

| | | | | | |
|------|--------------|---------------------|-----------------------|-------------|------------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| 00 | gennaio/2023 | PROGETTO DEFINITIVO | SGI INGEGNERIA S.R.L. | COCCIOLA | CAMPANELLA |
| REV. | DATA | DESCRIZIONE | PREPARATO | CONTROLLATO | APPROVATO |

Sol.In.Cal.

Stradone Porta Palio 76 - 37122 VERONA
Tel/Fax +39 091 7829785 - Tel/Fax +39 091 7829080
Codice fiscale e P. IVA 05901790823



C. & C. Consulting Engineering S.r.l.

Ing. Vito Aurelio Campanella
(Project Manager)



SGI INGEGNERIA S.r.l.

Dott. Geol. Linda Collina



ELABORATO

FV-SAG-PD-R10-0

FORMATO ELABORATO: A4

REV. 00

**IMPIANTO FOTOVOLTAICO DI POTENZA IN
IMMISSIONE PARI A 5.500,00 kW
SITO NEL COMUNE DI TERRE DEL RENO (FE)
DENOMINATO "SANT'AGOSTINO"**

RELAZIONE GEOLOGICO-TECNICA E SISMICA

SOSTITUISCE IL

| | | | |
|--|---|----------------------|---------------------------|
| Progetto: IMPIANTO FOTOVOLTAICO DI POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 5.500,00 kW SITO NEL COMUNE DI TERRE DEL RENO (FE) DENOMINATO "SANT'AGOSTINO" E OPERE CONNESSE | Identificativo Documento n. FV-SAG-PD-R10-0 | Rev. 0 | Pagina 1/41 |
|--|---|----------------------|---------------------------|

SOMMARIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | INTRODUZIONE | 2 |
| 1.1 | Premessa..... | 2 |
| 1.2 | Normativa di riferimento..... | 2 |
| 1.3 | Documentazione consultata, raccolta e/o elaborata | 3 |
| 2 | INQUADRAMENTO AREA D'INDAGINE | 4 |
| 2.1 | Inquadramento territoriale | 4 |
| 2.2 | Inquadramento catastale | 5 |
| 2.3 | Stato attuale dell'area | 6 |
| 2.4 | Inquadramento geologico e tettonico..... | 8 |
| 2.5 | Inquadramento stratigrafico | 10 |
| 2.6 | Inquadramento geomorfologico..... | 13 |
| 2.7 | Inquadramento idrogeologico generale..... | 17 |
| 2.8 | Sismicità | 20 |
| 3 | INDAGINI ANALIZZATE | 23 |
| 3.1 | Prove Penetrometriche Statiche con piezocono (CPTU e SCPTU)..... | 23 |
| 3.1.1 | Risultati delle prove..... | 24 |
| 3.1.2 | Caratteristiche litostratigrafiche locali..... | 25 |
| 4 | CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE | 26 |
| 4.1 | Classificazione sismica del sito | 26 |
| 4.2 | Magnitudo di riferimento | 28 |
| 4.3 | Classificazione sismica del sottosuolo secondo il DM 17/01/2018 | 30 |
| 5 | VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE..... | 33 |
| 5.1 | Generalità sul fenomeno | 33 |
| 5.2 | Valutazione del rischio di liquefazione del sito..... | 33 |
| 5.2.1 | Valutazione del rischio di liquefazione del sito | 36 |
| 7 | STIMA DELLA RESISTENZA DEL SISTEMA GEOTECNICO | 39 |
| 7.1 | Premessa..... | 39 |
| 7.2 | Parametri e coefficienti sismici determinati in base al D.M. 17/01/18..... | 39 |

| | | | |
|---|---|------------------|-----------------------|
| Progetto: IMPIANTO FOTOVOLTAICO DI POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 5.500,00 kW SITO NEL COMUNE DI TERRE DEL RENO (FE) DENOMINATO "SANT'AGOSTINO" E OPERE CONNESSE | Identificativo Documento n. FV-SAG-PD-R10-0 | Rev. 0 | Pagina 2/41 |
|---|---|------------------|-----------------------|

1 INTRODUZIONE

1.1 Premessa

Il presente documento è redatto a supporto della documentazione per l'avvio del procedimento di Autorizzazione Unica relativo all'impianto fotovoltaico denominato "Sant'Agostino", situato a Sant'Agostino nel Comune di Terre del Reno (FE) e alle opere connesse.

