

COMUNE DI SAN PIETRO IN CASALE

PROGETTO IMPIANTO AGRIVOLTAICO

IN LOCALITA' RUBIZZANO

Foglio 73 mappali 9,10,25,26,27,28,245,247,249,251

AUTORIZZAZIONE UNICA AI SENSI DEL D.Lgs.190/2024

Impianto di Energia Elettrica Prodotta da Fonti Energetiche Rinnovabili a Solare Fotovoltaico

Committente:



JUWI ENERGIE RINNOVABILI S.r.l.

VIA GIOVANNI BATTISTA PIRELLI 30 - 20124 - MILANO (MI)
C.F. 02600410217
JUWIENERGIERINNOVABILISRL@LEGALMAIL.IT

a cura di:



Studio Rigolli

sustainable landscaping | projects and consulting
via Begatto 1 | 40125 Bologna Italy | +39 051232125
studio2@rigolli.com

Coordinamento generale e progettazione

Dott.Agr. Riccardo Rigolli
ODAF BO 784/A

Relazioni specialistiche

Dott.Ing. Franca Conti
tecnico competente in acustica
Ordine Ingegneri RA 964/A

Progetto definitivo impianto elettrico

Dott.Ing. Enrico Riccardi
SRC Ingegneria SRL
Ordine Ingegneri PC 1003/A

Progettazione architettonica

Collaboratori

Arch. Francesco Precetti
Ordine Architetti BO 4724

Geol. Matteo Simoni
Studio di scienze della terra
Ordine Geologi E-R 795

Progetto definitivo mitigazioni

Dott.For.Claudia Maccaferri
ODAF BO 1047/A

Titolo tavola

PROGETTO DEFINITIVO
RELAZIONE GEOLOGICA E DI MODELLAZIONE SISMICA

Codice

R.04.GEO.pdf

Redatto

SIMONI

Data

marzo 2026

Scala

-

Revisione

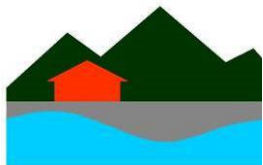
REV.N.00

N. tavola

R

04

GEO



STUDIO DI SCIENZE DELLA TERRA
—MATTEO SIMONI GEOLOGO—

VIA PORRETTANA 156
40033 CASALECCHIO DI RENO (BO)
44°29'0.51"N ~ 11°17'13.09"E
☎ 051/0403138 - 📠 +393355337448
✉ MATTEO@MATTEOSIMONI.IT
🌐 WWW.MATTEOSIMONI.NET

*progettazione di interventi di bonifica di siti contaminati
idrogeologia, ricerche idriche e pozzi per acqua
monitoraggi di versanti e controlli ambientali
geologia applicata e indagini geognostiche
interventi di ingegneria naturalistica
geofisica e sismologia*

COMUNE DI SAN PIETRO IN CASALE
PROVINCIA DI BOLOGNA

**PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UN
IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA IN
LOCALITÀ RUBIZZANO
RELAZIONE GEOLOGICA E
DI MODELLIZZAZIONE SISMICA**

preparato per:

Dott. Agr. Riccardo Rigolli

Studio Rigolli

Via Begatto 1

40125 Bologna BO



*Relazione geologica e
sulla modellazione sismica*

*R2603
Marzo 2026*

Indice

Introduzione	4
1. Premessa	4
1.1 Normativa di riferimento e bibliografia	5
1.2 Documentazione di riferimento	6
1.3 Inquadramento topografico	6
1.4 Descrizione dell'area	7
Modello Geologico	8
2. Geologia generale dell'area	8
2.1 Coperture quaternarie	9
3. Idrogeologia generale	10
3.1 Modello idrogeologico dell'area	11
4. Idrografia	12
5. Tettonica	12
5.1 Sismicità	13
Piano di indagine	15
6. Prove penetrometriche statiche	15
6.1 Prova penetrometrica statica a punta elettrica CPTu	16
7. Prove penetrometriche dinamiche medie	16
7.1 Rilievo della soggiacenza delle acque sotterranee	17
8. Prospezione di sismica passiva	17
Elaborazione ed interpretazione dei dati raccolti	19
9. Sistematizzazione delle prova penetrometriche statiche	19
9.1 Elaborazione dei dati della CPTu	19
10. Sistematizzazione delle prove penetrometriche dinamiche	19
10.1 Elaborazione dei dati delle DPM	19
11. Analisi dei risultati delle prospezioni di sismica passiva	20
11.1 Descrizione dei risultati delle misure H/V	21
Aspetti geodinamici e sismicità del territorio	22
12. Pericolosità sismica	22
12.1 Zona sismica	23
13. Categorie di suolo	23
13.1 Categoria del sottosuolo di fondazione	24
14. Azione sismica	24
14.1 Amplificazione topografica	24
14.2 Amplificazione stratigrafica	24
14.3 Parametri sismici su sito di riferimento rigido	26
14.4 Coefficienti sismici	26
15. Stabilità nei confronti della liquefazione	26
15.1 Valutazione di CRR	27
15.2 Verifica del potenziale di liquefazione	28
Stratigrafia del sottosuolo	29
16. Stratigrafia di riferimento	29
17. Caratterizzazione geotecnica	29
Gestione delle terre da scavo	31
Conclusioni	32
Elenco delle tavole	33

Elenco degli allegati	33
Elenco delle figure.....	33
Elenco delle tabelle	33

INTRODUZIONE

Per incarico professionale ricevuto dal Dott. Riccardo Rigolli Agronomo – con studio in Via Begatto 1 a Bologna (40125, provincia di Bologna) – si espongono le seguenti relazioni specialistiche:

- geologica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione geologica del sito,
- sulla modellazione sismica concernente la “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione,

redatte in conformità all’aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018 (§ 3.2, § 6.2.1 e § 6.2.2) e della Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti (§ C 6.2.2 e § C3.2).

Le relazioni specialistiche sono parte integrante del progetto (ferma restando la responsabilità del progettista dell’opera) di realizzazione di un impianto fotovoltaico a terra in località Rubizzano (Figura 1) di San Pietro in Casale (Bologna) con l’obiettivo di descrivere le condizioni geologiche e geomorfologiche, sismiche e idrogeologiche dell’area.



Figura 1. Ripresa aerea dell’area.

Il presente elaborato è stato realizzato d’intesa con il Dott. Riccardo Rigolli Agronomo e i suoi collaboratori – con studio tecnico in Via Begatto 1 a Bologna (40125, provincia di Bologna) – che ha fornito le informazioni necessarie per l’espletamento dell’incarico.

1. Premessa

È illustrato, pertanto, il presente documento che è stato realizzato sviluppando i punti seguenti:

- 1) raccolta dei dati presenti negli archivi degli uffici pubblici (banca dati dell’Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale - ISPRA, Ufficio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna, Comune di San Pietro in Casale) e dello scrivente;

- 2) analisi della documentazione tecnica fornita dalla Committenza;
- 3) rilevamento geomorfologico e idrologico, con descrizione della geologia generale, della stratigrafia, dell'idrogeologia e della litologia dell'area;
- 4) esecuzioni di indagini geognostiche;
- 5) elaborazione e interpretazione dei dati;
- 6) ricostruzione stratigrafica del sottosuolo con individuazione delle principali unità lito - tecniche presenti, dei corrispondenti parametri fisici, di resistenza al taglio e compressibilità e delle condizioni di flusso idrico sotterraneo;
- 7) descrizione degli aspetti geodinamici del territorio, con valutazione della pericolosità e dell'azione sismica;
- 8) rappresentazione della disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo prodotte durante l'esecuzione dei lavori.

Lo svolgimento delle attività suesposte ha permesso di descrivere lo stato dei luoghi, di valutare le condizioni geologiche s.l., di analizzare le caratteristiche dei terreni e di esprimere un giudizio di fattibilità degli interventi realizzati, fornendo le idonee raccomandazioni e disposizioni per la realizzazione degli stessi.

La relazione geotecnica prenderà in considerazione:

- la descrizione delle opere e degli interventi;
- i problemi geotecnici e le scelte tipologiche;
- la caratterizzazione fisica e meccanica dei terreni, definendo i valori caratteristici F_k dei parametri geotecnici;
- le verifiche della sicurezza e delle prestazioni con l'identificazione dei relativi stati limite;
- gli approcci progettuali e i valori di progetto F_d dei parametri geotecnici (se necessari).

Saranno, dunque, verificate in un idoneo elaborato le condizioni limite, sia ultime sia di esercizio, derivanti dalle azioni trasmesse dalla struttura in elevazione al terreno sottostante.

1.1 Normativa di riferimento e bibliografia

Le considerazioni di seguito riportate fanno riferimento alla vigente normativa nel settore geotecnico e delle costruzioni, in particolar modo si evidenziano:

- A.G.I. 1977 – “Raccomandazioni sulla progettazione ed esecuzione delle indagini geotecniche”.
- D.M. 21 gennaio 1981 – “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”.
- Circ. Dir. Centr. Tecn. n°. 97/81 – “Istruzioni relative alle norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”.
- D.M. LL.PP. 11 marzo 1988 - “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione”.
- Circ. Min. LL.PP. 24 settembre 1988 n° 30483 – “Istruzioni applicative al D.M. 11/03/88”.
- EN (V) 1997 – “Eurocode 7, Part 3. Design assisted by in situ tests. CEN”.
- EN (V) 1997 – “Eurocode 7, Part 1. Geotechnical design. CEN”.
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003 – “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”.
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3316/2003 – “Modifiche ed integrazioni all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo”.
- Decreto Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 14 settembre 2005 – Norme tecniche per le costruzioni.
- Delibera della Giunta della Regione Emilia Romagna, n. 1667 del 24 ottobre 2005 – Prime indicazioni applicative in merito al Decreto Ministeriale 14 settembre 2005 (pubblicato sul

supplemento ordinario n. 159 alla Gazzetta Ufficiale n. 222 del 23 settembre 2005) recante “Norme tecniche per le costruzioni”.

- *Decreto Ministero delle Infrastrutture 14 gennaio 2008* – Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni.
- *Legge 24 giugno 2009, n. 77* – Conversione del decreto-legge 28 aprile 2009, n. 39, recante interventi urgenti in favore delle popolazioni colpite dagli eventi sismici nella regione Abruzzo nel mese di aprile 2009 e ulteriori interventi urgenti di protezione civile.
- *Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018* – Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni.

La presente relazione espone i risultati di un’indagine geologica, geotecnica e sismica, le metodologie interpretative e le conclusioni da esse deducibili.

1.2 Documentazione di riferimento

La preparazione del presente documento ha richiesto la consultazione di:

- «*Piano Strutturale Comunale di San Pietro in Casale*», adottato e approvato, rispettivamente, con Delibera del Consiglio Comunale n. 91 del 29 novembre 2008 e n. 3 del 3 febbraio 2011;
 - «*Cartografia interattiva a banca dati*», sito *web* dell’Ufficio Geologico e Sismico della Regione Emilia Romana;
- e dell’archivio dello scrivente.



Figura 2. Ripresa aerea del 1954.

1.3 Inquadramento topografico

L’area è ubicata nel territorio del Comune di San Pietro in Casale, nel settore pianeggiante del territorio della Provincia di Bologna, ed è rappresentato nelle seguenti Carte Tecniche della Regione Emilia Romagna:

- *Tavola 203 SO toponimo “San Giorgio di Piano”, scala 1:25.000;*
- *Sezione 203090 toponimo “San Pietro in Casale Sud”, scala 1:10.000;*
- *Elemento 203091 toponimo “San Pietro in Casale Sud”, scala 1:5.000.*

Per la cartografia di riferimento si rimanda alla Tavola 1 e Tavola 2 a fine testo.

1.4 Descrizione dell'area

L'area di indagine è localizzata nel Comune di San Pietro in Casale, ad oriente del Capoluogo, delimitata dagli appezzamenti agricoli circostanti e a Sud dalla Via Raveda che costeggia l'omonimo scolo.

Il lotto rientra in una vasta area sub – pianeggiante, appartenente all'unità territoriale della pianura bolognese, caratterizzata dalla presenza di numerosi fossi e scoli che delimitano gli appezzamenti agricoli e drenano le acque di superficie.

L'area di studio è posta ad una quota variabile da m 14 s.l.m. ad Ovest fino a m 13 s.l.m. a Est e ha la superficie topografica pressoché sub – orizzontale, localmente poco inclinata ($< 1^\circ$) verso Est-Sud-Est.

L'impianto in progetto avrà una superficie complessiva pari a circa 24 ettari.

La consultazione della cartografia storica e delle riprese aeree della zona consente di ricostruire l'uso del sito in esame che è stata sempre prettamente agricolo. In particolare, consultando la "Cartografia Storica della Regione Emilia Romagna", si rileva la classica tessitura del territorio nel quale si riconoscono ancora le iniziali tracce degli appezzamenti destinati alla coltivazione (Figura 2).



Figura 3. Planimetria dell'impianto fotovoltaico.

I terreni sono, in genere, giovani e pedologicamente immaturi; la loro natura riflette chiaramente la storia idrografica del territorio. I componenti più grossolani, rilasciati negli ambienti di maggior energia, sono le sabbie, ma i più diffusi sono i limi e le argille, tipici di acque lente o ferme. Spesso, per via della notevole complessità dell'evoluzione idrografica, questi materiali si presentano frammisti (terreni di medio impasto).

Nelle zone adiacenti a quella in esame prevalgono materiali più fini, ossia i limi, le argille e le loro mescolanze, di origine fluviale e palustre. In questa seconda fascia è localmente presente anche torba, sedimento che ha origine, appunto, dalla vegetazione palustre.

MODELLO GEOLOGICO

Il modello geologico del sito è finalizzato alla ricostruzione dei caratteri stratigrafici, litologici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio.

Il modello geologico sviluppato nella presente sezione è stato attentamente esaminato e corredato di indagini di superficie (rilevamenti di campagna) e profonde (prospezioni geognostiche) dirette e indirette.

2. Geologia generale dell'area

La storia geologica dell'area bolognese inizia con la nascita dell'oceano Ligure, apertosi tra Europa e Africa a partire dal Giurassico medio (circa 180 milioni di anni fa). Sui fondali di questo braccio oceanico si formarono parte delle rocce costituenti le Unità Liguri che furono successivamente sospinte in avanti per molte decine di chilometri, da ovest verso est, subendo intense deformazioni e acquisendo un assetto caotico, nelle successive tappe evolutive, fino alla definitiva chiusura dell'oceano Ligure (Eocene medio, circa 45 milioni di anni fa).

Per un lungo periodo, le Unità Liguri, già deformate, sono rimaste sotto il livello e mare, costituendo il substrato per nuovi sedimenti: si sono così depositate le formazioni rocciose che, proprio per la loro posizione stratigrafica, sono indicate come Epiliguri (da $\varepsilon\pi\iota$ = sopra). Uno degli aspetti tipici di questa successione è la rapida variazione di geometria, spessore e granulometria dei corpi sedimentari, espressione delle rapide variazioni degli ambienti deposizionali entro bacini marini aventi una morfologia piuttosto accidentata ed allungati secondo l'asse della catena embrionale.

In particolare, dopo un'iniziale deposizione di frane sottomarine, in questi bacini si riversarono grossi volumi di detriti erosi dalla paleo-catena Alpi - Appennino, trasportati da correnti di torbida e da frane sottomarine. In questo settore, però, alla fine dell'Eocene medio (circa 40 milioni di anni fa) la deposizione grossolana diminuì e continuò la deposizione di sedimenti fini (Marne di Monte Piano, Marne di Antognola, Formazione di Contignaco) fino alla fine del Miocene inferiore (circa 17 milioni di anni fa). In questo periodo i corpi rocciosi grossolani e spessi, di origine torbida, diventano sporadici mentre si diffusero depositi di detrito di derivazione vulcanica contemporanea e i depositi caotici (*mélanges*) originati da frane sottomarine staccatesi dai margini dei bacini, a testimonianza dell'instabilità dovuta all'orogenesi in corso.

Intanto, i fondali diventavano sempre meno profondi fino a divenire ambienti di mare basso, in cui si sedimentarono soprattutto arenarie, spesso ricche di resti di conchiglie a testimonianza della scarsa profondità (Formazione di Pantano).

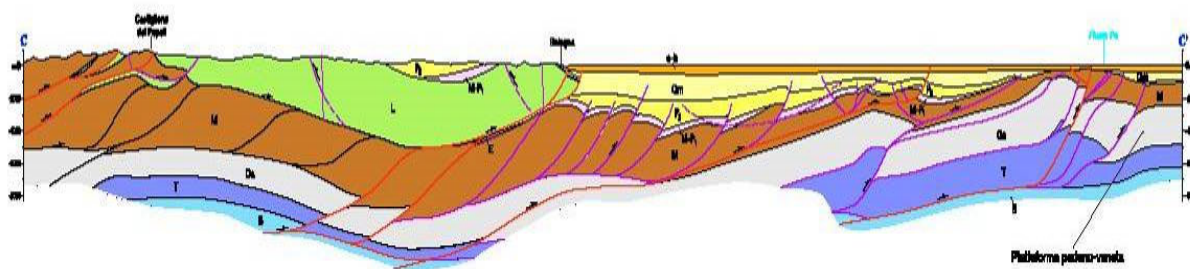


Figura 4. Sezione geologica dell'Appennino bolognese e della pianura padana¹

Successivamente, nel Miocene medio e superiore (da circa 15 a circa 7 milioni di anni fa), i bacini epiligruri subirono un nuovo approfondimento, testimoniato dalle marne e dalle arenarie risedimentate da correnti di torbida della Formazione di Cigarello e delle Marne del Termina.

¹ Note illustrative alla Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna, a cura di Mario Boccaletti e Luca Martelli, 2004 (modificata)

I gessi bolognesi sono tra le testimonianze della “crisi di salinità” dell’intero Mar Mediterraneo causata dalla formazione di una soglia con l’oceano Atlantico durante il Messiniano medio (tra 6 e 5,5 milioni di anni fa).

Le Sabbie di Imola, invece, indicano ambienti di sedimentazione sempre meno profondi fino ad arrivare, nel Pleistocene medio (circa 700 mila anni fa), a sabbie di mare basso, spiaggia e dune eoliche (assai simili a quelle che attualmente formano le spiagge adriatiche) che bordano l’attuale margine appenninico, ricoprendo terreni di varia età. A partire da questo momento, infatti, inizia anche la sedimentazione fluviale che ha portato alla formazione della Pianura Padana. Nell’area presa in esame dal progetto il substrato roccioso è costituito dai suddetti sedimenti.

Nel periodo intermedio (Pliocene, circa 5,3 milioni di anni fa) la catena appenninica era già in parte emersa e la pianura padana corrispondeva ad un ambiente di mare aperto e profondo addentrandosi verso le montagne e disegnando un golfo (bacino intrappenninico) alla cui estremità meridionale sfociavano gli antichi corsi del Reno, del Setta, del Savena, dello Zena e dell’Idice, scaricandovi la parte più grossolana del carico trasportato, essenzialmente ghiaiosa, mentre il materiale più fine era portato al largo. Il riempimento di questo golfo (Successione Intrappenninica), la cui profondità era mantenuta dalla naturale subsidenza, si è protratto fino alla fine del Pliocene (circa 1,8 milioni di anni fa), ed è il risultato di due cicli trasgressivo – regressivi.

Lo stesso bacino intrappenninico è stato poi coinvolto nei movimenti e nei sollevamenti successivi. Si è stimato che i sedimenti più antichi del golfo, che risalgono al Pliocene inferiore, si siano formati circa 20 km a sud-ovest dell’attuale posizione e che i sedimenti dell’ultima fase si trovano oggi sollevati per un’altezza di circa 700 metri (da cui il nome Contrafforte Pliocenico).

Più recenti sono i terreni superficiali del fondovalle, costituiti da depositi alluvionali quaternari. L’origine dei terrazzi alluvionali è da ricondurre alle oscillazioni climatiche che, nel Quaternario, portarono all’avvicendamento di climi tra loro molto diversi (glaciazioni e periodi interglaciali).

Durante le glaciazioni si registrava un forte abbassamento del livello del mare, con conseguente aumento dell’erosione nelle aree emerse. Nei periodi interglaciali, al contrario, la risalita del livello del mare provocava un arresto dell’erosione: i corsi d’acqua, attestandosi ad una quota elevata, divagavano nei fondovalle, modellando i versanti e le piane alluvionali, sulle quali depositavano ghiaie e sabbie che sarebbero state incise nel periodo glaciale successivo, per la ripresa dell’erosione.

