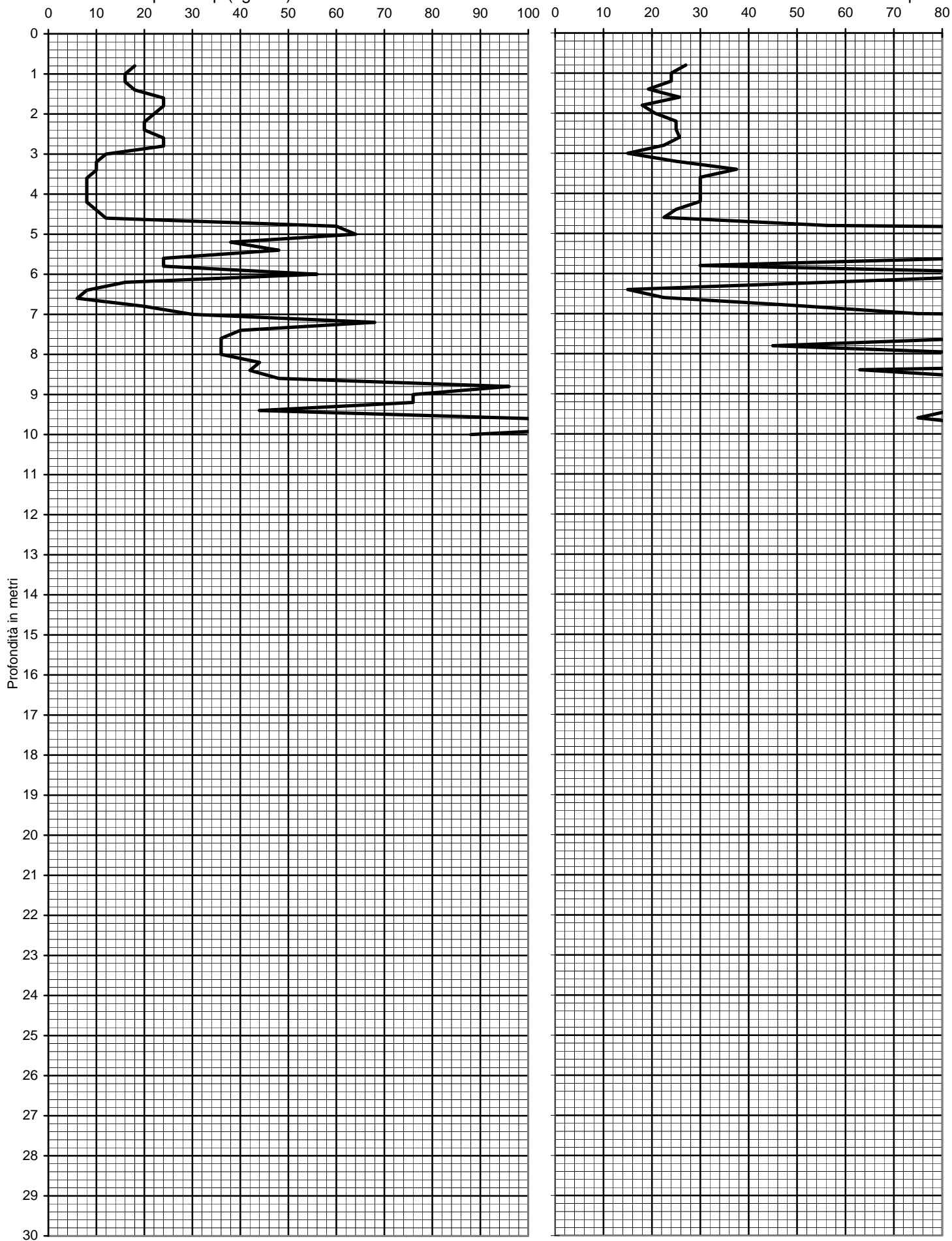
Data : 27/05/2013

Operatore : DR. REBECCHI

Quota : P.C.