Al fine di identificare le caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni oggetto del suddetto progetto, sono state analizzate alcune prove geotecniche e geognostiche condotte nei pressi dell'area di progetto. Tali indagini sono state considerate valide ed esaustive anche per i terreni dell'area di interesse in quanto gli studi di livello Comunale, Provinciale e Regionale mostrano caratteristiche geologiche, sismiche e idrogeologiche equivalenti a quelle che caratterizzano il sito "Terre del Reno". A tal fine sono state analizzate:

- n°2 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU) approfondita sino a -20 metri dall'attuale piano campagna;
- n°1 prova penetrometrica statica con piezocono sismico (SCPTU) approfondita sino a -30 metri dall'attuale piano campagna.

1.2 Normativa di riferimento

Il presente studio è stato svolto in riferimento alle indicazioni fornite dal quadro normativo nazionale e regionale di seguito descritto.

- **D.M. LL. PP. 11/3/88** "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce"
- **OPCM n. 3274 del 20/3/03** "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica";
- **DGR Emilia Romagna del 21 luglio 2003** con oggetto: Prime disposizioni di attuazione dell'OPCM n. 3274/2003 recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", con particolare riferimento all'allegato A, "Classificazione sismica dei comuni dell'Emilia Romagna";
- **OPCM n. 3316 del 20/10/2003** "Modifiche ed integrazioni all'ordinanza n. 3274 del 20/3/03";
- Dipartimento della Protezione Civile – Ufficio Servizio Sismico Nazionale. Nota esplicativa dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/3/03. Data: 4 giugno 2003;
- Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3431 del 3/5/05;
- **Delibera di Giunta Regionale n. 1302 del 10 settembre 2012** "Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione e concessione dei contributi di cui all'OPCM 4007/2012 a favore degli Enti locali";
- **Delibera di Giunta Regionale n. 2193 del 21 dicembre 2015** "Aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico denominato "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica" di cui alla Deliberazione dell'Assemblea Legislativa 2 maggio 2007, n. 112;
- **D.M. 17 gennaio 2018** – Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni";

| | | | |
|---|---|------------------|-----------------------|
| Progetto: IMPIANTO FOTOVOLTAICO DI POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 5.500,00 kW SITO NEL COMUNE DI TERRE DEL RENO (FE) DENOMINATO "SANT'AGOSTINO" E OPERE CONNESSE | Identificativo Documento n. FV-SAG-PD-R10-0 | Rev. 0 | Pagina 3/41 |
|---|---|------------------|-----------------------|

- **Delibera della Giunta Regionale n. 1164** del 23 Luglio 2018 "Aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei Comuni dell'Emilia Romagna" BURERT n. 263 del 08/08/2018 periodico (parte seconda);
- **Delibera della Giunta Regionale n. 630** del 29/04/2019. "Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica".
- **Delibera della Giunta Regionale n.476** del 12/04/2021 "*Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica*", successivamente aggiornato dalla Delibera della Giunta Regionale n.564 del 26/04/2021.

Fra le norme sopra elencate di particolare importanza per lo studio in oggetto sono:

- l'OPCM n. 3274 del 20/3/03: classifica il territorio nazionale in zone sismiche con 4 livelli di pericolosità;
- DGR n. 2193 del 21/12/2015 aggiornata dalla DGR 630 del 29/04/2019 e successivamente dalle DGR 476 del 12/04/2021 e 564 del 26/04/2021: rappresenta l'aggiornamento degli indirizzi regionali per gli studi di Microzonazione sismica (MS) per la pianificazione urbanistica.
- D.M. 17 gennaio 2018: noto come testo unico delle costruzioni, che disciplina la progettazione, esecuzione, collaudo e manutenzione delle costruzioni, sia in zona sismica che in zona non sismica; fornisce inoltre disposizioni riguardo all'azione sismica di progetto.