Inoltre, tra un periodo glaciale ed uno interglaciale, l’aumento della piovosità, e quindi della portata dei corsi d’acqua, incrementava l’effetto dei processi erosivi: i letti fluviali si incassavano ulteriormente nei fondovalle, anche di diversi metri, e i solchi vallivi degli affluenti si approfondivano nel substrato roccioso.

Questa alternanza di erosione e trasporto è stata regolata anche dai più recenti sollevamenti della catena appenninica che hanno portato all’intensificazione e all’accelerazione dei processi erosivi.

Le ultime fasi dell’orogenesi, infatti, hanno innalzato gli antichi fondovalle, causando una preservazione delle forme terrazzate, anche a quote prossime alle linee di crinale.

Per una visione di insieme si rimanda alla Tavola 3 a fine testo, dove è riportato un estratto della carta geologica redatta dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna.

2.1 Coperture quaternarie

L’unità alluvionale presente tra Piacenza e Rimini prende il nome di sintema² emiliano - romagnolo superiore (AES³) con età dal Pleistocene medio all’Olocene ed è costituita da ghiaie prevalenti in corrispondenza degli apparati fluviali principali passanti a limi prevalenti con rare intercalazioni di sabbia e ghiaia nelle aree di interconoide.

² unità strutturale fondamentale della stratigrafia e il tipo principale riconosciuto di unità a limiti inconformi, ossia delimitate alla base ed alla sommità da discontinuità.

³ Alluvial Emilian Sinthem.

Il sintema è suddiviso in 8 subsintemi per le peculiarità di composizione: nel fondovalle affiora quello di Ravenna (**AES8**) che è l'elemento sommitale di AES.

Si tratta di ghiaie, sabbie, limi ed argille di terrazzo alluvionale con limite inferiore inconforme su **AES7** e sulle sottostanti unità marine e limite superiore coincidente col piano topografico e costituito da un suolo relativamente poco evoluto, non calcareo, con fronte di alterazione compreso tra 0,5 e 1,5 m (inceptisuolo) e contenente reperti archeologici di età dal Neolitico al Romano, oppure da un suolo poco evoluto, calcareo (entisuolo). La presenza di quest'ultimo identifica localmente l'Unità di Modena (**AES8a**).

Lo spessore massimo in pianura di 25 metri circa e l'età, stabilita con datazione all'isotopo del carbonio C_{14} , varia da 14.000 anni fa all'attuale.

La zona di deposito è di canale, argine e rottura fluviale: si tratta di sabbie, sabbie limose, limi sabbiosi e limi in strati da molto sottili a medi; localmente sono presenti sabbie medie e grossolane alla base delle sequenze positive e intercalazioni argillose al tetto. Tali depositi formano corpi rilevati ad andamento nastriforme, riferibili al reticolo idrografico principale di pertinenza del Fiume Reno.

In conclusione è possibile segnalare una successione tessiturale complessa, dovuta ad un'alternanza di terreni sabbiosi, argillosi, limosi e delle frazioni tessiturali intermedie, tipici dei depositi alluvionali cui appartengono.

3. Idrogeologia generale

I terreni saturi d'acqua all'interno dei quali ha luogo il deflusso sotterraneo sono denominati acquiferi, mentre il termine falde è riservato alle acque che vi circolano: i sostantivi non sono sinonimi e possono avere spessori diversi, in particolare, la porzione di terreno saturo e il livello piezometrico solitamente non coincidono per gli acquiferi confinati.

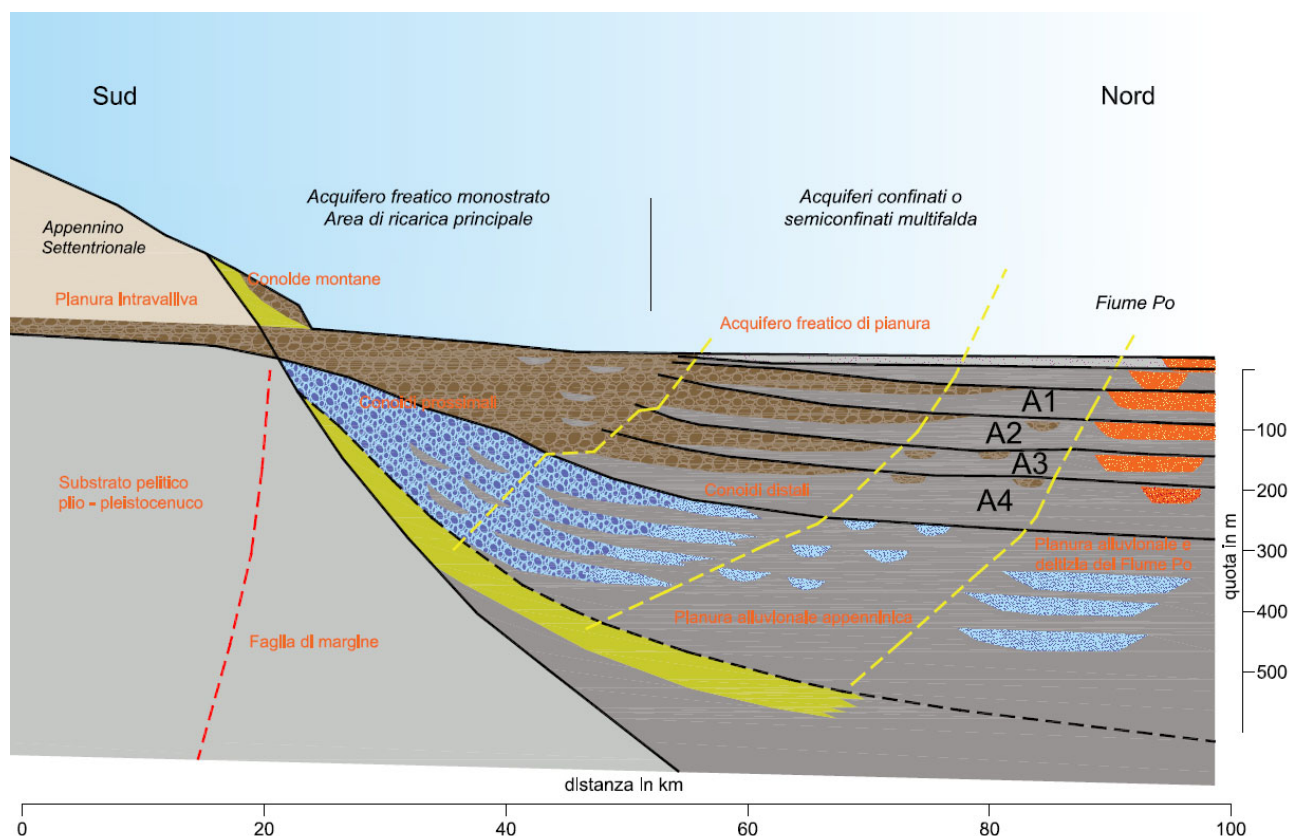


Figura 5. Acquiferi della pianura emiliano - romagnola⁴.

⁴ <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/acque/idrogeologia-della-pianura-emiliano-romagnola>.

Quando l'acquifero è libero, ossia limitato solo inferiormente da uno strato impermeabile (o meno permeabile) l'acqua contenuta può spostarsi verticalmente; quando l'acquifero è delimitato sia superiormente sia inferiormente da livelli impermeabili, l'acqua è in pressione: nel primo caso le falde libere di muoversi sono dette freatiche⁵ nel secondo, giacché confinate, sono dette artesiane⁶.

Le tipiche modalità di messa in posto dei sedimenti costituenti la successione idrogeologica dell'area, dominate dalla ciclicità degli eventi erosivi, di trasporto e deposizionali causata dai corsi d'acqua, danno luogo ad una variabilità tessiturale sia verticale sia orizzontale, producendo corpi lentiformi a granulometria più grossolana (depositi di canale e argine) variamente combinati con sedimenti a granulometria più fine (depositi di argine distale e piana alluvionale). Nella zona in oggetto, quindi, le falde superficiali sono di tipo sospeso o localmente in pressione (artesiane), queste ultime limitate sia verticalmente sia orizzontalmente da materiali praticamente impermeabili.

Gli acquiferi della pianura emiliano – romagnola sono costituiti principalmente dai depositi di origine alluvionale presenti nella porzione più superficiale della pianura, per uno spessore appena superiore ai 300 m nell'area in esame e, in minima parte, da depositi marino marginali. I corpi sedimentari sono distribuiti nel sottosuolo, attraversando tutta la pianura da Sud a Nord, in altre parole dal margine appenninico, che separa gli acquiferi montani da quelli di pianura, al Fiume Po (Figura 5). Procedendo quindi dall'Appennino Settentrionale alla Pianura padana, si trovano nell'ordine: le conoidi alluvionali, la pianura alluvionale appenninica, la pianura alluvionale e la deltizia del Po.

3.1 Modello idrogeologico dell'area

Il Gruppo Acquifero A1 è stato suddiviso, identificando 4 falde superficiali e una falda profonda contenuta nel primo centinaio di metri di successione alluvionale. Il modello idrogeologico⁷ della successione stratigrafica dell'area è sinteticamente descritta nella Tabella 1.

L'acquifero superiore è sede della falda più superficiale, denominata SUP4, la cui soggiacenza è attestata ad una profondità variabile da m 2 a m 4: si tratta di un acquifero con portata modesta, sovrastato da materiali poco permeabili o praticamente impermeabili (limi o argille). La falda in esso contenuta è libera (freatica) o, localmente, leggermente in pressione. In quelle zone dove la falda è semiartesiana se ne osserva una risalita di circa m 1 in corrispondenza di materiali a tessitura media (sabbie medio - fini).

Profondità (m)		Caratteristiche idrogeologiche	Falde
0	2	Nessuna	--
2	8	Acquifero	SUP4
8	17	Aquiclude	--
17	19	Acquifero	SUP2
19	25	Aquitardo	--
25	30	Acquifero	SUP1
30	40	Aquiclude	α

Tabella 1. Successione idrogeologica dell'area di indagine.

⁵ freatico agg. [der. del gr. φρέαρ -ατος «pozzo», attravers. il fr. *phréatique*] (pl. m. -ci). – In geologia, falda f., strato acquifero, non in pressione, formato dalle acque f., cioè da quella parte delle acque meteoriche che, penetrata nel terreno, ne attraversa gli strati permeabili, arrestandosi su un fondo impermeabile sul quale si innalza fino a una certa altezza (livello f.) e di cui segue la pendenza con un lento movimento, detto moto di percolazione.

⁶ artesiano agg. [dal fr. *artésien* «dell'Artois», regione della Francia settentrionale, dove questi pozzi furono scavati per la prima volta]. – Una falda acquifera sotterranea che scorre in pressione (falda a.); in tali pozzi, per effetto della pressione idrostatica, l'acqua sale, talora, fino a fuoriuscire.

⁷ “Il complesso idrogeologico superficiale nel contesto della città di Bologna” - Farina M., Simoni M., Passuti I. - Il geologo dell'Emilia - Romagna, n° 11, settembre 1998.

Nei pozzi domestici presenti nelle corti coloniche adiacenti l'area di indagine la soggiacenza della falda si attese tra m 3,0 e m 3,5.

È un acquifero monostrato a contatto diretto con la superficie topografica e connesso idraulicamente ai corsi d'acqua che lo hanno generato e ai canali sepolti dello stesso bacino.

L'aquiclude sottostante ha una potenza variabile da m 7 a m 8 e la permeabilità di questa unità idrogeologica, costituita da limi e argille con qualche intercalazione sabbiosa, è molto bassa.

Segue un acquifero di potenza media di due -tre metri, contenente la falda SUP2, formato da sabbie medie e fini supportate da ghiaie in matrice sabbioso limosa con intercalazioni limose.

La terza falda acquifera superficiale (SUP1), sottostante l'acquitardo localizzato a m 25, si ritrova entro i primi m 30 di profondità ed è costituito da prevalenti ghiaie in matrice sabbiosa e limosa con rare intercalazioni limoso -sabbiose e argilloso limose.

La SUP1 è delimitata alla base da un aquiclude, avente generalmente uno spessore superiore a m 10 e una permeabilità da molto bassa a bassissima. Questo strato, denominato in letteratura tecnica alfa (α), separa le falde superficiali da quelle profonde.

Al fine di ricostruire lo schema della circolazione idrica sotterranea sono stati presi in considerazione i dati di soggiacenza disponibili, acquisiti nel corso dell'indagine geognostica svolta per il presente lavoro e attinti dal database del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna.

4. Idrografia

Nel territorio di San Pietro in Casale il drenaggio delle acque superficiali è esercitato prevalentemente dai canali artificiali che delimitano gli appezzamenti agricoli e costeggiano le strade. La rete dei fossi minori sfocia nei canali di scolo principali che hanno un andamento che rispecchia le linee di centuriazione romane.

5. Tettonica

I terreni appartenenti alla falda apicale dell'edificio orogenico (definita da un insieme di *thrust* che impilano i vari elementi tettonici) formatosi per sviluppo di prismi sedimentari durante e successivamente la fase di collisione ensialica.

Il principale elemento morfologico della zona è il margine appenninico – padano che coincide con il fronte di faglia Pede – Appenninica (PTF), a valle della quale la catena appenninica prosegue sepolta dai depositi quaternari padano – adriatici.

Le maggiori evidenze geologiche dell'attività del *thrust* pede - appenninico nei dintorni di Bologna sono deformazioni compressive a carico delle Sabbie di Imola e dei depositi del Sintema Emiliano - Romagnolo inferiore (Pleistocene medio). In più affioramenti le Sabbie di Imola si presentano verticalizzate, rovesciate e tagliate da faglie inverse.

All'anticlinale di Bologna sono associate alcune faglie normali a prevalente movimento transtensivo che rappresentano svincoli laterali della struttura principale (Figura 6).

Tali faglie, a direzione variabile da circa N-S a NNE-SSW e immersione verso W, presentano caratteri tipici di faglie normali attive.

Tra queste strutture, la principale è quella che si sviluppa lungo il Fiume Reno, in prossimità di Casalecchio di Reno. Anche questa faglia normale è caratterizzata da un allineamento di faccette triangolari e da piccole conoidi al piede, deposte dai corsi d'acqua incisi nel versante sollevato. La scarpata di faglia interessa i depositi fluviali e di conoidi olocenici alla base delle faccette triangolari. L'analisi di profili topografici trasversali alla struttura mostra un'altezza media delle faccette intorno ai 125 m.

Faglie mesoscopiche sub - verticali con rigetti anche decimetrici a componente mista estensionale e trascorrente sono state rilevate anche negli affioramenti di Sabbie di Imola delle colline a sud di Bologna.

Nella Figura 6 si osservano, inoltre, gli epicentri dei terremoti macrosismici sono indicati con quadrati blu, la cui dimensione è variabile in base all'entità: con magnitudo di 5,0-5,5 per quelli più grandi e con magnitudo di 4,0-5,0 per quelli più piccoli.

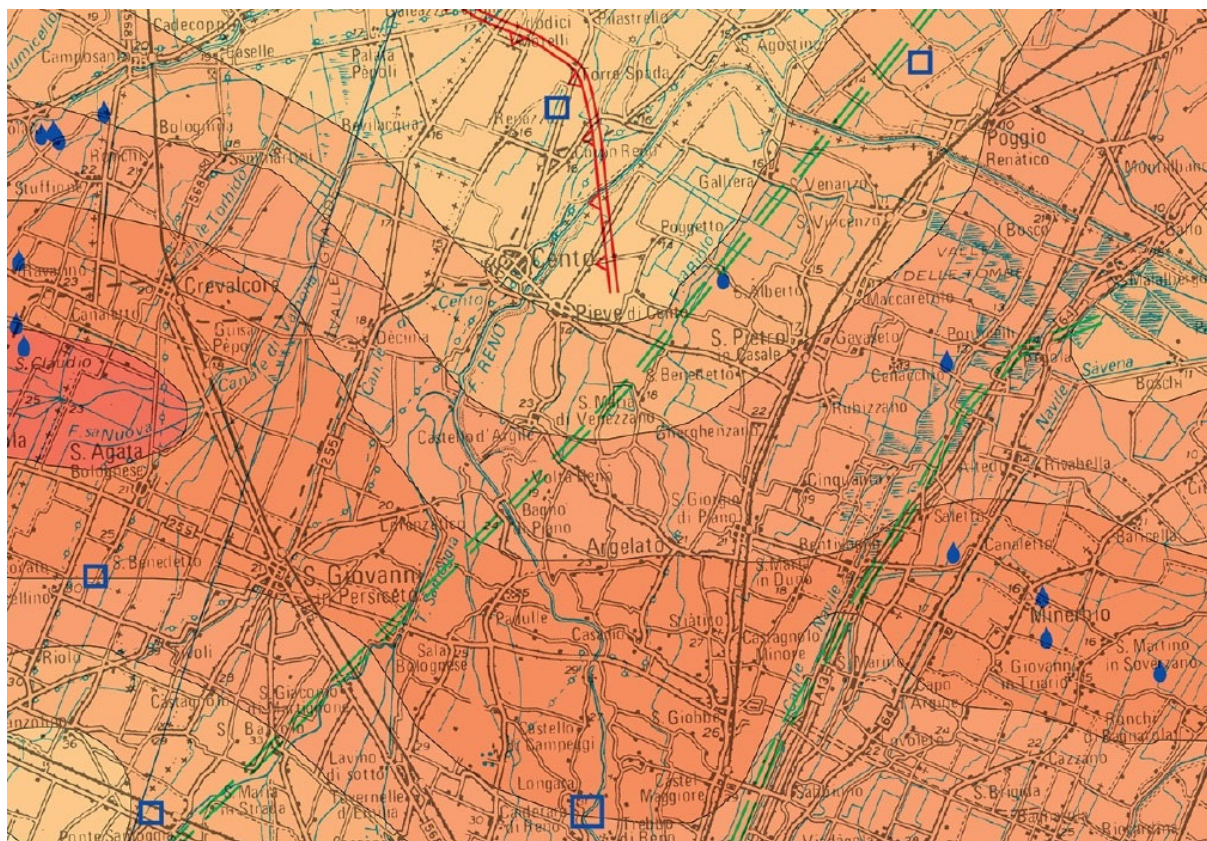


Figura 6. Estratto dalla Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna.

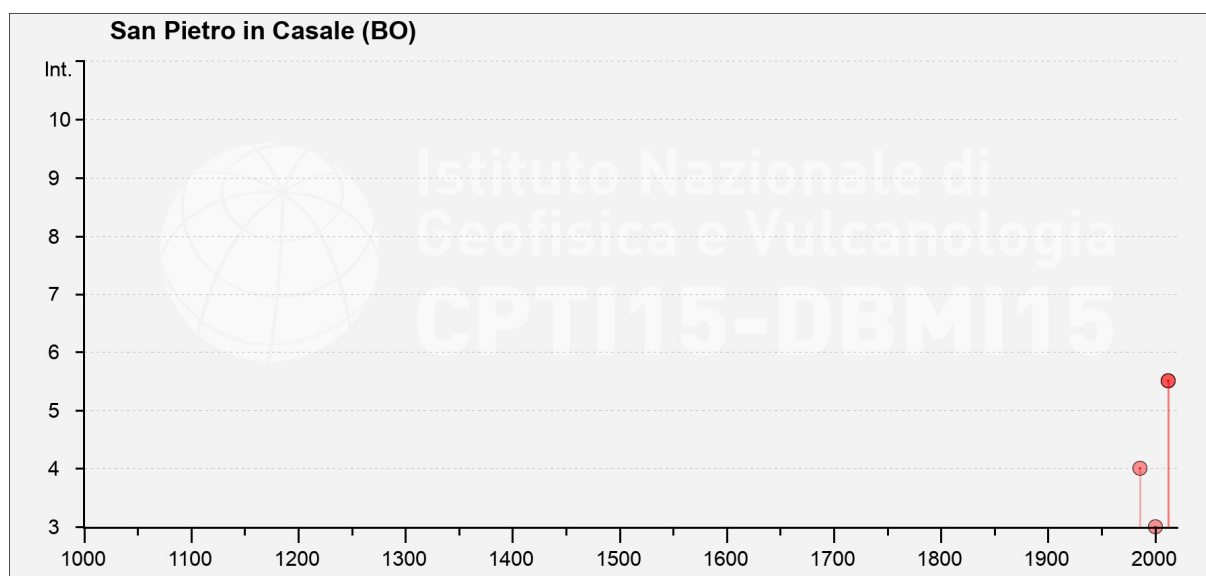


Figura 7. Storia sismica del territorio di San Pietro in Casale (INGV⁸).