Resistenza alla punta R_p (kg/cm²)

Rp/Rl



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	18	28	18	0,67	27,00
1,00	16	26	16	0,67	24,00
1,20	16	26	16	0,67	24,00
1,40	18	32	18	0,93	19,29
1,60	24	38	24	0,93	25,71
1,80	24	44	24	1,33	18,00
2,00	22	38	22	1,07	20,63
2,20	20	32	20	0,80	25,00
2,40	20	32	20	0,80	25,00
2,60	24	38	24	0,93	25,71
2,80	24	40	24	1,07	22,50
3,00	12	24	12	0,80	15,00
3,20	10	16	10	0,40	25,00
3,40	10	14	10	0,27	37,50
3,60	8	12	8	0,27	30,00
3,80	8	12	8	0,27	30,00
4,00	8	12	8	0,27	30,00
4,20	8	12	8	0,27	30,00
4,40	10	16	10	0,40	25,00
4,60	12	20	12	0,53	22,50
4,80	60	76	60	1,07	56,25
5,00	64	68	64	0,27	240,00
5,20	38	44	38	0,40	95,00
5,40	48	52	48	0,27	180,00
5,60	24	28	24	0,27	90,00
5,80	24	36	24	0,80	30,00
6,00	56	64	56	0,53	105,00
6,20	16	20	16	0,27	60,00
6,40	8	16	8	0,53	15,00
6,60	6	10	6	0,27	22,50
6,80	20	26	20	0,40	50,00
7,00	30	36	30	0,40	75,00
7,20	68	72	68	0,27	255,00
7,40	40	44	40	0,27	150,00
7,60	36	42	36	0,40	90,00
7,80	36	48	36	0,80	45,00
8,00	36	42	36	0,40	90,00
8,20	44	48	44	0,27	165,00
8,40	42	52	42	0,67	63,00
8,60	48	56	48	0,53	90,00
8,80	96	104	96	0,53	180,00
9,00	76	80	76	0,27	285,00
9,20	76	84	76	0,53	142,50
9,40	44	52	44	0,53	82,50
9,60	100	120	100	1,33	75,00
9,80	120	140	120	1,33	90,00
10,00	88	100	88	0,80	110,00
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					

Indagine sismica HVSR

A
L
L
E
G
A
T
O

8

INDAGINE SISMICA HVSR

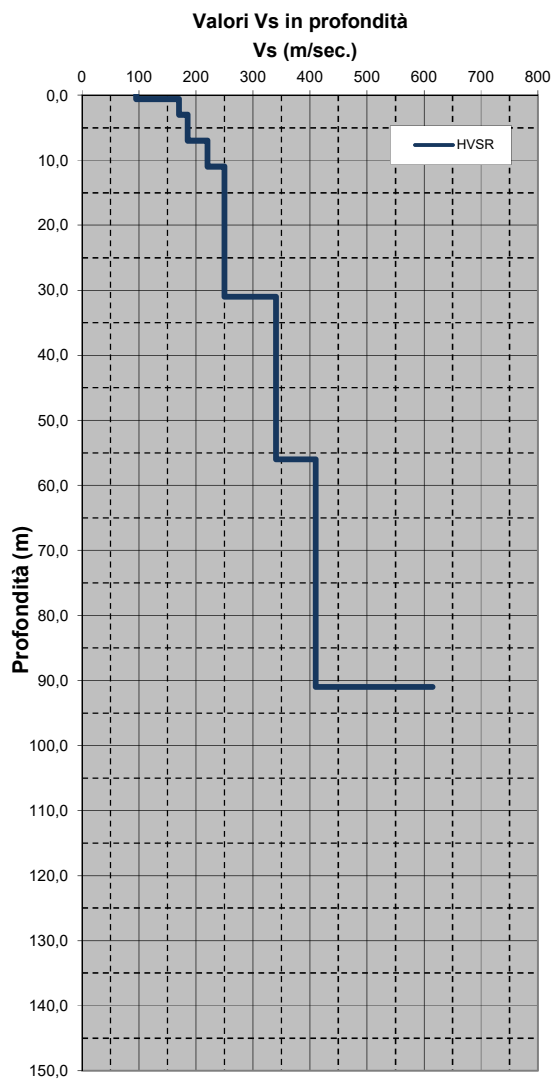
Calcolo V_{s30} al P.d.c. (HVSR)

Strato	Litologia	Quota da p.d.c.	Spessore (h)	Vs	hi/Vi
1		0,6	0,6	95	0,006316
2		3	2,4	170	0,014118
3		7	4	185	0,021622
4		11	4	220	0,018182
5		30	19	250	0,076000
			30,00		0,136237

Vs₃₀	220
Categoria suolo (NTC 2018)	C

PROFILO HVSR - Novi di Modena - Via Gazzoli, 102

Strato	Litologia	Quota da p.d.c.	Spessore (h)	Vs	
1		0,6	0,6	95	
2		3	2,4	170	
3		7	4	185	
4		11	4	220	
5		31	20	250	
6		56	25	340	
7		91	35	410	
			91	615	

[illegible]