1.3 Documentazione consultata, raccolta e/o elaborata

Nelle seguenti tabelle è riportato l'elenco della documentazione elaborata ai fini della redazione della presente relazione; come precisato nelle stesse tabelle, alcuni documenti e/o estratti sono stati allegati.

| Tab. 1.1 – Documentazione allegata | | |
|---|--|---------------------------------|
| N. | Estremi documenti | Oggetto e/o osservazioni |
| Tav. 1 | Carta ubicazione indagini geotecniche eseguite | Elaborato |

| Tab. 1.2 – Documentazione allegata | | |
|---|--|---------------------------------|
| N. | Estremi documenti | Oggetto e/o osservazioni |
| All. 1 | Tabulati SCPTU-CPTU | Elaborato |
| All. 2 | Elaborazione Vs30 | |
| All. 3 | Calcolo rischio di potenziale liquefazione | |

| | | | |
|---|---|------------------|-----------------------|
| Progetto: IMPIANTO FOTOVOLTAICO DI POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 5.500,00 kW SITO NEL COMUNE DI TERRE DEL RENO (FE) DENOMINATO "SANT'AGOSTINO" E OPERE CONNESSE | Identificativo Documento n. FV-SAG-PD-R10-0 | Rev. 0 | Pagina 4/41 |
|---|---|------------------|-----------------------|

2 INQUADRAMENTO AREA D'INDAGINE

2.1 Inquadramento territoriale

L'area individuata per la realizzazione dell'impianto fotovoltaico è ubicata nel comune di Terre Del Reno (FE), a nord di Sant'Agostino lungo il prolungamento di via del Commercio. L'area ha una superficie complessiva pari a circa 9,9 ha e confina:

- a nord con la SP70 oltre cui sono presenti aree agricole, residenziali e produttive;
- a sud con il prolungamento di Via del Commercio oltre cui sono presenti aree agricole;
- ad ovest con un'area agricola;
- ad est con il canale Scolo Principale Consorziale Riolo.



Fig. 2.1 – Ubicazione dell'area di progetto (fonte Google Earth)

Ad una distanza di circa 500 m in direzione ovest è presente una ulteriore area agricola su cui verrà realizzato un altro impianto fotovoltaico con pannelli a terra, autorizzato con DET-AMB-2022-4042 del 08/08/2022 della Regione Emilia-Romagna, sito in cui sono state condotte le indagini di caratterizzazione geologica e geotecnica sito specifica che sono state adottate e analizzate per la redazione del presente documento.

| | | | |
|---|---|------------------|-----------------------|
| Progetto: IMPIANTO FOTOVOLTAICO DI POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 5.500,00 kW SITO NEL COMUNE DI TERRE DEL RENO (FE) DENOMINATO "SANT'AGOSTINO" E OPERE CONNESSE | Identificativo Documento n. FV-SAG-PD-R10-0 | Rev. 0 | Pagina 5/41 |
|---|---|------------------|-----------------------|



Fig. 2.2 – Ubicazione dell'area individuata per la realizzazione dell'impianto fotovoltaico (fonte Google Earth)

2.2 Inquadramento catastale

Da un punto di vista catastale, le particelle interessate dal progetto sono le numero 11, 14, 15, 16, 31, 44, 45, 46, 50, 62, 63, 64, 75, 76, 77, 79, 80, 125, 128, 131, 134, 137, 140, 143, 146, 149, 152, 153 del foglio 45/B dello stesso Comune sezione Sant'Agostino.

| | | | |
|---|---|------------------|-----------------------|
| Progetto: IMPIANTO FOTOVOLTAICO DI POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 5.500,00 kW SITO NEL COMUNE DI TERRE DEL RENO (FE) DENOMINATO "SANT'AGOSTINO" E OPERE CONNESSE | Identificativo Documento n. FV-SAG-PD-R10-0 | Rev. 0 | Pagina 6/41 |
|---|---|------------------|-----------------------|