5.1 Sismicità

La banca dati delle sorgenti sismogenetiche individuali dell'Istituto di Geofisica e Vulcanologia (*Database of Individual Seismogenic Sources, DISS, Version 3.2*) identifica le seguenti:

“ITIS134 – Finale Emilia” a cui è attribuita una magnitudo (M_w) di 6,1 associata al terremoto modenese del 20 maggio 2012; la sorgente è stata istituita con la prima scossa principale della sequenza emiliana, che ha prodotto un sollevamento rilevabile dell'anticlinale associata sepolta. Nell'area compresa tra il fronte di accavallamento pedeappenninico e quelli esterni sepolti dell'Appennino settentrionale è documentato un

⁸ <https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15>

regime tettonico compressivo attivo. Il meccanismo focale del terremoto del 20 maggio 2012 è stato caratterizzato da faglie con piani coniugati orientati con direzione 115° e inclinazione di 43° e profondità da km 4,0 a km 8,4. Lo spostamento è di m 0,8 e variabile mediamente da cm 25 a cm 50.

“ITCS103 – Finale Emilia - Mirabello” si estende a cavallo della regione tra le basse valli del fiume Reno e del fiume Secchia e appartiene al fronte di spinta dell'Arco ferrarese. È caratterizzato da faglie con piani coniugati orientati con direzione $110 - 120^\circ$ e inclinazione di $40-50^\circ$ e profondità da km 3,5 a km 10,0. Lo spostamento è variabile mediamente da cm 25 a cm 50.

Il terremoto più intenso è quello del 20 maggio 2012 alle ore 02:03 con M_w di 6,09.

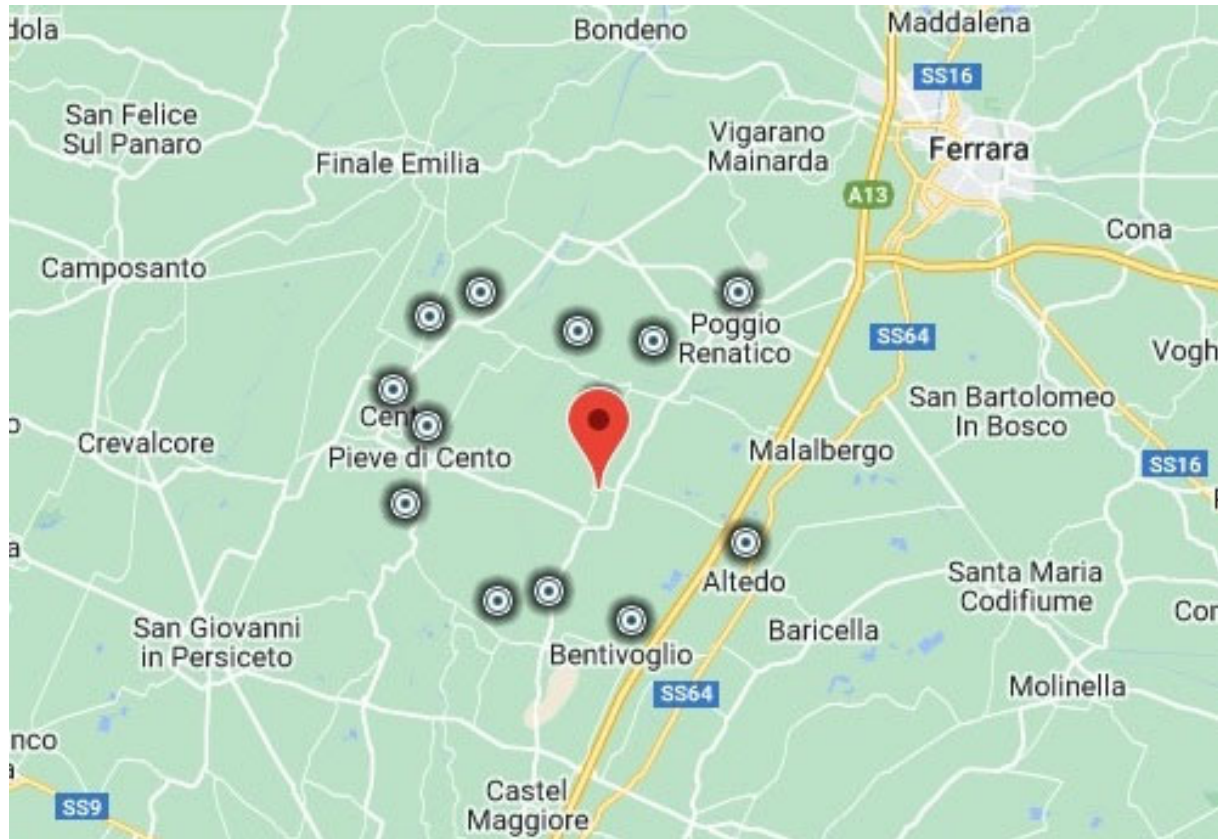


Figura 8. Localizzazione degli eventi sismici.

PIANO DI INDAGINE

Nella presente sezione sono descritte le metodologie di indagine applicate in sito e le relative strumentazioni utilizzate per la realizzazione delle stesse.

Lo scopo dell'indagine è stato quello di ricostruire la successione lito-stratigrafica del sottosuolo e di caratterizzare i terreni riconosciuti da un punto di vista fisico - meccanico, individuando le proprietà stratigrafiche, granulometriche e tessiturali.

Sono state utilizzate le prospezioni eseguite nelle aree limitrofe a quella in oggetto e facenti parte dalla banca dati del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna: si tratta di prove penetrometriche statiche con punta meccanica ed elettrica con piezocono, colonne stratigrafiche sia di carotaggi continui sia di perforazioni di pozzi.

È stata operata, dunque, la scelta di utilizzare le informazioni già a disposizione, integrandole con l'esecuzione di:

- 1 prova penetrometrica statica con punta elettrica e piezocono (CPTu);
- 10 prove penetrometriche dinamiche medie (DPM)
- rilievo della soggiacenza delle acque sotterranee
- 1 prospezione di sismica passiva (PSP);

Nella Tavola 4 a fine testo è raccolta la planimetria indicante l'ubicazione dell'indagine geognostica.

Nella presente sezione sono descritte le metodologie di esplorazione applicate e le relative strumentazioni utilizzate.

6. Prove penetrometriche statiche

La prova penetrometrica statica consiste nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante (2 cm/sec). La prova può essere eseguita con una punta meccanica (CPT), elettrica (CPTE) con misura della pressioni interstiziali (CPTu) e della velocità delle onde sismiche (SCPTu).



Figura 9. Esecuzione della CPTU01.

Per il caso in esame sono state eseguite delle prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono (CPTu) mediante attrezzatura meccanica esercitante una spinta di 200 kN montata su semovente cingolato, provvisto di due eliche di contrasto per l'ancoraggio.

Le indagini geognostiche sono state eseguite 4 novembre 2022 dal Geol. Carlo Alfonso Lipparini – con studio in Via di Sabbiuino 5/7 a Bologna – che ha emesso i moduli stratigrafici costituenti l'Allegato 1.

6.1 Prova penetrometrica statica a punta elettrica CPTu

Il rilievo e la memorizzazione dei dati di prova sono stati eseguiti mediante l'impiego di una punta digitale delle seguenti caratteristiche:

- diametro cm 3,57.
- area punta cm² 10, conicità 60°, rilievo valori 0÷500 daN,
- manicotto laterale cm² 150, rilievo valori 0÷2,5 daN/cm²,
- pressostato con filtro in metallo sinterizzato, disarmato e saturato con olio di silicone, posto sopra la punta (rilievo di U2),
- doppio inclinometro per il rilievo dello spostamento dalla verticale.

Il rilievo dei valori di resistenza, di pressione, inclinazione è stato eseguito ogni cm 2 di infissione, memorizzando i dati e successiva sincronizzazione della profondità con *encoder* collegato a centralina di controllo. La centralina permette la visualizzazione, memorizzazione e stampa dei dati memorizzati.



Figura 10. Esecuzione della DPM 09.

7. Prove penetrometriche dinamiche medie

Le prove penetrometriche dinamiche medie sono state eseguite in data 4 novembre 2022, 3 e 24 febbraio 2026 dallo scrivente, raggiungendo la massima profondità di 5 metri, mediante attrezzatura meccanica di costruzione Pagani, tipo “Emilia”, avente i seguenti requisiti costruttivi:

- punta a perdere con angolo di apertura del cono di 60°;

- diametro della punta di cm 3,57 (superficie di cm² 10);
- massa del maglio di kg 30;
- altezza di caduta di cm 20;
- aste metriche con diametro di mm 14 e massa di kg 2,4;
- rilievo del numero di colpi necessario per l'avanzamento;
- sistema di controllo della verticalità delle aste.

La metodologia di indagine consiste nella registrazione del numero di colpi (N_{10}) necessari per l'avanzamento di cm 10 nel terreno della punta conica.

La penetrazione è indotta dalla caduta di un maglio, azionato da un sistema di rotazione ad asse orizzontale, battente su una piastra a contatto diretto con l'asta superiore.

Nei tabulati facenti parte dell'Allegato 2 si riportano i diagrammi forniti sia in forma grafica sia numerica. In particolare si riporta il valore (in MPa) della resistenza dinamica (R_d), misurato ad intervalli di 10 cm di avanzamento. Essa fornisce i valori della resistenza offerta dal terreno alla penetrazione dinamica di una punta conica avente la geometria suindicata.

La rappresentazione dei dati strumentali acquisiti mediante la resistenza dinamica in funzione della profondità, consente di confrontare prove penetrometriche dinamiche eseguite con attrezzature differenti.

7.1 Rilievo della soggiacenza delle acque sotterranee

È stata eseguita la misura della soggiacenza (profondità della superficie freatica riferita al piano campagna) nei fori delle prove registrandone la presenza solo in alcuni.

Sulla base delle misure eseguite in punti di controllo adiacenti l'area in esame, è possibile collocare la soggiacenza ad oltre due metri dall'attuale piano di campagna.



Figura 11. Tromografo digitale in acquisizione utilizzato.

8. Prospezione di sismica passiva

La registrazione dei microtremori (PSP) è stata realizzata il giorno 4 novembre 2022 dal Geol. Carlo Alfonso Lipparini – con studio in Via di Sabbiano 5/7 a Bologna –

mediante tromografo digitale della Micromed S.p.A. (Figura 11), strumento in grado di acquisire il rumore sismico, presente ovunque sulla superficie terrestre, generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre.

Il “tromino” è costituito da tre sensori elettrodinamici (velocimetri) ad alta risoluzione disposti su tre assi spaziali ortogonali con livella a bolla d'aria su punte e cuscinetto reologico.

Le principali caratteristiche tecniche della strumentazione utilizzata sono le seguenti:

- 3+1 canali analogici con singola amplificazione differenziale che registrano il rumore $< 0,5 \mu\text{V r.m.s. @128 Hz sampling}$;
- impedenza dell'*input* di 10^6 Ohm con intervallo di frequenze da DC - 360 Hz;
- frequenza di campionamento di 16.384 Hz per canale e di sovra – campionamento di 32x, 64x, 128x;

La registrazione dei dati avviene tramite la memoria interna da 512 Mb oppure tramite connessione con porta USB di tipo B.

Il segnale dei velocimetri è acquisito per un tempo di 20 minuti e digitalizzato a 24 bit e rappresentato nell'Allegato 3.

ELABORAZIONE ED INTERPRETAZIONE DEI DATI RACCOLTI

Nella presente sezione sono descritti i metodi di elaborazione applicati per la tipologia di indagine impiegata in sito e i relativi risultati ottenuti.

9. Sistematizzazione delle prova penetrometriche statiche

Nel diagramma della prova penetrometrica statica con punta elettrica e piezocono (CPTu) si riportano i seguenti dati, misurati ad intervalli di cm 2 di avanzamento:

q_c (MPa): fornisce i valori della resistenza offerta dal terreno alla penetrazione di una punta conica con angolo di apertura di 60° ed area di 10 cm^2 , pari ad un diametro di 35,7 mm;

f_s (kPa): fornisce i valori della resistenza specifica esercitata dal terreno sulla superficie laterale del manicotto che segue la pietra porosa;

U (kPa): fornisce i valori della pressione interstiziale sulla pietra porosa che segue immediatamente la punta;

Nel certificato è inoltre specificata l'anagrafica della prova, indicante luogo, data e localizzazione della perforazione.

Il valore del rapporto tra la resistenza alla punta e sulla superficie laterale (q_c/f_s) è utilizzato per la classificazione del terreno e le correlazioni per la stima dei parametri fisici, meccanici, elastici e di resistenza al taglio.

9.1 Elaborazione dei dati della CPTu

Le letture effettuate nel corso dell'esecuzione delle prove sono state processate mediante un programma di calcolo automatico denominato *Static Probing* della GeoStru Software. Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse tramite le elaborazioni proposte da vari autori e permette, inoltre, di utilizzare i dati ottenuti per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Sono state applicate, inoltre, le correlazioni disponibili per la definizione dei parametri fisico-meccanici, di resistenza al taglio e di compressibilità.

10. Sistematizzazione delle prove penetrometriche dinamiche

La letteratura geotecnica è ricca di indicazioni riguardo all'interpretazione delle prove penetrometriche statiche a punta meccanica.

È riconosciuto che quella fornita da *Schmertmann* (1978) è quella più applicabile ed attendibile: essa si basa sulla correlazione tra la resistenza alla punta (q_c) e il rapporto tra quest'ultima e la misura della resistenza laterale espressa in percentuale (R_p/R_l).

Ben diverso è il discorso relativo all'interpretazione delle prove penetrometriche dinamiche, poiché lo *standard* non è un universalmente riconosciuto e non esistono attestazioni ufficiali alla metodologia.

La prova consente, comunque, di discriminare con sufficiente precisione le variazioni tessiturali: esistono, infatti, correlazioni sperimentali che permettono di interpretare il dato acquisito (N_{10}) in funzione della resistenza dinamica alla punta (R_d), attraverso la nota formula degli Olandesi (*Sanglerat*, 1974).

Sono state applicate, inoltre, le correlazioni disponibili per la definizione dei parametri fisico-meccanici, di resistenza al taglio e di compressibilità.

10.1 Elaborazione dei dati delle DPM

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico denominato *Dynamic Probing* della GeoStru Software. Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse tramite le elaborazioni proposte da vari autori e permette, inoltre, di utilizzare i dati ottenuti per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

11. Analisi dei risultati delle prospezioni di sismica passiva

La tecnica maggiormente sfruttata per lo studio dei microtrempi è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale e conosciuta come HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*).

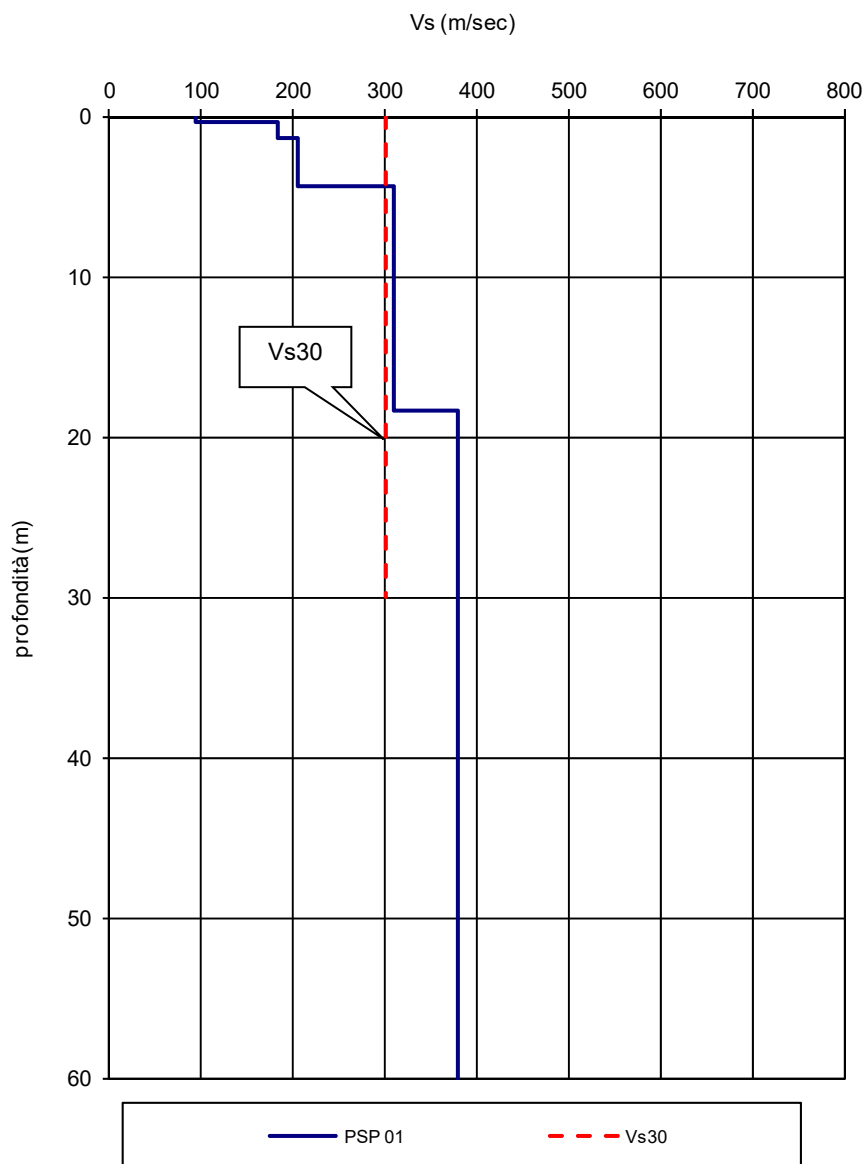


Figura 12. Velocità delle onde trasversali in funzione della profondità.

La metodologia dei rapporti spettrali H/V permette di valutare la variazione di ellitticità dell'onda di Rayleigh in funzione della frequenza, permettendo così di ricavare la frequenza fondamentale di un sito. Tale parametro è legato alla presenza di una superficie di discontinuità con un sufficiente contrasto di impedenza sismica.

Il valore del picco rilevabile dalla curva H/V è inversamente proporzionale alla profondità dell'interfaccia (H) e direttamente proporzionale alla velocità di propagazione delle onde S (V) dei materiali sovrastanti l'interfaccia, mediante la relazione:

$$f_0 = \frac{V_s}{4H}$$

La curva HVSR mostra come massimi relativi le frequenze di risonanza dei vari strati poiché l'effetto è cumulabile. Stimando le velocità V, solitamente disponibili almeno a livello di massima, è possibile fornire previsioni sullo spessore H degli strati.

I risultati dell'analisi sono stati ottenuti col software *Grilla* in dotazione allo strumento che esegue le seguenti operazioni, per ciascuna delle 3 componenti del moto:

1. divide il tracciato acquisito in finestre di lunghezza L (in questo caso di 20 s),
2. elimina il *trend* da ciascuna finestra,
3. ne fa il *taper* con una finestra Bartlett⁹,
4. fa il *pad* di ciascuna finestra con degli zero,
5. calcola la trasformata di Fourier per ciascuna finestra,
6. calcola lo spettro di ampiezza per ciascuna finestra,
7. liscia lo spettro di ogni finestra secondo la funzione di lisciamento e calcola il rapporto spettrale HVSR ad ogni frequenza e per ciascuna finestra.

La funzione HVSR finale è data dalle medie degli HVSR di ciascuna finestra: le componenti orizzontali sono mediate tra loro con la media quadratica e sono successivamente divise per la componente verticale.

La strumentazione di acquisizione dei dati è stata accoppiata al terreno naturale tramite i piedini lunghi, dando esito a un'ottima lettura. La lettura è avvenuta in condizioni di lievi rumori antropici (traffico automobilistico) filtrati ed ignorati durante l'analisi dei dati.

11.1 Descrizione dei risultati delle misure H/V

L'elaborazione dei dati raccolti ha rilevato la presenza di un picco di risonanza alla frequenza di 0,84 Hz: tale frequenza è generata da una variazione di V_s da circa 182 m/sec (terreno di copertura vegetale) a 205 m/sec (limi sabbiosi – sabbie sciolte) a m 1,4.