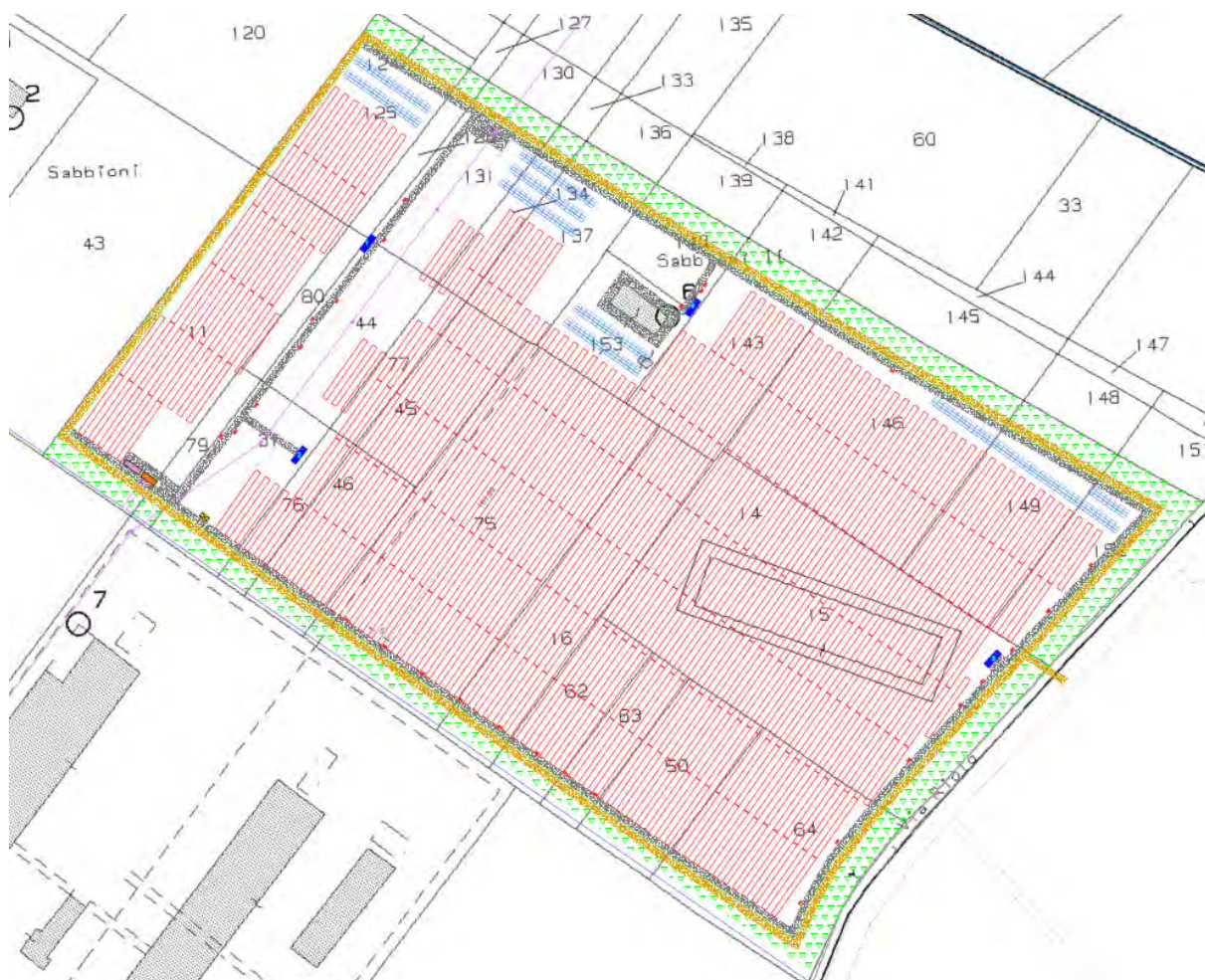


Fig. 2.3 – Stralcio planimetria catastale (stralcio elab. FV-SAG-PD-T2-0)

2.3 Stato attuale dell'area

L'area individuata per la realizzazione dell'impianto fotovoltaico ricade su terreno classificato in zona agricola E1, così come si evince dal PRG comunale, di cui se ne riporta uno stralcio in Fig. 2.4. Il PTCP individua l'area come "ambito produttivo di nuova previsione", ossia zone destinate ad insediamenti artigianali, commerciali e turistici di nuovo impianto.