Nel resto del tracciato, invece, non sono evidenti picchi significativi, con il rapporto H/V che si mantiene costantemente prossimo a 1 con l'eccezione delle basse frequenze (0,2-1,5 Hz) dove subisce un rialzo poco significativo fino ad un massimo di 2.

Si è quindi proceduto alla ricostruzione della curva sintetica a partire da quella sperimentale, in modo tale da ottenere la ricostruzione dell'andamento della velocità delle onde di taglio (Allegato 3).

L'interpretazione dei dati ha permesso di individuare unità caratterizzate da diversi valori di velocità medie delle onde sismiche trasversali (V_s), senza evidenziare fenomeni di inversione.

Per le correlazioni tra velocità sismiche e litologia, disponendo della geologia locale, dei dati bibliografici e dei diagrammi delle indagini geognostiche eseguite, si sono effettuati gli abbinamenti indicati in Tabella 2.

Strato	Profondità [m]	V_s [m/s]	Interpretazione litologica
1	0,4	93	Terreno vegetale
2	1,4	182	Limi argillosi e sabbiosi
3	4,4	205	Sabbie limose e limi
5	18,4	310	Sabbie medie
6	30	380	Argille limose

Tabella 2. Sismostrati ed interpretazione litologica.

È stato inoltre ottenuto sperimentalmente il valore della velocità V_{s30} , ossia la velocità media di propagazione delle onde di taglio nell'intervallo fino a 30 di profondità, che è risultato pari a 300 m/sec (Figura 12).

⁹ metodo di stima spettrale delle serie storiche.

ASPETTI GEODINAMICI E SISMICITÀ DEL TERRITORIO

Nella presente sezione è descritta la sismicità del territorio entro cui ricade il lotto in esame, la pericolosità e l'azione sismica.

La stima della pericolosità sismica è definita mediante un approccio sito dipendente e non più tramite un criterio zona dipendente, mentre l'azione sismica di progetto, in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite presi in considerazione, è definita partendo dalla pericolosità di base del sito di costruzione, che è l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica.

L'azione sismica sulle costruzioni è generata dal moto non uniforme del terreno di sedime per effetto della propagazione delle onde sismiche.

Nella determinazione dell'azione sismica è necessario valutare l'influenza delle locali condizioni litologiche e morfologiche sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie, mediante studi specifici di risposta sismica locale. In mancanza di questi si può utilizzare la classificazione in categorie di suolo, già introdotta nell'EC8 e OPCM 3274, recentemente confermata dal Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008.

12. Pericolosità sismica

L'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 3274 del 20 marzo 2003 ha introdotto la nuova normativa tecnica in materia di progettazione antisismica, suddividendo il territorio nazionale in 4 zone sismiche, ciascuna contrassegnata da un diverso valore dell'accelerazione orizzontale (a_g) massima convenzionale su suolo di categoria A.

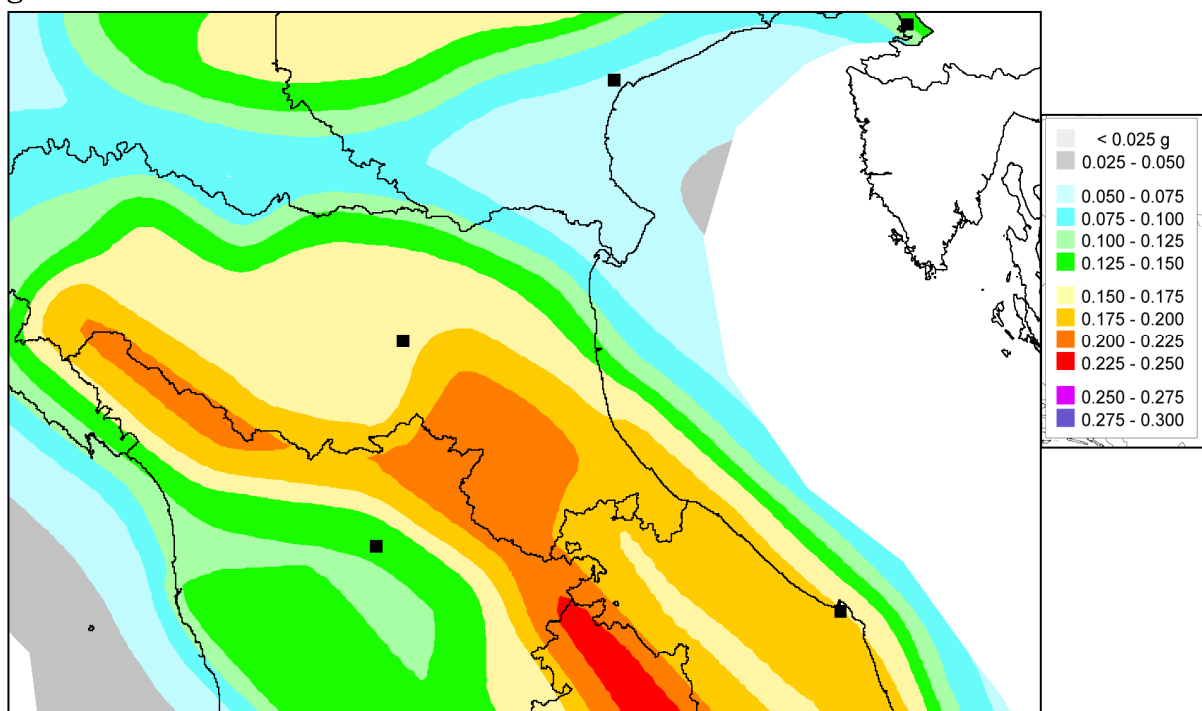


Figura 13. Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale¹⁰.

I valori convenzionali di a_g , espressi come frazione dell'accelerazione di gravità g , da adottare in ciascuna delle zone sismiche del territorio nazionale sono riferiti ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni ed assumono i valori riportati nella Tabella 3.

Il comune di San Pietro in Casale ricade nella zona sismica 3 a cui corrisponde un'accelerazione orizzontale con probabilità di superamento del 10% in 50 anni minore o uguale a 0,15 g (Figura 13) che si traduce in un'accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta pari a 0,15 (a_g/g).

¹⁰ Ordinanza PCM 3519 del 28 aprile 2006, All. 1b. Valori standard, 50° percentile.

12.1 Zona sismica

La zona sismica 3 è contraddistinta da un'accelerazione di picco orizzontale del suolo $a_g = 0,15 \text{ g}$ (Tabella 3).

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

Tabella 3. Valori di accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico.

13. Categorie di suolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi; in alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tabella 4, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_s per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo. Le tipologie del suolo di fondazione sono raccolte in 5 categorie (A, B, C, D, E) di profili stratigrafici.

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

Tabella 4. Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

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

dove:

$V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato h_i ;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per i muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H = 30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

13.1 Categoria del sottosuolo di fondazione

Sviluppando la formula della velocità equivalente delle onde di taglio per la prospezione di sismica passiva realizzata, i terreni indagati ricadono nell'intervallo m/sec $180 < V_{s30} < m/sec$ 360, con un valore di V_{s30} medio pari a 300 m/sec.

Sulla base dei valori di V_{s30} determinati, è possibile assegnare una categoria di tipo C al suolo del sito.

14. Azione sismica

Ai fini dell'applicazione delle norme tecniche per la costruzione in zone sismiche, oltre ad adottare il parametro a_g si deve tener conto di un fattore S che scaturisce dal profilo stratigrafico del suolo di fondazione.

Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione, definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido 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 .

In mancanza di rigorose analisi di risposta sismica locale, per le componenti orizzontali del moto e per le categorie del sottosuolo di fondazione, la forma spettrale su sottosuolo di categoria A si valuta in funzione di coefficienti che tengono conto dell'amplificazione stratigrafica e topografica.

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale: a_g (accelerazione orizzontale massima al sito), F_0 (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e T^*_c (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale).

14.1 Amplificazione topografica

La configurazione topografica in cui ricade il lotto è una situazione semplice, per cui si può adottare la classificazione di cui alla seguente Tabella 5.

Categoria	Superficie topografica	i	S_T
T1	Pianeggiante, pendii con inclinazione media	$\leq 15^\circ$	1,0
T2	Pendii con inclinazione media	$> 15^\circ$	1,2
T3	Larghezza della cresta del rilievo inferiore della base	$15^\circ - 30^\circ$	1,2
T4		$> 30^\circ$	1,4

Tabella 5. Categorie topografiche e coefficienti di amplificazione topografica.

La superficie topografica in cui ricade l'opera di intervento è di categoria T1, per cui il coefficiente di amplificazione topografica S_T è pari a 1,0.

14.2 Amplificazione stratigrafica

Per il caso in esame, il coefficiente stratigrafico assume la seguente espressione:

$$S_s = 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g}$$

ed ha il seguente campo di variazione $1,00 \div 1,50$.

Il coefficiente di variazione del periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante T_C dello spettro è:

$$C_C = 1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$$

ed è superiore all'unità.

Considerando i dati del sito in esame, avente latitudine di 44,701504 e longitudine di 11,418002 (ED50) e una costruzione con classe d'uso 2 (normali affollamenti), vita nominale di 50 anni, coefficiente d'uso II (pari a 1,0) e vita di riferimento di 50 anni, la probabilità di superamento nella vita di riferimento è di 0,10 (SLV) e il periodo di ritorno di 475 anni.

In funzione dei dati suddetti, si ottengono i seguenti risultati:

$$a_g = 0,137 \text{ g}$$

$$F_o = 2,585$$

$$T_C^* = 0,273 \text{ sec}$$

che sono relativi all'interpolazione sulla maglia elementare del reticolo di riferimento (Figura 14) per lo stato limite della vita (SLV), avendo considerato i punti indicati nella Tabella 6.

Siti di riferimento (ID)	Latitudine	Longitudine	Distanza (km)
16065	44,6662	11,3823	3,872
16066	44,6674	11,4525	3,664
15844	44,7174	11,4508	4,004
15843	44,7162	11,3805	4,198

Tabella 6. Individuazione dei nodi del reticolo di riferimento

Per dette condizioni $S_S = 1,49$ e $C_C = 1,61$ (valori corrispondenti allo SLV).

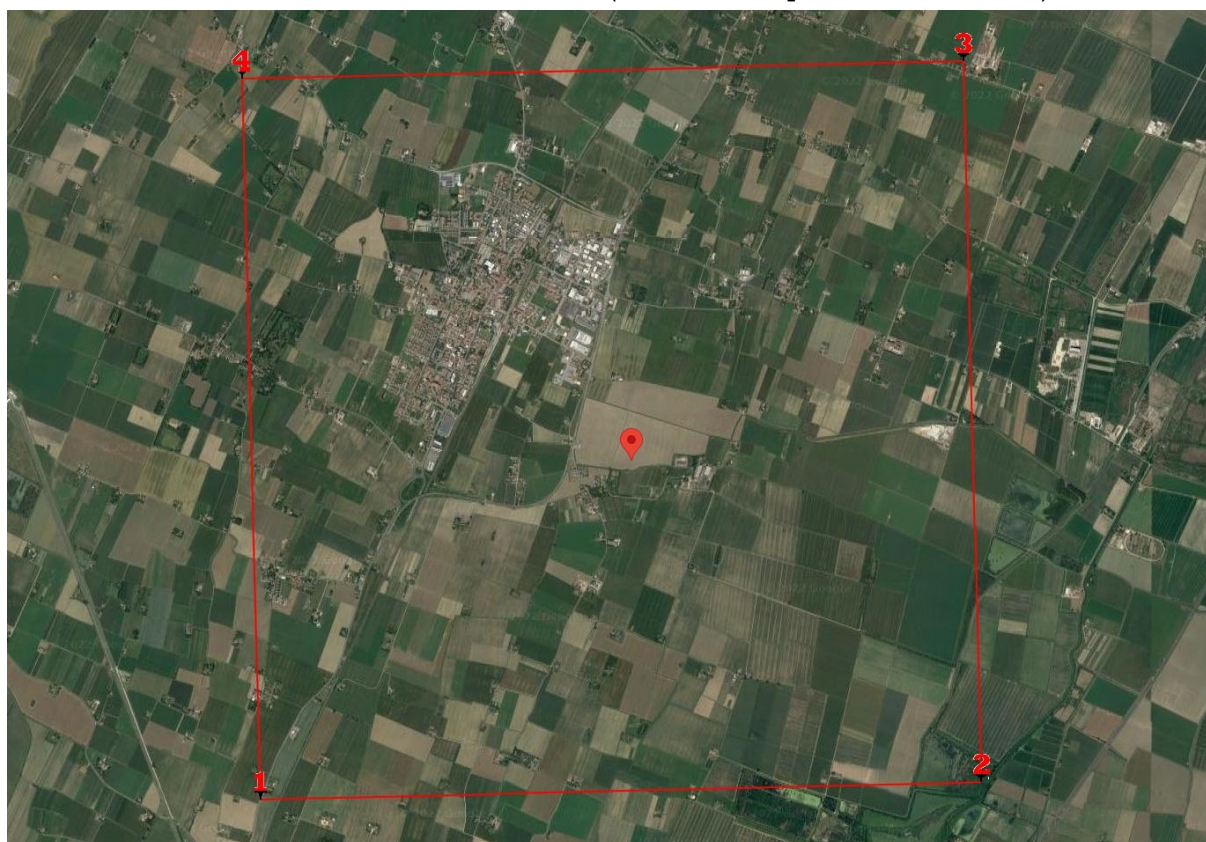


Figura 14. Interpolazione sulla maglia elementare del reticolo di riferimento.

Stati limite	SLO	SLD	SLV	SLC
Probabilità di superamento:	81 %	63 %	10 %	5 %
Tr [anni]	30	35	332	682
a_g [g]	0,045	0,049	0,137	0,183
F_o [-]	2,487	2,488	2,585	2,556
T_c^* [sec]	0,257	0,261	0,273	0,278

Tabella 7. Parametri sismici per lo stato limite corrispondente.

14.3 Parametri sismici su sito di riferimento rigido

I parametri sismici relativi agli stati limite di Operatività (SLO), Danno (SLD), salvaguardia della Vita (SLV) e di prevenzione dal Collasso (SLC) per una categoria sottosuolo (tipo C), topografica (T1) con periodo di riferimento di 35 anni e classe d'uso 1, calcolati in funzione della presenza di fondazioni, sono sintetizzati nella Tabella 7 e nell'Allegato 4.

14.4 Coefficienti sismici

Dal valore nominale di a_g (g), accelerazione orizzontale massima attesa al sito, si passa ai corrispondenti valori massimi, dipendenti anche dal coefficiente topografico S_T (= 1,0) sintetizzati nella seguente tabella.

Stati limite	SLO	SLD	SLV	SLC
a_{gMAX}	0,665	0,714	1,996	2,543

Tabella 8. Accelerazione massima.

Il valore dei coefficienti sismici orizzontali e verticali si determinano, rispettivamente, con le seguenti equazioni:

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{MAX}}{g}$$

$$k_v = 0,5 \cdot k_h$$

dove β_s è il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito, il cui valore è funzione della categoria di sottosuolo e del valore di a_g (g), così come riportata nella Tabella 9.

a_g (g)	Categorie di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
0,2 ÷ 0,4	0,30	0,28
0,1 ÷ 0,2	0,27	0,24
≤ 0,1	0,20	0,20

Tabella 9. Valori di β_s in funzione della categoria di sottosuolo e di a_g (g).

I valori dei coefficienti sismici orizzontali e verticali sono riassunti nella Tabella 10.

Stati limite	SLO	SLD	SLV	SLC
k_h	0,013	0,017	0,055	0,081
k_v	0,007	0,009	0,027	0,041

Tabella 10. Coefficienti sismici orizzontali e verticali.

15. Stabilità nei confronti della liquefazione

Il rischio di liquefazione è rappresentato dal rapporto fra lo sforzo ciclico normalizzato (CSR) e la resistenza ciclica normalizzata (CRR):

$$FS_L = \frac{CSR}{CRR}$$

per valori maggiori dell'unità il terreno non è liquefacibile, mentre lo è in caso contrario.

Lo sforzo ciclico normalizzato si può valutare nell'ipotesi di mezzo perfettamente rigido, in cui si propagano solo onde di taglio, mediante la seguente espressione semplificata che tiene conto del mezzo deformabile:

$$CSR = \frac{\tau_{hm}}{\sigma'_z} = 0,65 \cdot a_{MAX} \cdot \frac{\sigma_z}{\sigma'_z} \cdot \frac{r_d}{g} \cdot \frac{1}{MSF}$$

con:

τ_{hm} tensione tangenziale media indotta dal sisma di progetto;

z profondità di riferimento;

σ_z tensione litostatica totale alla profondità di riferimento;

σ'_z tensione litostatica efficace alla profondità di riferimento

r_d coefficiente di profondità (Tabella 11);

MSF coefficiente correttivo della magnitudo del sisma di progetto (Tabella 12).

Determinato il valore di CSR, è necessario quantificare il corrispondente valore di CRR, come esposto nel paragrafo seguente, e calcolare il rapporto tra i due.

Profondità (m)	r_d
$z < 9,15$	$1 - (0,00765) \cdot z$
$z = 9,15 \div 23,00$	$1,174 - (0,0267) \cdot z$
$z = 23,00 \div 30,00$	$1,774 - (0,0080) \cdot z$
$z > 30,00$	$(0,5) \cdot z$

Tabella 11. Coefficienti di profondità r_d .

MSF	M
$\left(\frac{M}{7,5}\right)^{-3,3}$	$\leq 7,5$
$\frac{10^{2,24}}{M^{2,56}}$	$> 7,5$

Tabella 12. Coefficiente correttivo della magnitudo del sisma di progetto.

15.1 Valutazione di CRR

La correlazione CRR- V_s attualmente raccomandata è quella di Andrus et al. (2004¹¹) in Figura 15 (per terremoti di magnitudo $M = 7,5$), derivata dalla nota correlazione ottenuta da Andrus & Stokoe (2000¹²) per terreni olocenici non cementati, basata su un database comprendente 26 terremoti e oltre 70 siti:

$$CRR = a \left(\frac{V_{sl}}{100} \right) + b \left(\frac{1}{V_{sl}^* - V_{sl}} - \frac{1}{V_{sl}^*} \right)$$

dove V_{sl}^* è il valore limite superiore di V_{sl} per il verificarsi di fenomeni di liquefazione, a e b sono i parametri della curva che consentono di interpolare al meglio i dati.

CRR è valutata in base a:

¹¹ Andrus R.D., Stokoe K.H. & Juang C.H. 2004. "Guide for Shear-Wave-Based Liquefaction Potential Evaluation. Earthquake Spectra", 20(2), 285-305.

¹² Andrus R.D. & Stokoe K.H., II. 2000 "Liquefaction resistance of soils from shear-wave velocity", Jnl GGE, ASCE, 126(11), 1015-1025.

$$V_{S1} = V_S \cdot \left(\frac{p_a}{\sigma'_{vo}} \right)^{0,25}$$

con: V_{S1} velocità delle onde di taglio corretta per la tensione verticale efficace σ'_{vo} e della pressione atmosferica p_a , con introduzione di fattori correttivi che tengono conto di effetti di *aging*.

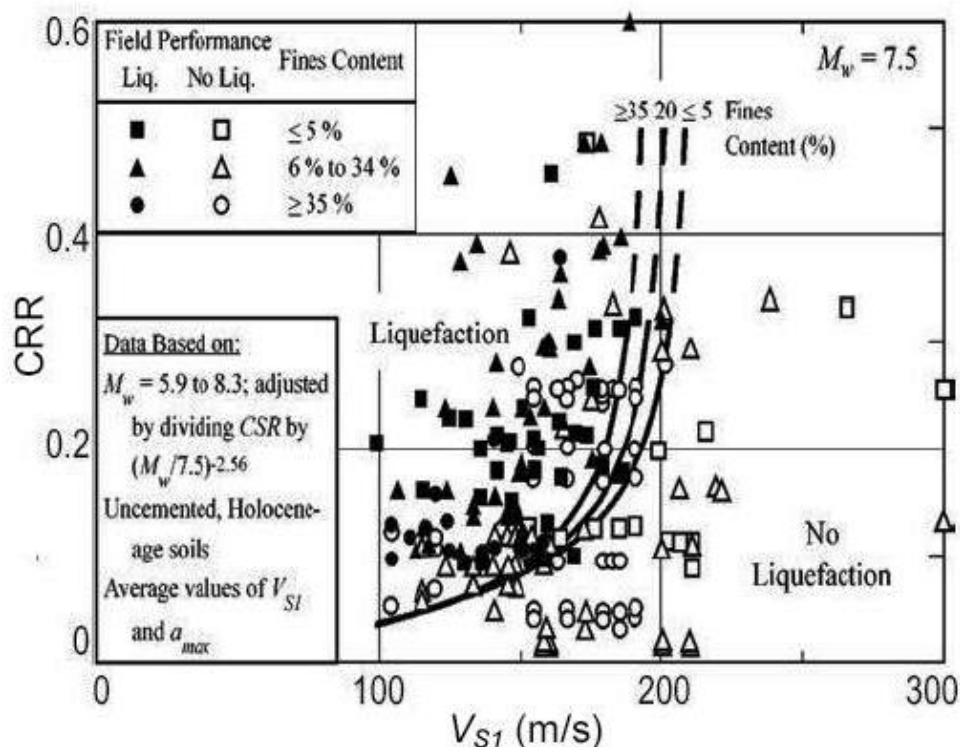


Figura 15. Curve CRR- V_{S1} (Andrus et al. 2004)

I valori di V_{S1}^* si assumono variare linearmente da 200 m/sec per terreni con contenuto di fini del 35%, a 215 m/sec per terreni con contenuto di fini dal 5% o meno.

Le curve sono tratteggiate per $CRR \geq 0,35$ per indicare che le analisi di sito sono limitate fino a tale valore. Analogamente le curve non si estendono al di sotto di 100 m/sec; il valore di CRR calcolato in tale punto è pari a 0,033.

15.2 Verifica del potenziale di liquefazione

Si prendono in considerazione gli strati a componente sabbiosa localizzati a m 6,5 e m 18,0, con soggiacenza della superficie freatica a m 3,4 e magnitudo di riferimento pari a 6,09.

Il rapporto fra lo sforzo ciclico normalizzato (CSR) e la resistenza ciclica normalizzata (CRR) è ampiamente superiore all'unità, pertanto, si può affermare che per i terreni interessati dall'opera non vi è rischio di liquefazione.

Profondità dello strato (m)	Fattore di sicurezza
6,5	2,5
18,0	3,0

Tabella 13. Fattori di sicurezza alla liquefazione per gli strati sabbiosi considerati.

Nell'Allegato 5 è raccolto il foglio di calcolo della verifica.

STRATIGRAFIA DEL SOTTOSUOLO

Le ricostruzioni lito - stratigrafiche derivate dal rilievo geologico e dalle prove geognostiche eseguite hanno consentito il raggiungimento di un'adeguata definizione del quadro litologico e stratigrafico del sottosuolo in esame.

Profondità (m)	Descrizione	Unità stratigrafica	parametri	γ (kN/m ³)	ϕ_u (°)	Cu (kPa)	ϕ' (°)	c' (kPa)	Ed (MPa)	V _s (m/s)
2,0	Sabbie limose	①	AES8 Subsintema di Ravenna	18,35	36	0	37	5	4,4	180
6,0	Limi argillosi e sabbiosi	②		18,65	0	52	25	35	4,5	250
18,0	Sabbie fini e sabbie limose	③		18,60	29	0	31	5	7,0	300
30,0	Argille limose	④	AES7 Subsintema di Villa Verrucchio	19,85	0	70	26	40	10,5	400

Figura 16. Stratigrafia schematica del sottosuolo.

Nella presente sezione sono descritte le unità lito - tecniche individuate nell'area in esame.

16. Stratigrafia di riferimento

Lo strato superficiale è costituito da materiale prevalentemente sabbioso limoso al tetto e francamente sabbioso alla base e ha uno spessore di m 2. È supportato da limi argillosi e sabbiosi fino a m 6 di profondità.

I terreni sottostanti sono costituiti da terreni sabbiosi fini e con matrice limosa, quindi da argille limose e limi argillosi variamente combinati tra loro.

I terreni descritti sono attribuibili all'unità alluvionale dell'Unità di Ravenna (AES8) sovrastanti con limite inferiore inconforme il Subsintema di Villa Verrucchio AES7 e sulle sottostanti unità marine e limite superiore coincidente col piano topografico e costituito da un suolo relativamente poco evoluto, non calcareo, con fronte di alterazione compreso tra 0,5 e 1,5 m (inceptisuolo) e contenente reperti archeologici di età dal Neolitico al Romano, oppure da un suolo poco evoluto, calcareo (entisuolo). La presenza di quest'ultimo identifica localmente l'Unità di Modena (AES8a).

Lo spessore massimo in pianura di 25 metri circa e l'età, stabilita con datazione all'isotopo del carbonio C₁₄, varia da 14.000 anni fa all'attuale.

La zona di deposito è di canale, argine e rottura fluviale.

17. Caratterizzazione geotecnica

La successione stratigrafica del sottosuolo mostra una sovrapposizione omogenea di terreni con tessitura variabile da argilloso - limoso a sabbiosa, fino a ghiaiosa, sintetizzata nella Figura 16.

La simbologia è la seguente:

γ = peso dell'unità di volume,

ϕ_U = angolo di attrito interno in condizioni di tensioni totali,

C_U = coesione in condizioni di tensioni totali,

ϕ' = angolo di attrito interno in condizioni di tensioni efficaci,

c' = coesione in condizioni di tensioni efficaci,

E_d = modulo edometrico,

V_s = velocità delle onde di taglio.

I terreni quaternari sono rappresentati da limi e argille del Subsintema di Ravenna (**AES8**) fino alla profondità di m 3.

GESTIONE DELLE TERRE DA SCAVO

Il Decreto del Presidente della Repubblica 13 giugno 2017, n. 120, è in vigore dal 22 agosto 2017 e disciplina, semplificandola, la gestione delle terre e rocce da scavo in attuazione dei principi e delle disposizioni della direttiva 2008/98/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 19 novembre 2008, assicurando *adequati livelli di tutela ambientale e sanitaria e garantendo controlli efficaci, al fine di razionalizzare e semplificare le modalità di utilizzo delle stesse*.

In particolare detta disposizioni di riordino e di semplificazione della disciplina, con riferimento:

- alla gestione delle terre e rocce da scavo qualificate come sottoprodotti, ai sensi dell'articolo 184-bis, del Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152, provenienti da cantieri di piccole dimensioni, di grandi dimensioni e di grandi dimensioni non assoggettati a VIA o a AIA, compresi quelli finalizzati alla costruzione o alla manutenzione di reti e infrastrutture;
 - alla disciplina del deposito temporaneo delle terre e rocce da scavo qualificate rifiuti;
 - all'utilizzo nel sito di produzione delle terre e rocce da scavo escluse dalla disciplina dei rifiuti;
 - alla gestione delle terre e rocce da scavo nei siti oggetto di bonifica.
- come specificato all'articolo 1.

Le principali peculiarità del provvedimento sono le seguenti:

- la semplificazione delle procedure e la fissazione di termini certi per concludere le stesse, anche con meccanismi in grado di superare eventuali situazioni di inerzia da parte degli uffici pubblici. Si evitano così i lunghi tempi di attesa da parte degli operatori per la preventiva approvazione del piano di utilizzo delle terre e rocce da parte delle autorità competenti;
- procedure più veloci per attestare che le terre e rocce da scavo soddisfano i requisiti stabiliti dalle norme europee e nazionali per essere qualificate come sottoprodotti e non come rifiuti;
- una definizione puntuale delle condizioni di utilizzo delle terre e rocce all'interno del sito oggetto di bonifica, con l'individuazione di procedure uniche per gli scavi e la caratterizzazione dei terreni generati dalle opere da realizzare nei siti oggetto di bonifica;
- il rafforzamento del sistema dei controlli.

L'ente preposto per l'applicazione della procedura amministrativa è l'A.R.P.A.E. territoriale competente.

CONCLUSIONI

Nel presente rapporto è stato evidenziato lo stato geologico e geomorfologico locale, l'inquadramento sismo - tettonico, la stratigrafia, la litologia superficiale e le condizioni idrogeologiche dell'area.

In base alle indagini eseguite in situ, dei dati disponibili in bibliografia è stato possibile ricostruire la geometria del primo sottosuolo, fornendo una stratigrafia di riferimento, definendo le condizioni idrogeologiche, i parametri fisico – meccanici, di resistenza al taglio e compressibilità.

La stima della pericolosità sismica è stata elaborata mediante un approccio sito dipendente e non più tramite un criterio zona dipendente, mentre l'azione sismica di progetto, in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite presi in considerazione, è definita partendo dalla pericolosità di base del sito di costruzione, che è l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica.

Sulla base di quanto emergerà durante l'apertura degli scavi e l'esecuzione dei lavori, soprattutto nel caso si dovessero incontrare situazioni impreviste, potrà essere opportuno l'intervento del tecnico specialista, sulla base del quale potranno essere formulate raccomandazioni più mirate e/o dovranno essere valutati eventuali azioni correttive. Nel caso in cui sia rinvenuto terreno rimaneggiato o rammollito a profondità maggiori rispetto a quella di imposta delle fondazioni, sarà necessario procedere all'allontanamento dello stesso, sostituendolo con materiale idoneo.

È stata delineata la disciplina della gestione delle terre e rocce da scavo in attuazione dei principi e delle disposizioni della direttiva 2008/98/CE del Parlamento europeo e del Consiglio, del 19 novembre 2008, così come regolamentata dal Decreto del Presidente della Repubblica 13 giugno 2017, n. 120.

Il giudizio di fattibilità dell'intervento in relazione al contesto geologico, geotecnico e sismico dell'area è, dunque, positivo.

Lo scrivente resta a disposizione per ogni caso dubbio o chiarimento.

Casalecchio di Reno, 25 maggio 2026

Dottor Matteo Simoni
GEOLOGO SEZIONE A
Ordine dei Geologi Regione Emilia Romagna
Albo Professionale N°795

Elenco delle tavole

Tavola 1. Area di indagine - Estratto dalla Tavola 203 SO “San Giorgio di Piano” della Carta Tecnica della Regione Emilia-Romagna.	34
Tavola 2. Area di indagine - estratto dall'elemento 203091 “San Pietro in Casale Sud” della carta tecnica della Regione Emilia-Romagna	35
Tavola 3. Carta geologica: estratto dalla Sezione 203090 “San Pietro in Casale Sud” della carta geologica della Regione Emilia - Romagna	36
Tavola 4. Piano di indagine geognostica.....	37

Elenco degli allegati

Allegato 1. Prove penetrometriche statiche a punta elettrica e piezocono.....	38
Allegato 2. Prove penetrometriche dinamiche	40
Allegato 3. Prospezione di sismica passiva.....	51
Allegato 4. Parametri sismici.....	56
Allegato 5. Verifica del potenziale di liquefazione	58

Elenco delle figure

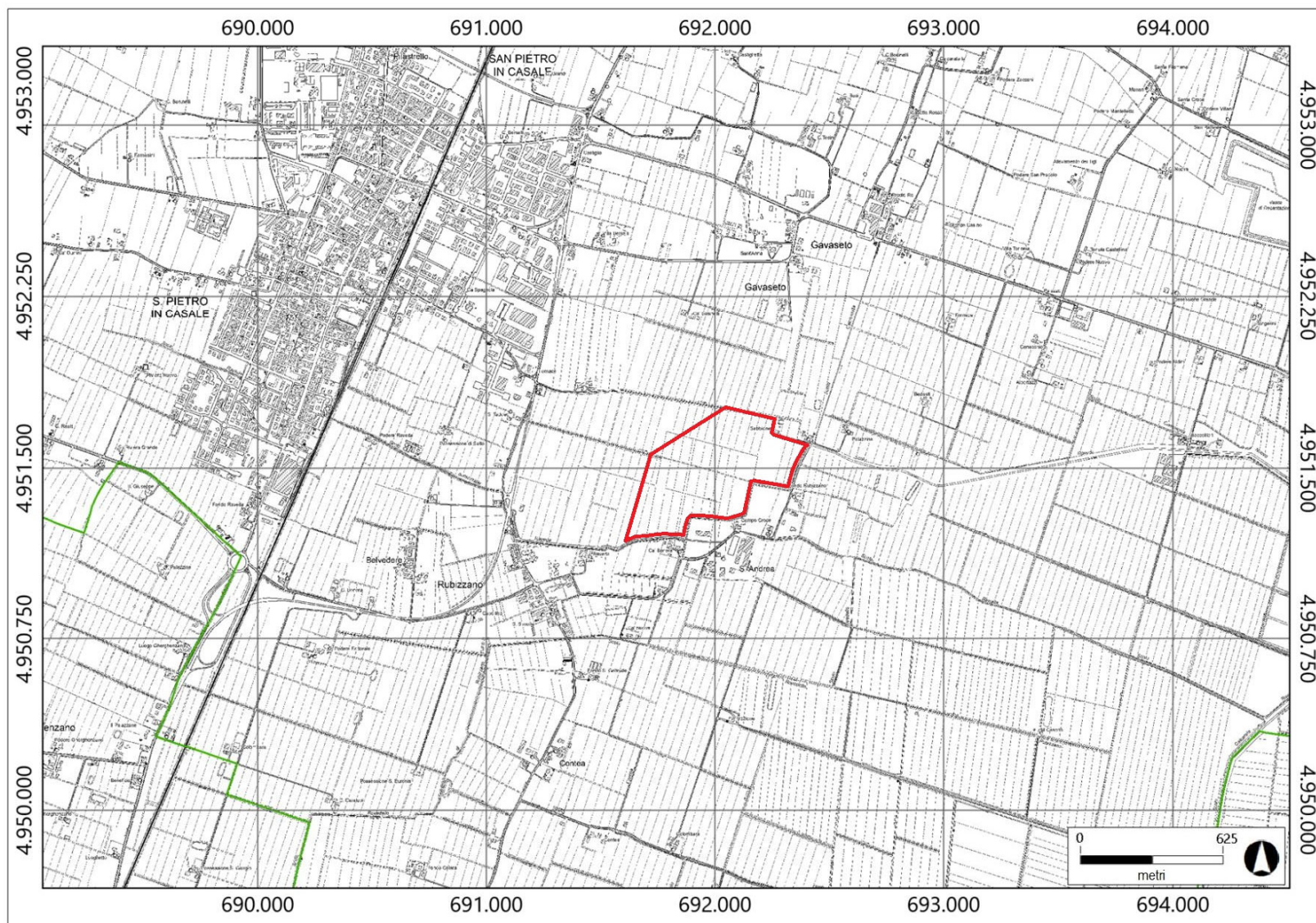
Figura 1. Ripresa aerea dell'area.	4
Figura 2. Ripresa aerea del 1954.....	6
Figura 3. Planimetria dell'impianto fotovoltaico.	7
Figura 4. Sezione geologica dell'Appennino bolognese e della pianura padana	8
Figura 5. Acquiferi della pianura emiliano - romagnola.....	10
Figura 6. Estratto dalla Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna.	13
Figura 7. Storia sismica del territorio di San Pietro in Casale (INGV).	13
Figura 8. Localizzazione degli eventi sismici.	14
Figura 9. Esecuzione della CPTU01.....	15
Figura 10. Esecuzione della DPM 09.	16
Figura 11. Tromografo digitale in acquisizione utilizzato.....	17
Figura 12. Velocità delle onde trasversali in funzione della profondità.	20
Figura 13. Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale.	22
Figura 14. Interpolazione sulla maglia elementare del reticolo di riferimento.	25
Figura 15. Curve CRR- V_{S1} (Andrus et al. 2004)	28
Figura 16. Stratigrafia schematica del sottosuolo.	29

Elenco delle tabelle

Tabella 1. Successione idrogeologica dell'area di indagine.....	11
Tabella 2. Sismostrati ed interpretazione litologica.	21
Tabella 3. Valori di accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico.....	23
Tabella 4. Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.	23
Tabella 5. Categorie topografiche e coefficienti di amplificazione topografica.	24
Tabella 6. Individuazione dei nodi del reticolo di riferimento.....	25
Tabella 7. Parametri sismici per lo stato limite corrispondente.	26
Tabella 8. Accelerazione massima.	26
Tabella 9. Valori di β_s in funzione della categoria di sottosuolo e di $a_g(g)$	26
Tabella 10. Coefficienti sismici orizzontali e verticali.....	26
Tabella 11. Coefficienti di profondità r_d	27
Tabella 12. Coefficiente correttivo della magnitudo del sisma di progetto.	27
Tabella 13. Fattori di sicurezza alla liquefazione per gli strati sabbiosi considerati.....	28

Tavola 1.

AREA DI INDAGINE - ESTRATTO DALLA TAVOLA 203 SO “SAN GIORGIO DI PIANO” DELLA CARTA TECNICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA.



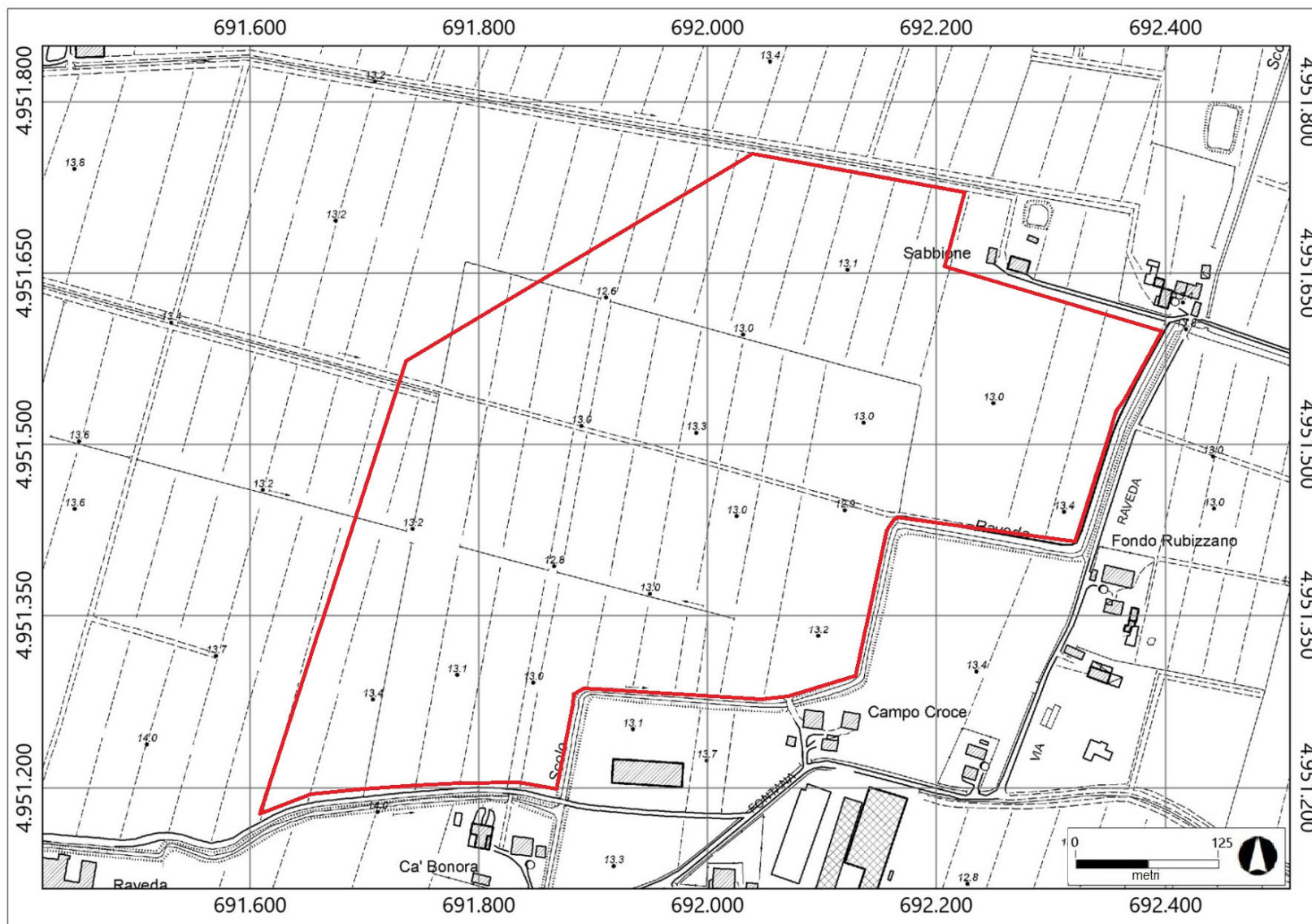
SCALA 1:25.000

Progetto di realizzazione di un impianto fotovoltaico a terra in località Rubizzano di San Pietro in Casale (Bologna).