| | | | |
|---|---|------------------|-----------------------|
| Progetto: IMPIANTO FOTOVOLTAICO DI POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 5.500,00 kW SITO NEL COMUNE DI TERRE DEL RENO (FE) DENOMINATO "SANT'AGOSTINO" E OPERE CONNESSE | Identificativo Documento n. FV-SAG-PD-R10-0 | Rev. 0 | Pagina 7/41 |
|---|---|------------------|-----------------------|

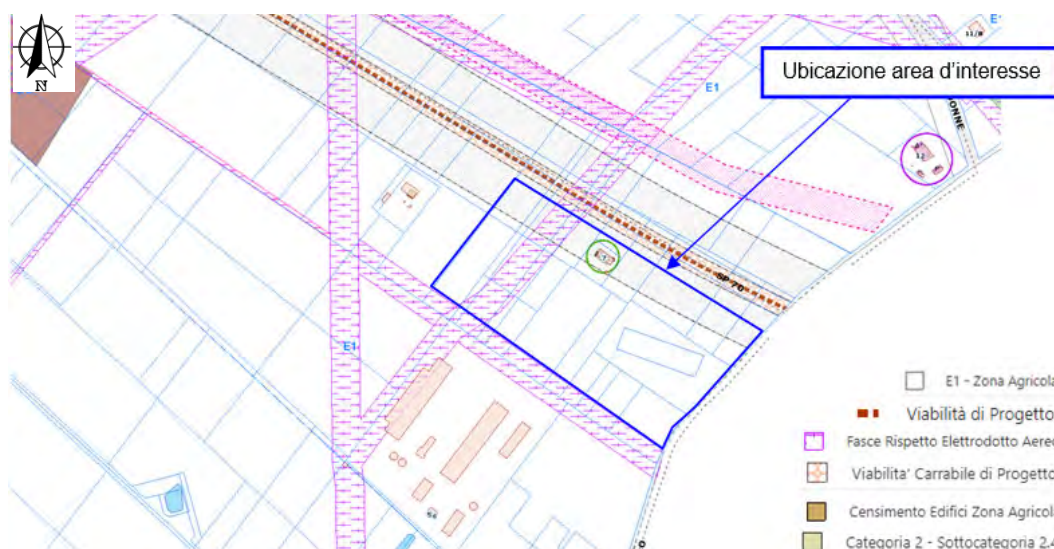


Fig. 2.4 – Stralcio PRG Comune di Terre del Reno e, in rosso, individuazione area d'intervento
https://sitcomuniweb.geographics.eu/Html5Viewer/index.html?LOCALE=it-IT&viewer=TERRE_DEL_RENO.TERRE_DEL_RENO

Al momento l'area si presenta come un insieme di campi agricoli con sporadica presenza di qualche elemento di vegetazione nei pressi dell'edificio esistente, ormai in disuso e in stato di decadenza, privi di significatività e/o qualità, così come la vegetazione arbustiva spontanea nella porzione centro-est del sito.

Di seguito si riportano alcune foto dell'area.



Fig. 2.5 - Vista del fabbricato esistente da confine sud



Fig. 2.6 - Vista del confine con la Cispadana (confine nord dell'area)

| | | | |
|---|---|------------------|-----------------------|
| Progetto: IMPIANTO FOTOVOLTAICO DI POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 5.500,00 kW SITO NEL COMUNE DI TERRE DEL RENO (FE) DENOMINATO "SANT'AGOSTINO" E OPERE CONNESSE | Identificativo Documento n. FV-SAG-PD-R10-0 | Rev. 0 | Pagina 8/41 |
|---|---|------------------|-----------------------|



Fig. 2.7 - Vista del confine est dell'area fotografato da via Passo



Fig. 2.8 - Vista della vegetazione arbustiva nella porzione est dell'area



Fig. 2.9 - Vista d'insieme dal prolungamento di via del Commercio (confine sud)