Relazione geologica e di modellazione sismica.

Tavola 2.

AREA DI INDAGINE - ESTRATTO DALL'ELEMENTO 203091 "SAN PIETRO IN CASALE SUD" DELLA CARTA TECNICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA



SCALA 1:5.000

Progetto di realizzazione di un impianto fotovoltaico a terra in località Rubizzano di San Pietro in Casale (Bologna).

Relazione geologica e di modellazione sismica.

pagina 35 di 61

Tavola 3.
CARTA GEOLOGICA: ESTRATTO DALLA SEZIONE 203090 “SAN PIETRO IN CASALE SUD” DELLA CARTA GEOLOGICA DELLA REGIONE EMILIA - ROMAGNA

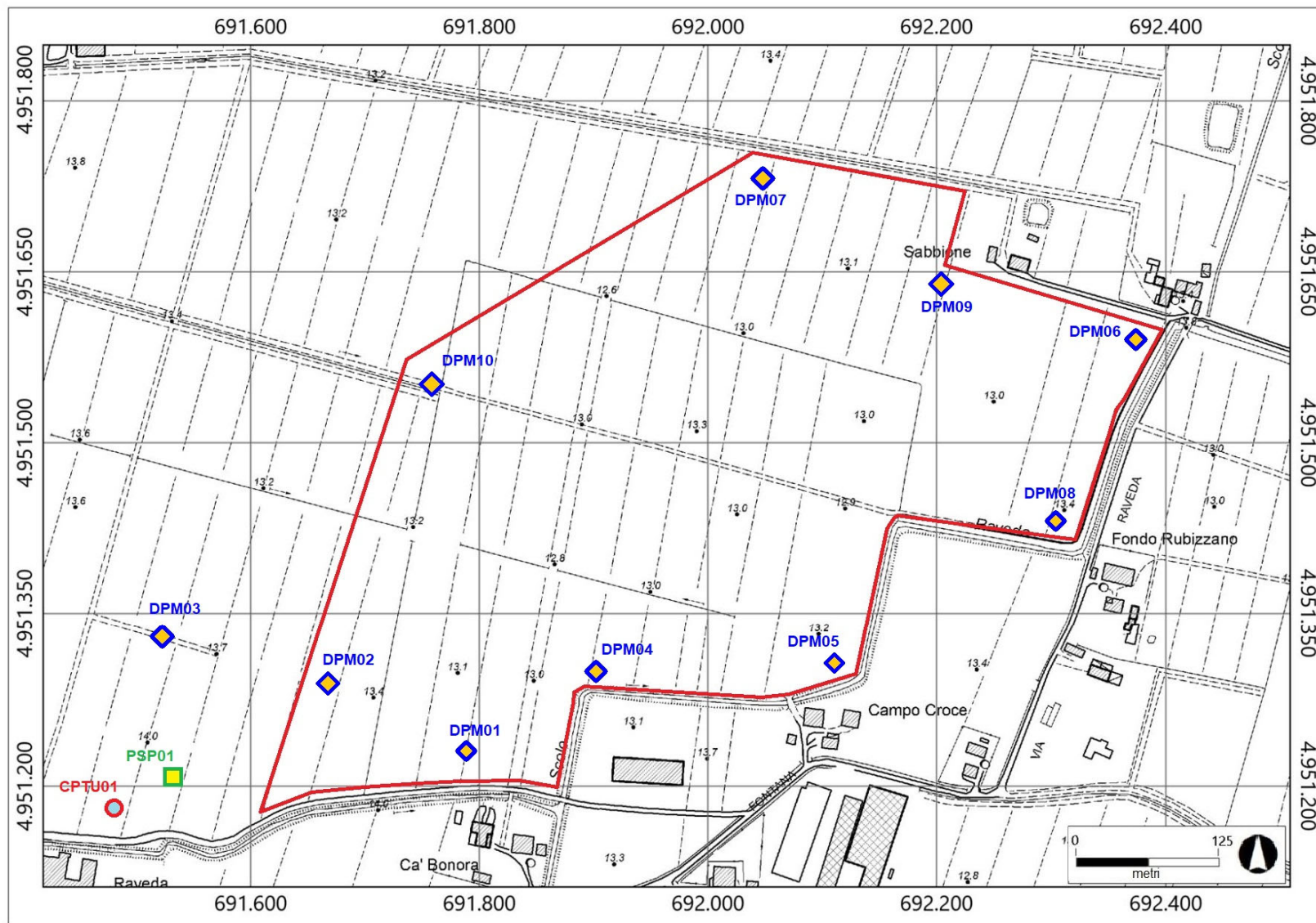


Legenda

- Prove puntuali
- prova CPT con punta meccanica
- Ambienti deposizionali e litologie
- Argilla Limosa - Piana alluvionale
 - Limo Sabbioso - Piana alluvionale
- Coperture quaternarie
- AES8 - Subsistema di Ravenna
 - AES8a - Unità di Modena

SCALA 1:5.000

Tavola 4.
PIANO DI INDAGINE GEOGNOSTICA



SCALA 1:5.000

Progetto di realizzazione di un impianto fotovoltaico a terra in località Rubizzano di San Pietro in Casale (Bologna).

Relazione geologica e di modellazione sismica.

pagina 37 di 61

Allegato 1.

PROVE PENETROMETRICHE STATICHE A PUNTA ELETTRICA E PIEZOCONO

Dott. Geol.Carlo Alfonso Lipparini

Via Raveda snc - Rubizzano

Cone Penetration Test (CPTU) - Date: 04/11/2022

Site: San Pietro in Casale - Test: CPTU 01

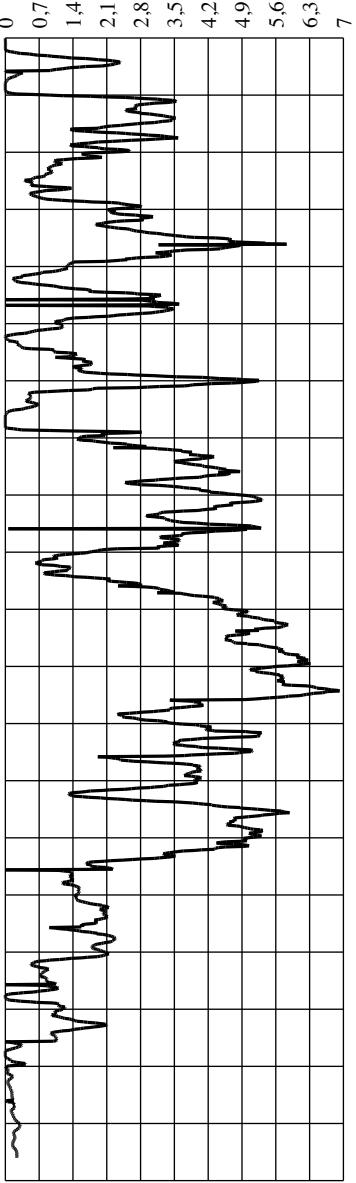
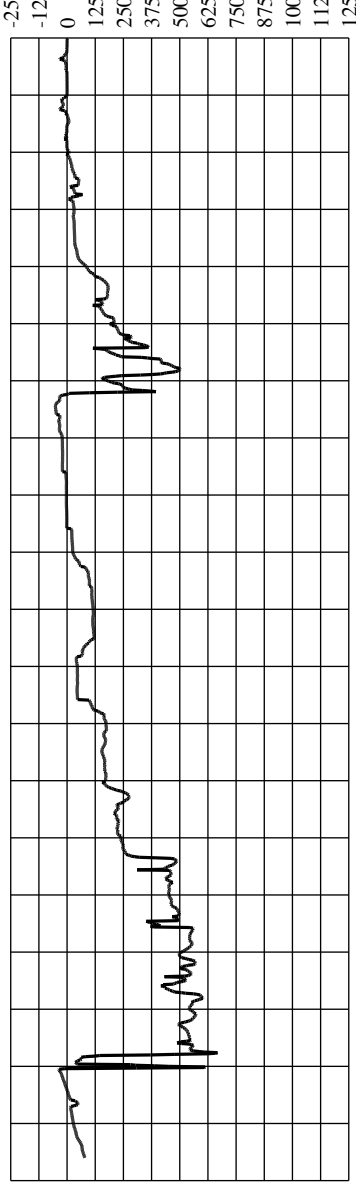
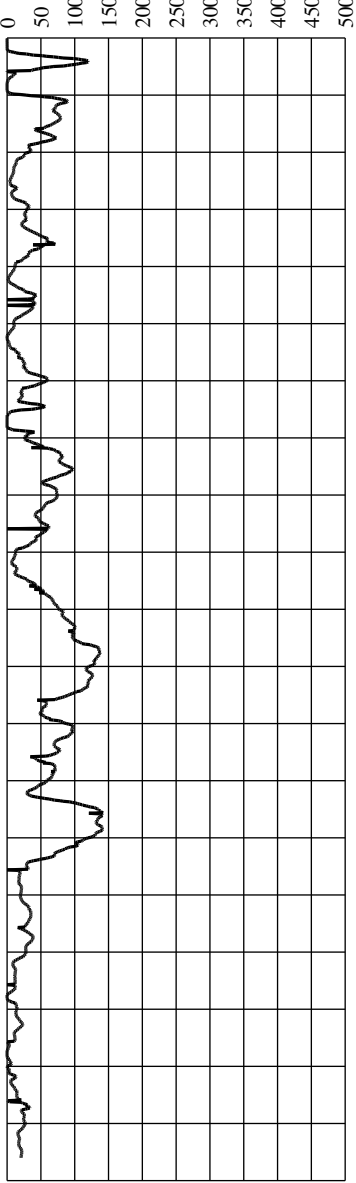
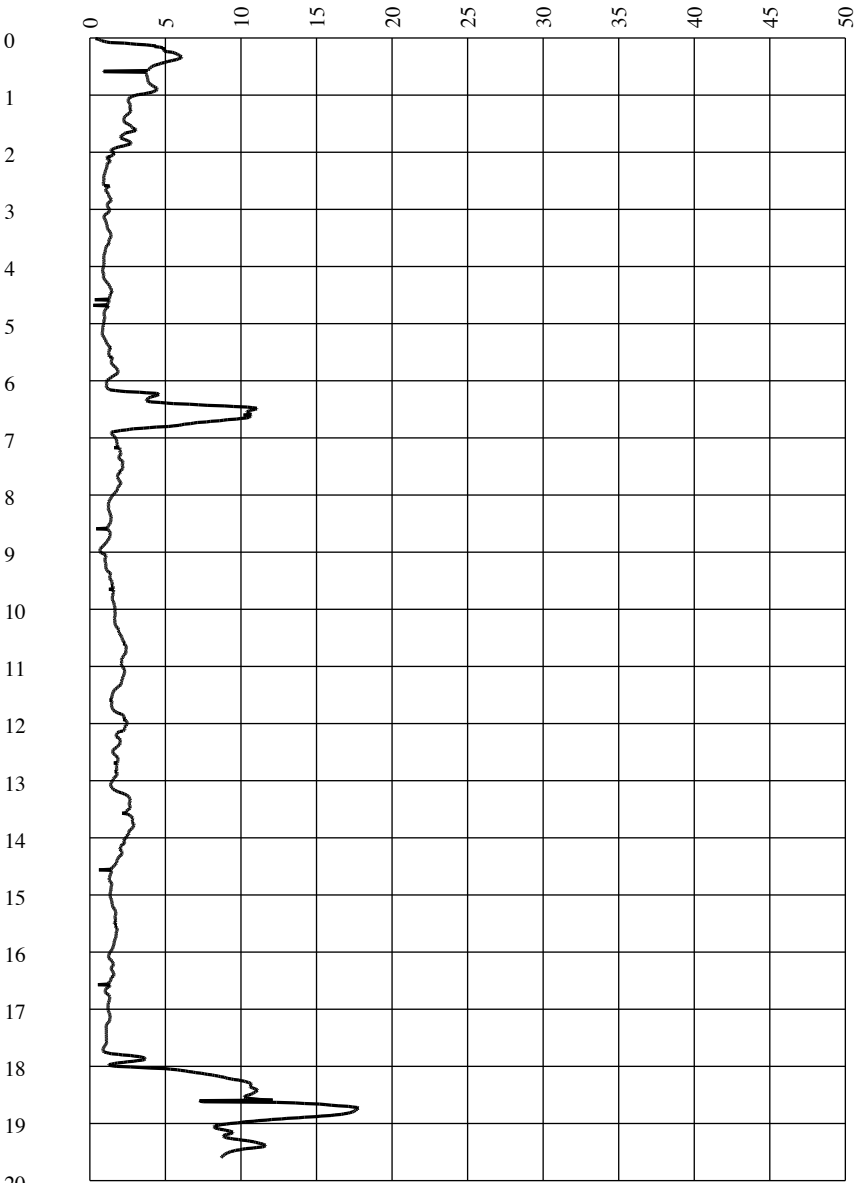
Soggiacenza m 3,40

Qc [MPa]

Fs [KPa]

U2 [KPa]

Rf [%]



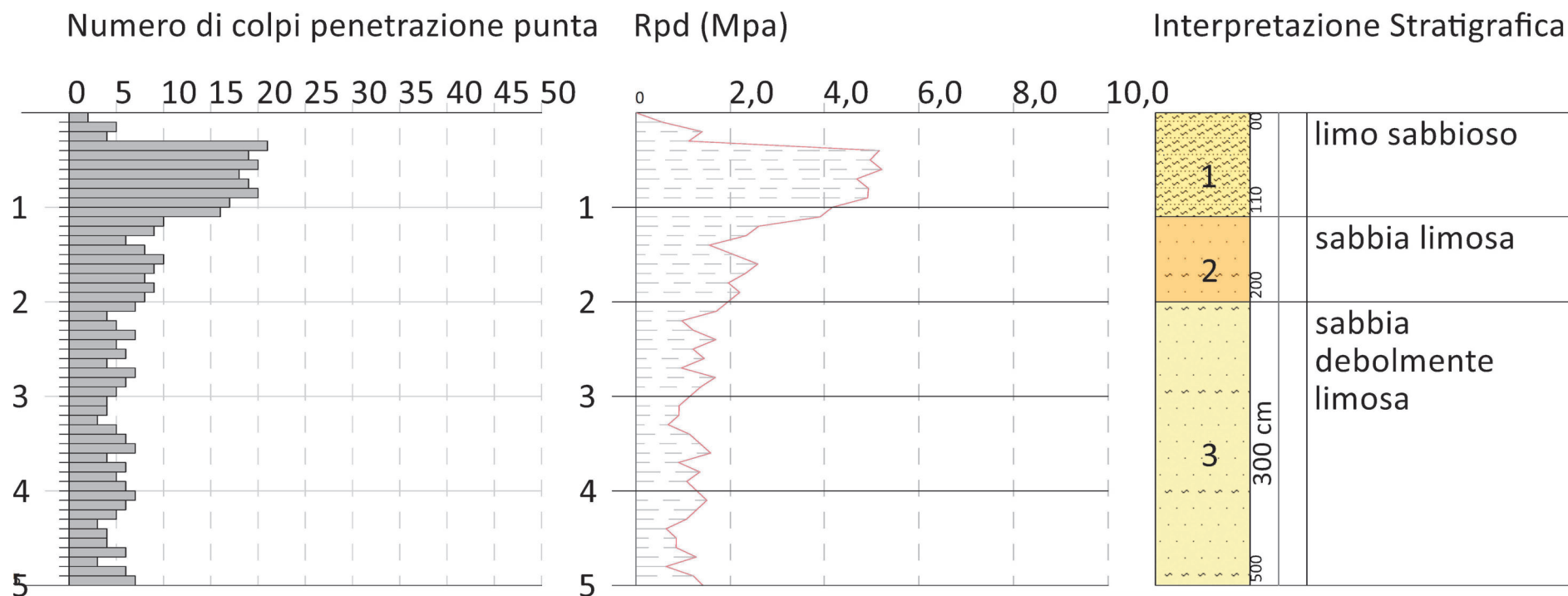
Allegato 2.
PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPM02 Strumento utilizzato... DPM (DL030 10) (Medium)

Committente: Dott. Riccardo Rigolli
 Descrizione: Via Raveda
 Localita': San Pietro in Casale

04/11/2022

Scala 1:100

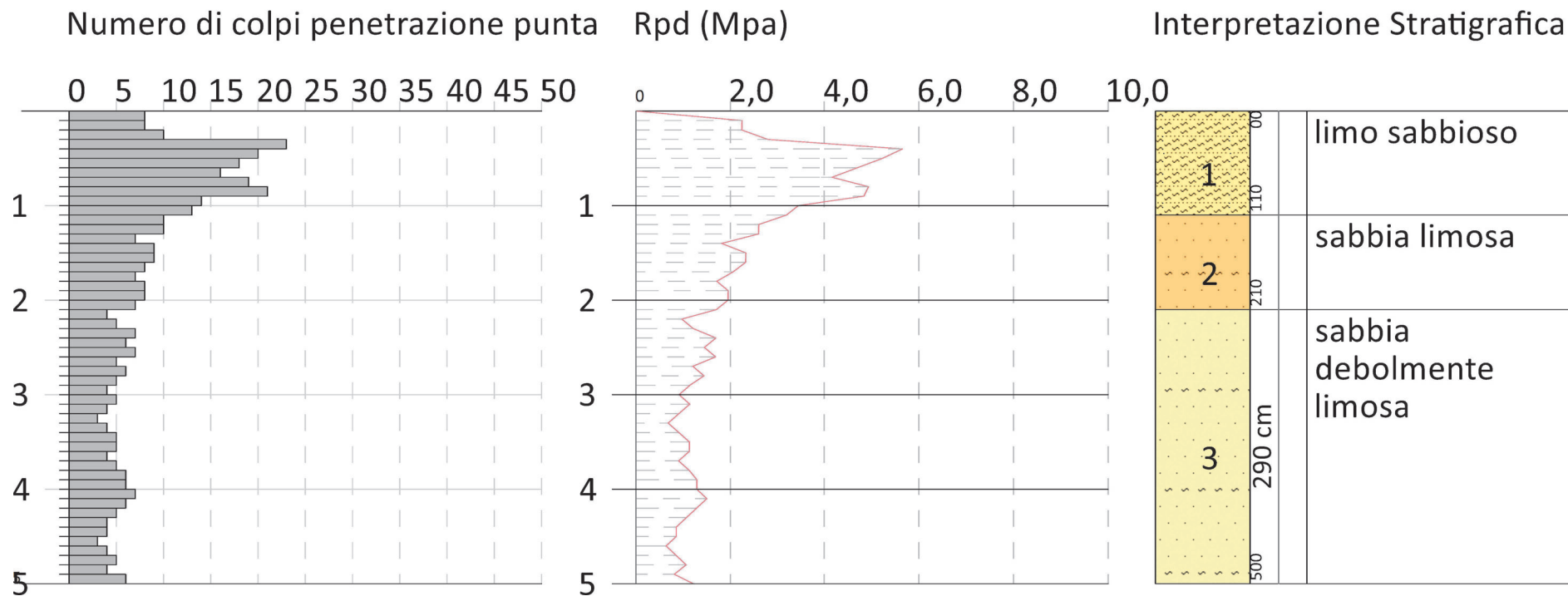


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPM03 Strumento utilizzato... DPM (DL030 10) (Medium)

Committente: Dott. Riccardo Rigolli
 Descrizione: Via Raveda
 Localita': San Pietro in Casale

04/11/2022

Scala 1:100





STUDIO DI SCIENZE DELLA TERRA
MATTEO SIMONI GEOLOGO
VIA PORRETTANA 156
40033 CASALECCHIO DI RENO
TEL 051/0403138
MOBILE +39033558397418
matteo@matteosimoni.it
www.matteosimoni.com

*progettazione di interventi di bonifica di siti contaminati
idrogeologia, ricerche idriche e pozzi per acqua
monitoraggi di versanti e controlli ambientali
geologia applicata e indagini geognostiche
interventi di ingegneria naturalistica
geofisica e sismologia*

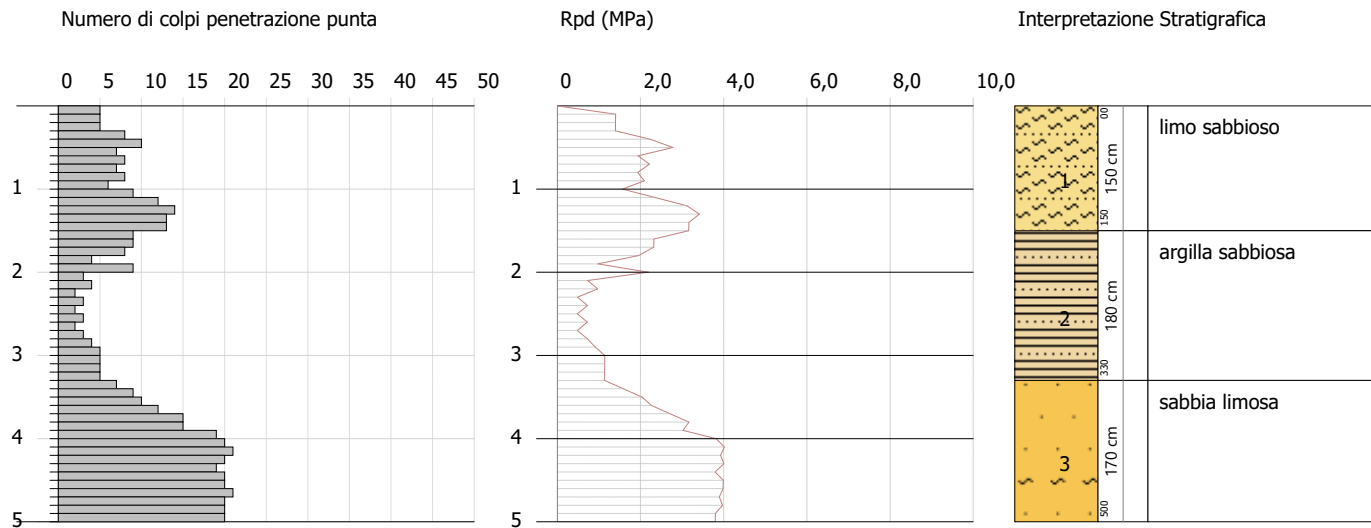
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPM04

Strumento utilizzato... DPM (DL030 10) (Medium)

Committente: Dott. Riccardo Rigolli
Descrizione: Impianto fotovoltaico
Localita': San Pietro in Casale

03/02/2026

Scala 1:100





STUDIO DI SCIENZE DELLA TERRA
MATTEO SIMONI GEOLOGO
VIA PORRETTANA 156
40033 CASALECCHIO DI RENO
TEL 051/0403138
MOBILE +39033558397418
matteo@matteosimoni.it
www.matteosimoni.com

progettazione di interventi di bonifica di siti contaminati
idrogeologia, ricerche idriche e pozzi per acqua
monitoraggi di versanti e controlli ambientali
geologia applicata e indagini geognostiche
interventi di ingegneria naturalistica
geofisica e sismologia

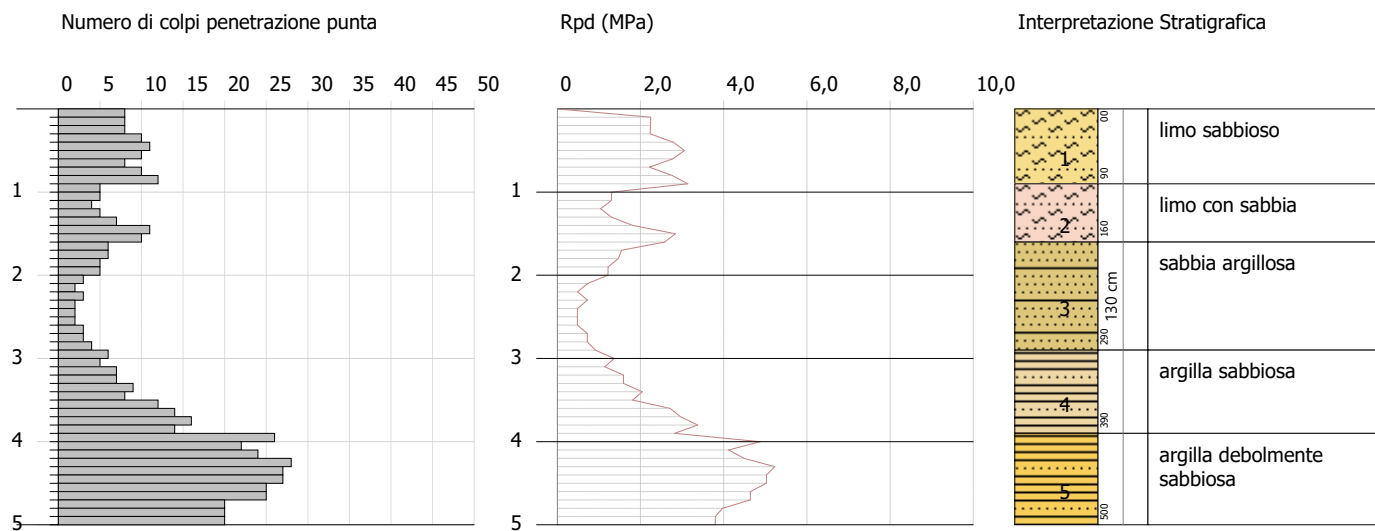
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPM05

Strumento utilizzato... DPM (DL030 10) (Medium)

Committente: Dott. Riccardo Rigolli
Descrizione: Impianto fotovoltaico
Localita': San Pietro in Casale

03/02/2026

Scala 1:100





STUDIO DI SCIENZE DELLA TERRA
MATTEO SIMONI GEOLOGO
VIA PORRETTANA 156
40033 CASALECCHIO DI RENO
TEL 051/0403138
MOBILE +3903355337418
matteo@matteosimoni.it
www.matteosimoni.com

progettazione di interventi di bonifica di siti contaminati
idrogeologia, ricerche idriche e pozzi per acqua
monitoraggi di versanti e controlli ambientali
geologia applicata e indagini geognostiche
interventi di ingegneria naturalistica
geofisica e sismologia

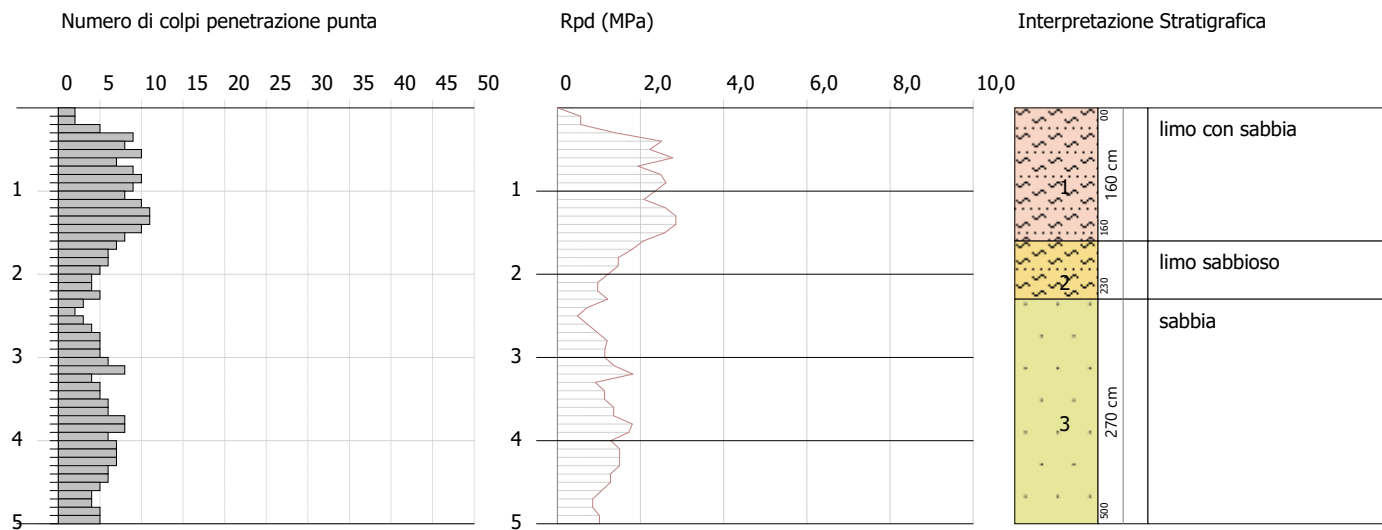
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPM06

Strumento utilizzato... DPM (DL030 10) (Medium)

Committente: Dott. Riccardo Rigolli
Descrizione: Impianto fotovoltaico
Localita': San Pietro in Casale

03/02/2026

Scala 1:100





STUDIO DI SCIENZE DELLA TERRA
MATTEO SIMONI GEOLOGO
VIA PORRETTANA 156
40033 CASALECCHIO DI RENO
TEL 051/0403138
MOBILE +3903355337418
matteo@matteosimoni.it
www.matteosimoni.com

*progettazione di interventi di bonifica di siti contaminati
idrogeologia, ricerche idriche e pozzi per acqua
monitoraggi di versanti e controlli ambientali
geologia applicata e indagini geognostiche
interventi di ingegneria naturalistica
geofisica e sismologia*

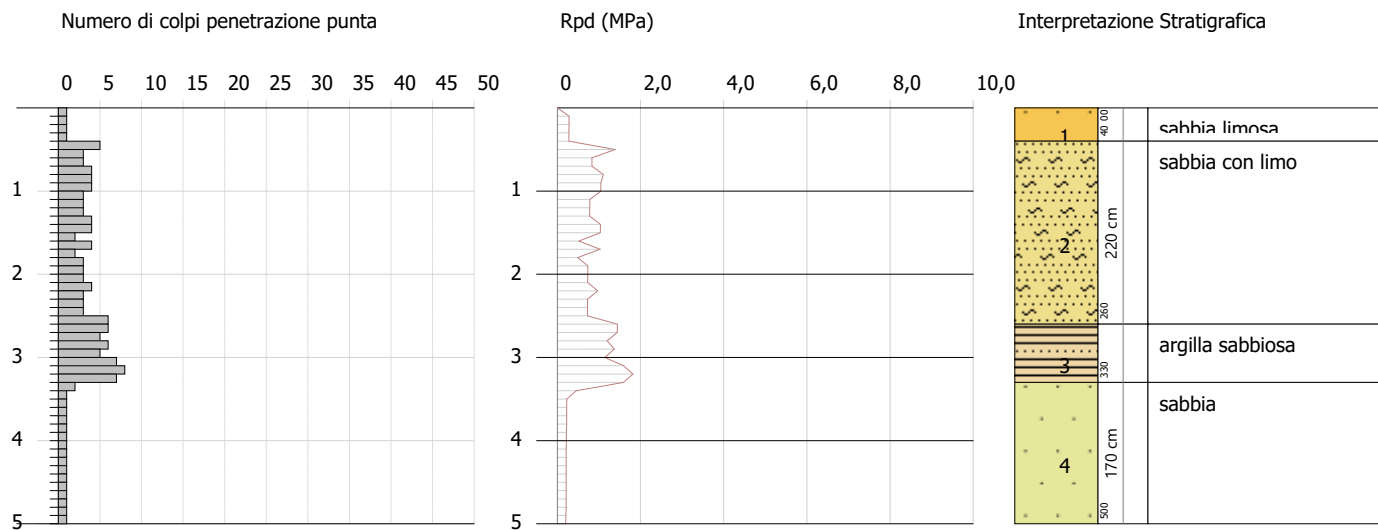
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPM07

Strumento utilizzato... DPM (DL030 10) (Medium)

Committente: Dott. Riccardo Rigolli
Descrizione: Impianto fotovoltaico
Localita': San Pietro in Casale

24/02/2026

Scala 1:100





STUDIO DI SCIENZE DELLA TERRA
MATTEO SIMONI GEOLOGO
VIA PORRETTANA 156
40033 CASALECCHIO DI RENO
TEL 051/0403138
MOBILE +39033558397418
matteo@matteosimoni.it
www.matteosimoni.com

*progettazione di interventi di bonifica di siti contaminati
idrogeologia, ricerche idriche e pozzi per acqua
monitoraggi di versanti e controlli ambientali
geologia applicata e indagini geognostiche
interventi di ingegneria naturalistica
geofisica e sismologia*

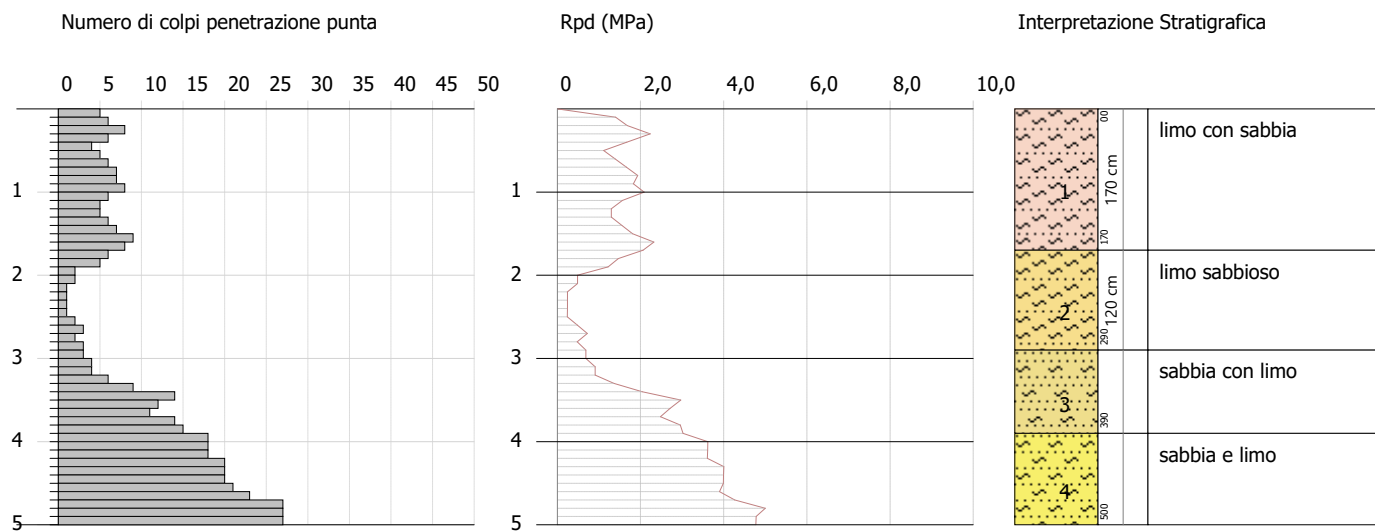
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPM08

Strumento utilizzato... DPM (DL030 10) (Medium)

Committente: Dott. Riccardo Rigolli
Descrizione: Impianto fotovoltaico
Localita': San Pietro in Casale

24/02/2026

Scala 1:100





STUDIO DI SCIENZE DELLA TERRA
MATTEO SIMONI GEOLOGO
VIA PORRETTANA 156
40033 CASALECCHIO DI RENO
TEL 051/0403138
MOBILE +3903355337418
matteo@matteosimoni.it
www.matteosimoni.com

*progettazione di interventi di bonifica di siti contaminati
idrogeologia, ricerche idriche e pozzi per acqua
monitoraggi di versanti e controlli ambientali
geologia applicata e indagini geognostiche
interventi di ingegneria naturalistica
geofisica e sismologia*

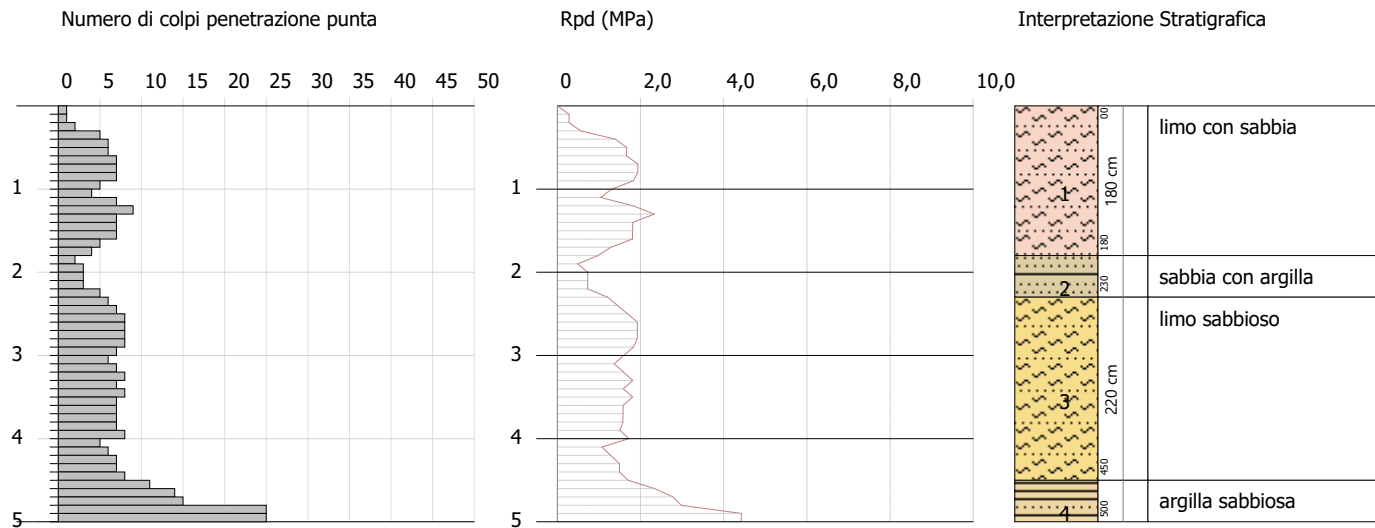
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPM09

Strumento utilizzato... DPM (DL030 10) (Medium)

Committente: Dott. Riccardo Rigolli
Descrizione: Impianto fotovoltaico
Localita': San Pietro in Casale

24/02/2026

Scala 1:100





STUDIO DI SCIENZE DELLA TERRA
MATTEO SIMONI GEOLOGO
VIA PORRETTANA 156
40033 CASALECCHIO DI RENO
TEL 051/0403138
MOBILE +3903355337418
matteo@matteosimoni.it
www.matteosimoni.com

progettazione di interventi di bonifica di siti contaminati
idrogeologia, ricerche idriche e pozzi per acqua
monitoraggi di versanti e controlli ambientali
geologia applicata e indagini geognostiche
interventi di ingegneria naturalistica
geofisica e sismologia

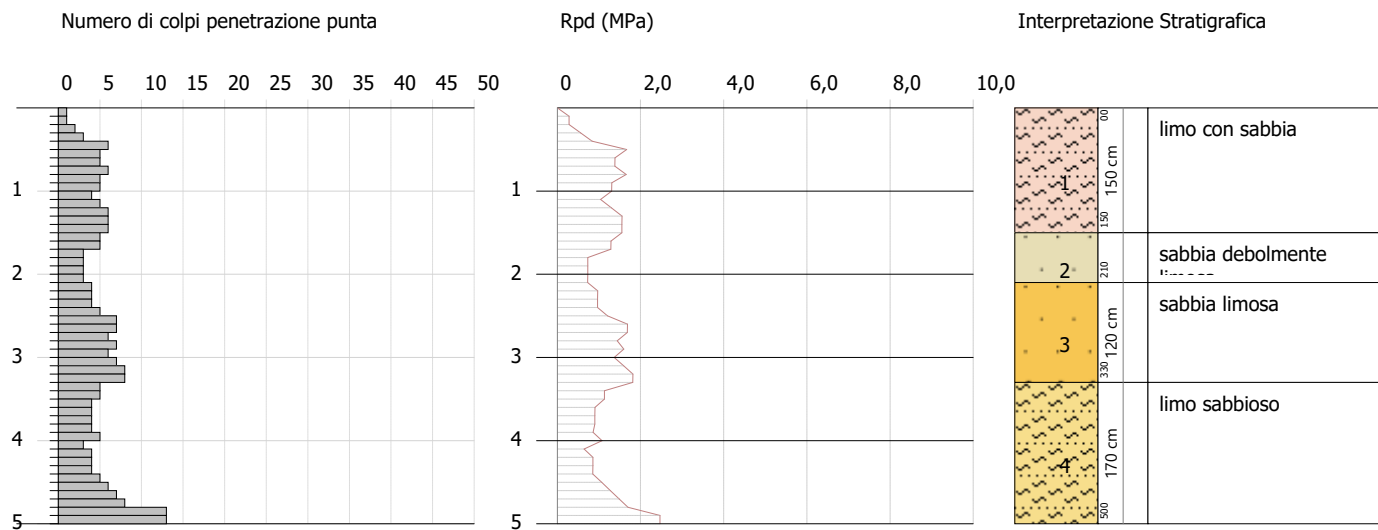
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPM10