2.4 Inquadramento geologico e tettonico

L'area oggetto di studio rientra nel territorio "intercomunale dell'Alto Ferrarese", il quale a sua volta fa parte del settore meridionale del grande bacino subsidente padano. Questo ampio bacino sedimentario, la cui genesi ha avuto inizio nel Terziario (65 milioni di anni fa), rappresenta un'avanfossa per entrambe le catene montuose dalle quali esso è delimitato: le Alpi Meridionali (o Sudalpino) a Nord ed il margine settentrionale degli Appennini a Sud. Per questo motivo la sua evoluzione strutturale è connessa con la dinamica degli eventi che hanno interessato le placche litosferiche Africana ed Eurasiatica, ed hanno prodotto una tettonica compressiva con accorciamento crostale per convergenza e collisione. Questo tipo di tettonica è responsabile della formazione di gruppi di pieghe e di un fitto sistema di faglie con direzione NNW-SSE, WNW-ESE e N-S, con conseguente suddivisione dell'area padana in settori dislocati da paleofaglie e con evoluzione differenziata. In particolare si possono distinguere:

- gruppi di pieghe ad andamento NW-SE, interessati da frequenti ondulazioni assiali asimmetriche, con vergenza verso N e con un'immersione generale verso SE;

| | | | |
|---|---|------------------|-----------------------|
| Progetto: IMPIANTO FOTOVOLTAICO DI POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 5.500,00 kW SITO NEL COMUNE DI TERRE DEL RENO (FE) DENOMINATO "SANT'AGOSTINO" E OPERE CONNESSE | Identificativo Documento n. FV-SAG-PD-R10-0 | Rev. 0 | Pagina 9/41 |
|---|---|------------------|-----------------------|

- un fitto sistema di faglie con direzione NNW-SSE, WNW-ESE e N-S, con la suddivisione dell'area padana in settori dislocati da paleofaglie che hanno determinato situazioni di bacino e di alto locale, caratterizzati da una diversa evoluzione.

L'assetto geotettonico dell'area in esame è sicuramente da ricondurre alla presenza in profondità del sistema denominato "*Arco delle pieghe ferraresi e romagnole*" ubicate nella parte Nord-Est dell'Appennino emiliano orientale, e caratterizzanti l'intero territorio della Provincia di Ferrara.

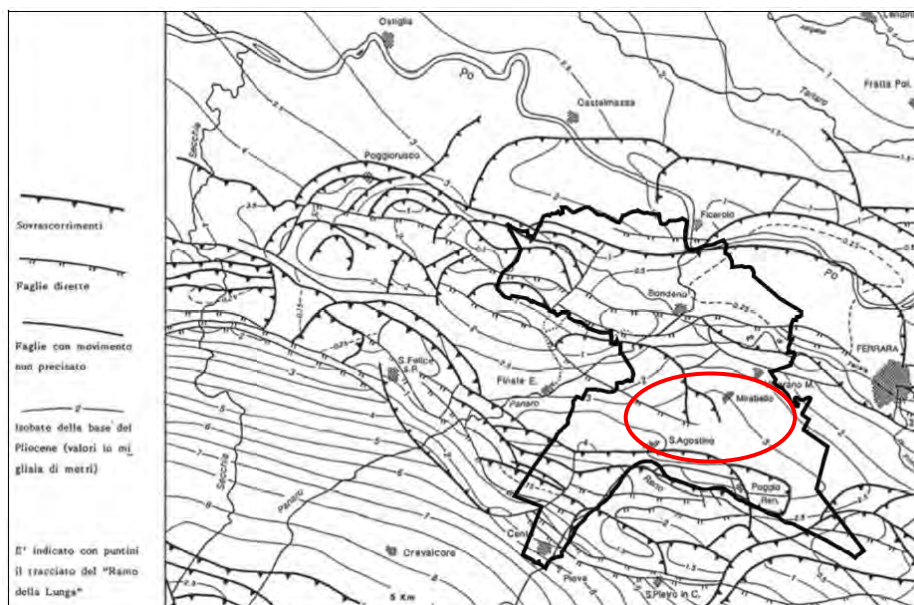


Fig. 2.10 – Stralcio della Carta Strutturale della base del Pliocene, area di studio in rosso