Strumento utilizzato... DPM (DL030 10) (Medium)

Committente: Dott. Riccardo Rigolli
Descrizione: Impianto fotovoltaico
Localita': San Pietro in Casale

24/02/2026

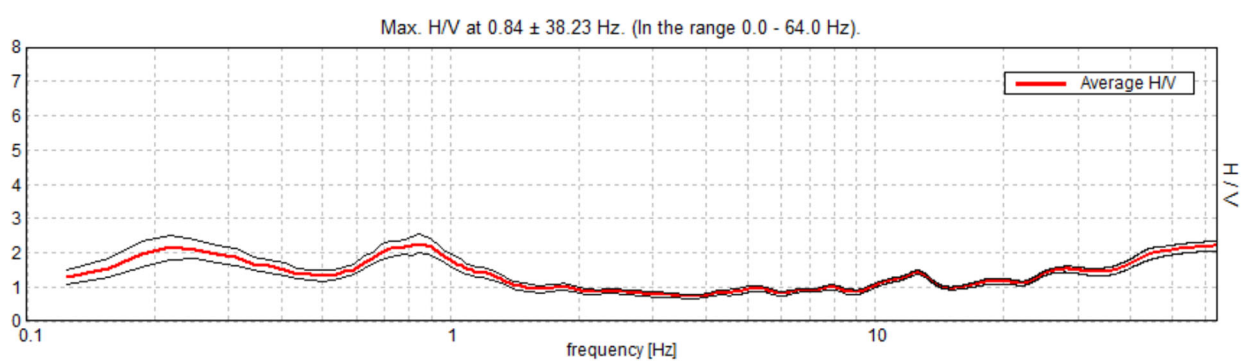
Scala 1:100



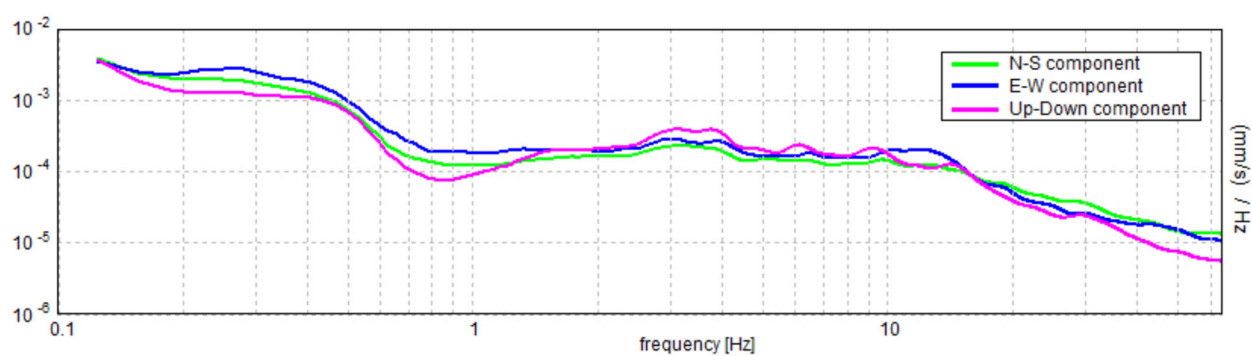
Allegato 3.
PROSPEZIONE DI SISMICA PASSIVA

Strumento:	TRZ-0079/01-10
Formato dati:	16 byte
Fondo scala [mV]:	n.a.
Inizio registrazione:	04/11/22 15:53:00
Fine registrazione:	04/11/22 16:13:01
Tipo di lisciamento:	<i>Triangular window</i>
Nomi canali:	NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
Dato GPS	non disponibile
Durata registrazione:	0 h 20'00"
Analisi effettuata	sull'intera traccia.
Frequenza di campionamento:	128 Hz
Lunghezza finestre:	20 s
Lisciamento:	10%

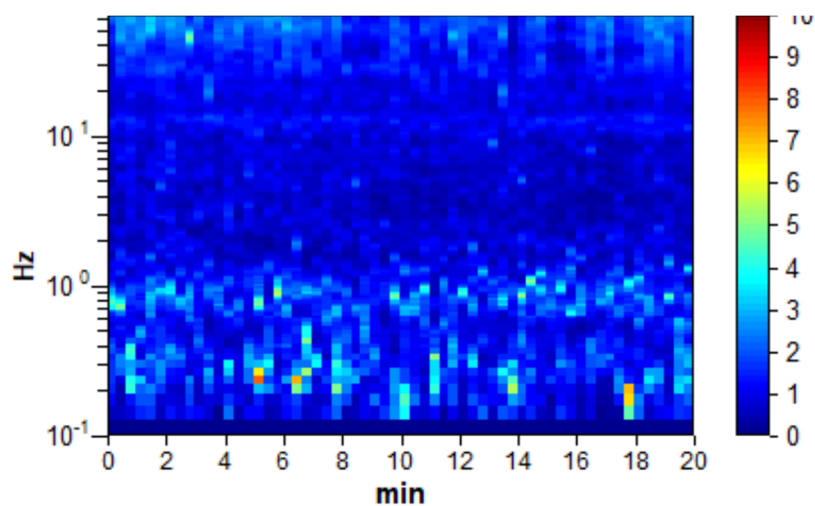
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



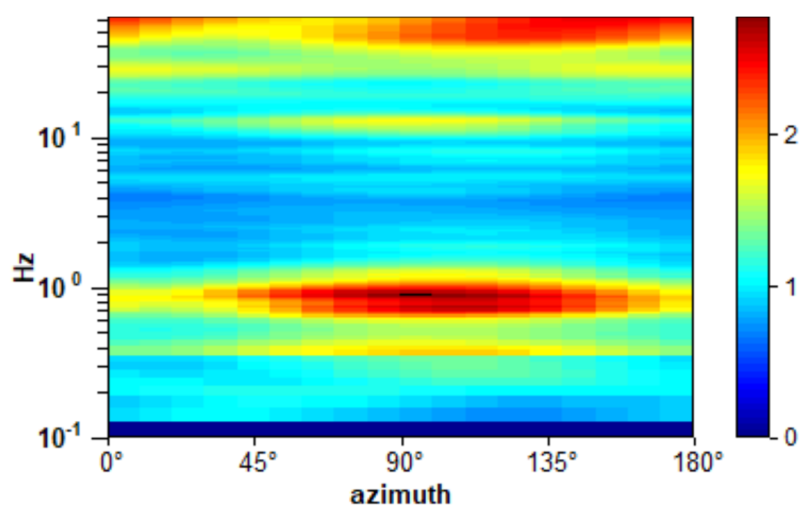
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



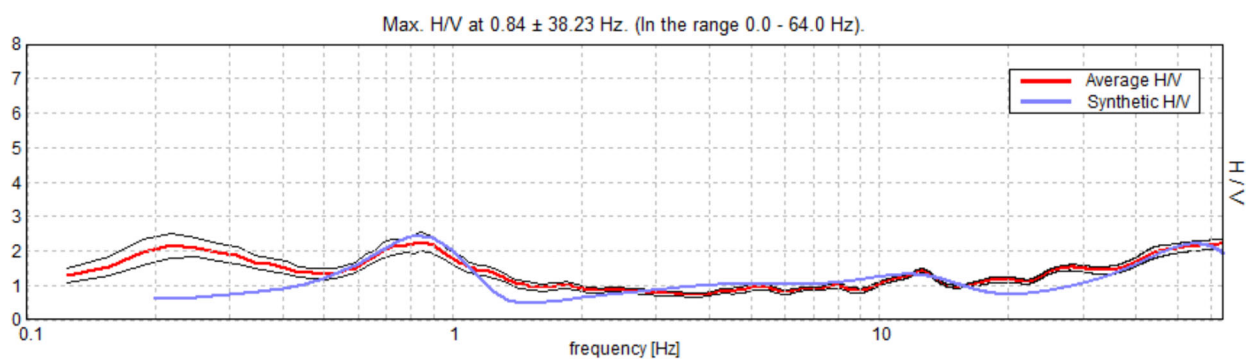
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V

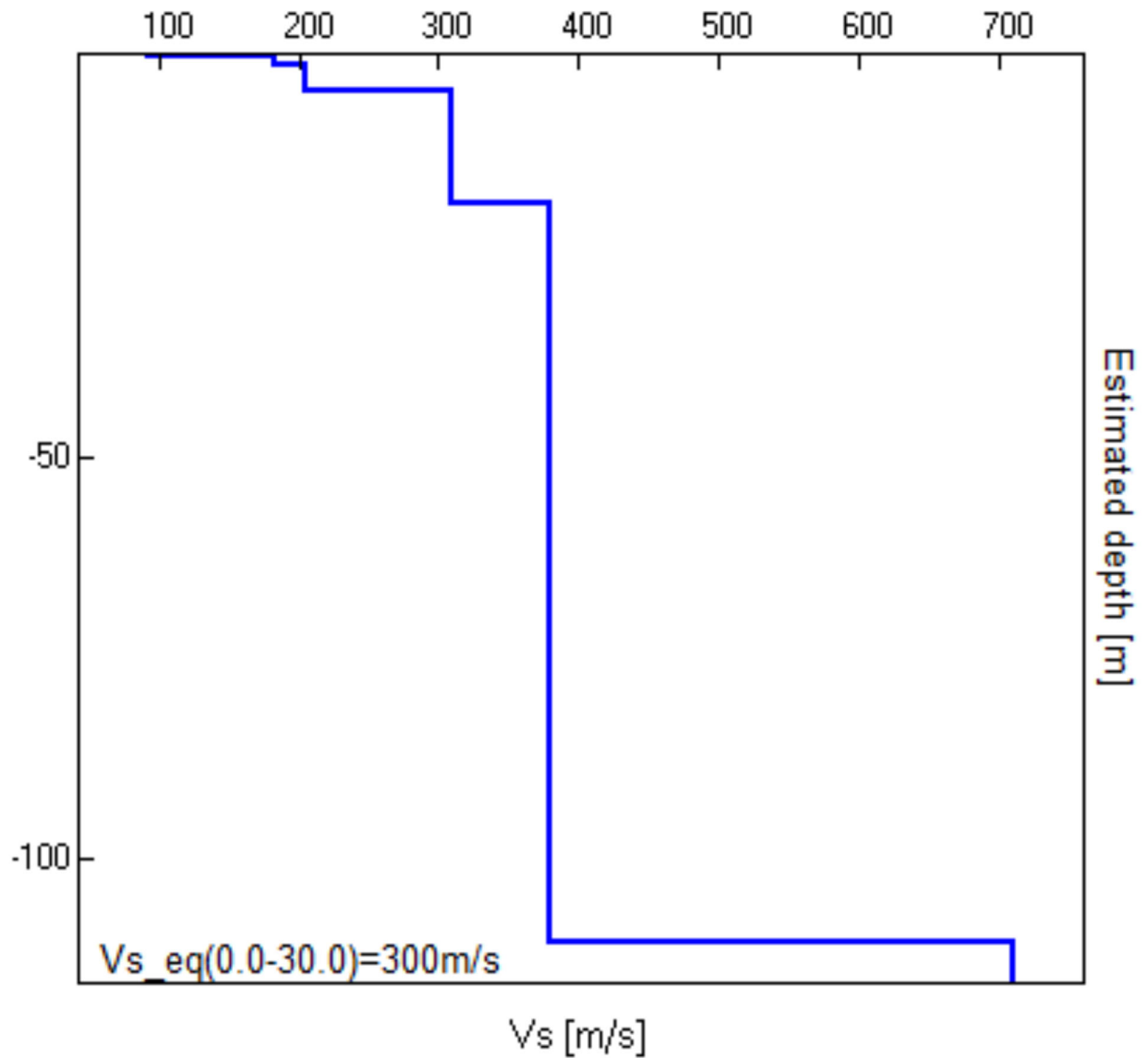


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
0,4	0,4	93	0,42
1,4	1,0	182	0,42
4,4	3,0	205	0,42
18,4	14,0	310	0,42
110,4	92,0	380	0,42
inferiore	0,0	710	0,42

$V_{s_eq}(0,0-30,0)=300 \text{ m/s}$



LINEE GUIDA SESAME (2005)

Picco H/V a $0,84 \pm 38,23$ Hz (nell'intervallo 0,0 - 64,0 Hz),

$f_0 > 10$ / L_w : $0,84 > 0,50$ [OK]

$nc(f_0) > 200$: $1012,5 > 200$ [OK]

$s_A(f) < 2$ for $0,5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0,5\text{Hz}$

$s_A(f) < 3$ for $0,5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0,5\text{Hz}$ Superato 0 volte su 42 [OK]

-1,0 Hz [NO]

Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$: $1,375$ Hz [OK]

$A_0 > 2$: $2,26 > 2$ [OK]

$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm s_A(f)] = f_0 \pm 5\%$: $|45,30415| < 0,05$ [NO]

$sf < e(f_0)$: $38,22538 < 0,12656$ [NO]

$s_A(f_0) < q(f_0)$: $0,2798 < 2,0$ [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

Allegato 4.
PARAMETRI SISMICI

Sito in esame.

latitudine: 44,689726
longitudine: 11,418413
Classe: 1
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 16065	Lat: 44,6662	Lon: 11,3823	Distanza: 3872,349
Sito 2 ID: 16066	Lat: 44,6674	Lon: 11,4525	Distanza: 3663,744
Sito 3 ID: 15844	Lat: 44,7174	Lon: 11,4508	Distanza: 4003,970
Sito 4 ID: 15843	Lat: 44,7162	Lon: 11,3805	Distanza: 4198,023

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: 35anni
Coefficiente cu: 0,7

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 30 [anni]
ag: 0,045 g
Fo: 2,487
Tc*: 0,257 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 35 [anni]
ag: 0,049 g
Fo: 2,488
Tc*: 0,261 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 332 [anni]
ag: 0,137 g
Fo: 2,585
Tc*: 0,273 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 682 [anni]
ag: 0,183 g
Fo: 2,556
Tc*: 0,278 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss: 1,500
Cc: 1,640
St: 1,000
Kh: 0,014
Kv: 0,007
Amax: 0,665
Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,490
Cc: 1,610
St: 1,000
Kh: 0,049
Kv: 0,024
Amax: 1,996
Beta: 0,240

SLD:

Ss: 1,500
Cc: 1,630
St: 1,000
Kh: 0,015
Kv: 0,007
Amax: 0,714
Beta: 0,200

SLC:

Ss: 1,420
Cc: 1,600
St: 1,000
Kh: 0,062
Kv: 0,031
Amax: 2,543
Beta: 0,240

Allegato 5.
VERIFICA DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo semplificato

Metodo di Andrus e Stokoe (1997) modificato

PARAMETRI:

γ	=	18,90	g/cm ³
σ_{vo}	=	12,29	kg/cm ²
σ_{vo}'	=	11,98	kg/cm ²
profondità dello strato considerato	=	650	cm
profondità falda	=	340	cm
γ_{H_2O}	=	1	g/cm ³
Pressione neutra	=	0,31	kg/cm ²
z	=	6,5	m
V_s	=	310	
V_{s1C}	=	200	m/s
V_{s1}	=	166,65	
M	=	6,0	
MSF	=	2,09	se $M \leq 7.5$
		1,77	se $M > 7.5$

FC<5%	FC=20%	FC>35%
220	210	200

R=	Resistenza al taglio mobilitata
T=	Sforzo di taglio indotto dal sisma
FC=	Frazione di fine (%) contenuto nella sabbia
V_s =	Velocità dell'onda di taglio S

FORMULE:

V_{s1}	=	$V_s(1/\sigma_{vo}')^{0.25}$	
R	=	$0,03 * (V_{s1}/100)^2 + (0,9/(V_{s1C}-V_{s1})) - (0,9/V_{s1C})$	
T	=	$0,65 * ((a_{max}/g) * (\sigma_{vo}/\sigma_{vo}')) * r_d * 1/MSF$	se $M \leq 7.5$ se $M > 7.5$
a_{max}/g	=	0,137	
r_d	=	0,950	
$F_s = R/T$	>	1	se $M \leq 7.5$ se $M > 7.5$

RISULTATI:

		166,65	V_{s1}
=		0,106	R
=		0,042	$T_{M \leq 7,5}$
		0,049	$T_{M > 7,5}$
=		2,545	Verificato F_s
		2,157	Verificato F_s

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo semplificato

Metodo di Andrus e Stokoe (1997) modificato

PARAMETRI:

γ	=	18,90	g/cm ³
σ_{vo}	=	35,91	kg/cm ²
σ_{vo}'	=	34,35	kg/cm ²
profondità dello strato considerato	=	1900	cm
profondità falda	=	340	cm
γ_{H_2O}	=	1	g/cm ³
Pressione neutra	=	1,56	kg/cm ²
z	=	19	m
V_s	=	380	
V_{s1C}	=	200	m/s
V_{s1}	=	156,96	
M	=	6,0	
MSF	=	2,09	se $M \leq 7.5$
		1,77	se $M > 7.5$

FC<5%	FC=20%	FC>35%
220	210	200

R=	Resistenza al taglio mobilitata
T=	Sforzo di taglio indotto dal sisma
FC=	Frazione di fine (%) contenuto nella sabbia
V_s =	Velocità dell'onda di taglio S

FORMULE:

RISULTATI:

V_{s1}	=	$V_s(1/\sigma_{vo}')^{0.25}$			156,96	V_{s1}
R	=	$0,03 * (V_{s1}/100)^2 + (0,9/(V_{s1C}-V_{s1})) - (0,9/V_{s1C})$		=	0,090	R
T	=	$0,65 * ((a_{max}/g) * (\sigma_{vo}/\sigma_{vo}')) * r_d * 1/MSF$	se $M \leq 7.5$	=	0,030	$T_{M \leq 7,5}$
			se $M > 7.5$		0,035	$T_{M > 7,5}$
a_{max}/g	=	0,137				
r_d	=	0,667				
$F_s=R/T$	>	1	se $M \leq 7.5$	=	3,039	Verificato F_s
			se $M > 7.5$		2,576	Verificato F_s

Clausola di esclusione di responsabilità

Questo documento è stato preparato dal Geol. Matteo Simoni per il Dott. Agr. Riccardo Rigolli (Committente) secondo le modalità concordate con il personale tecnico professionista nominato dal Committente, esercitando il proprio giudizio professionale sulla base delle conoscenze disponibili, utilizzando personale di adeguata competenza, prestando la massima cura e l'attenzione possibili in funzione delle risorse umane e finanziarie allocate all'incarico professionale.

Lo *standard* del servizio prestato va valutato in funzione del momento, delle condizioni e delle conoscenze in cui lo stesso è stato fornito e non potrà essere valutato secondo modelli convenzionali o conoscenze disponibili in momenti successivi.

Le raccomandazioni e le opinioni presentate in questo elaborato sono fornite sulla base della propria esperienza e del proprio giudizio professionale e non costituiscono garanzie e/o certificazioni.

Questo rapporto è destinato ad uso esclusivo del Committente.

Il Geol. Matteo Simoni non si assume responsabilità alcuna nei confronti di terzi a cui sia consegnato, in tutto o in parte, questo rapporto, fatto salvo il fatto che la diffusione a terzi di questo rapporto sia stata preliminarmente concordata formalmente con il Geol. Matteo Simoni.

I terzi sopra citati che utilizzino per qualsivoglia scopo i contenuti di questo rapporto lo fanno a loro esclusivo rischio e pericolo.

Il Geol. Matteo Simoni non si assume alcuna responsabilità nei confronti del Committente e nei confronti di terzi in relazione a qualsiasi elemento non incluso nello scopo del lavoro preventivamente concordato.

.....

PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO FOTOVOLTAICO A TERRA IN LOCALITÀ RUBIZZANO

RELAZIONE GEOLOGICA E DI MODELLIZZAZIONE SISMICA

è stato preparato e controllata dal Dott. Geol. Matteo Simoni,

si compone di 32 pagine di testo, 4 tavole e 5 allegati per 61 fogli complessivi ed è stato trasmesso secondo la seguente lista di distribuzione:

copie	destinatario	formato
1	Dott. Agr. Riccardo Rigolli Studio Rigolli Via Begatto 1 40125 Bologna BO	<input checked="" type="checkbox"/> digitale <input type="checkbox"/> cartaceo