L'unità dominante delle pieghe ferraresi è senza dubbio la "*Dorsale Ferrarese*", costituita da pieghe, pieghe-faglie e faglie molto inclinate ad orientamento WNW-ESE, vergenti verso NNE, la quale già nel Pliocene aveva funzione di alto strutturale. La Dorsale Ferrarese è localizzata nell'area centro-occidentale della provincia ferrarese tra Ferrara e le Valli di Comacchio; le sue culminazioni principali sono costituite dalle anticlinali di Ficarolo, di Poggio Rusco, di Mirandola e di Novi-Correggio. La peculiarità di questo sistema di pieghe è che costituiscono un alto strutturale del substrato calcareo Mesozoico, con riduzione o assenza dei sovrastanti sedimenti terziari, asportati dall'azione dei processi erosivi legati all'emersione dell'area durante il Pleistocene medio. Ai lati della Dorsale si sono impostate, invece, due zone a forte subsidenza: nella regione del delta a Nord e nel Ravennate a Sud; in particolare, a Sud della Dorsale s'individua il bacino Emiliano-Romagnolo dove la base del Pliocene si approfondisce rapidamente, così come a Nord verso la fossa Padano-Adriatica.

La struttura è disposta secondo la direzione WNW-ESE lungo una linea passante fra Bondeno e Poggio Rusco dove la profondità della base del Pliocene varia tra i 400 e i 600 m. Gli assi delle pieghe facenti parte di questo complesso hanno andamento circa W-E e si individuano faglie inverse con andamento preferenziale vergente verso Nord e perpendicolare agli assi delle pieghe stesse.

| | | | |
|---|---|------------------|------------------------|
| Progetto: IMPIANTO FOTOVOLTAICO DI POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 5.500,00 kW SITO NEL COMUNE DI TERRE DEL RENO (FE) DENOMINATO "SANT'AGOSTINO" E OPERE CONNESSE | Identificativo Documento n. FV-SAG-PD-R10-0 | Rev. 0 | Pagina 10/41 |
|---|---|------------------|------------------------|

2.5 Inquadramento stratigrafico

La complessa storia geologica della Pianura Padana, affiancata all'azione della rete idrografica, di trasporto e sedimentazione dei materiali provenienti dall'erosione delle terre emerse, hanno portato ad avere spessori di sedimenti che vanno da circa 200 m in corrispondenza dell'alto strutturale della Dorsale Ferrarese, a oltre 3000 m nella zona corrispondente al litorale attuale. L'assenza di affioramenti di terreni prequaternari nella zona studiata, rende indispensabile, per la ricostruzione della serie stratigrafica, l'ausilio delle stratigrafie dei pozzi per idrocarburi. Da queste è possibile distinguere due unità strutturali principali:

- Unità Profonda antecedente a ~3.55 milioni di anni fa e costituita da sedimenti del Messiniano e Pliocene inferiore;
- Unità Superiore posteriore a ~3.55 milioni di anni fa e costituita da sedimenti del Pliocene medio-superiore e del Quaternario in concomitanza tra loro.

Ai fini del presente documento, i sedimenti di interesse fanno parte dell'unità superiore, ovvero quella più recente, di età olocenica (meno di 10.000 anni), molti dei quali depositati negli ultimi duemila anni.

I terreni della successione sedimentaria superficiale sono stati raggruppati nel Supersistema Emiliano-Romagnolo, suddiviso nel Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI) e nel Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) in base ai criteri della stratigrafia fisica. In particolare, per la classificazione stratigrafica dei depositi quaternari di pianura, a fini cartografici, la Regione Emilia-Romagna ha adottato il criterio di classificazione delle litologie e degli ambienti deposizionali. Tale criterio di classificazione permette di caratterizzare i sedimenti di pianura sia sulla base della loro composizione litologica (ghiaie, sabbie, alternanza di sabbie e limi, ecc.) sia dell'ambiente in cui si sono deposte (alluvionale di canale, deltizio di area interdistributrice, ecc.). Si possono così distinguere fra loro litologie in prima approssimazione simili, ma con geometrie e relazioni laterali e verticali dei corpi geologici molto diverse, in base al contesto sedimentario in cui si sono originati.

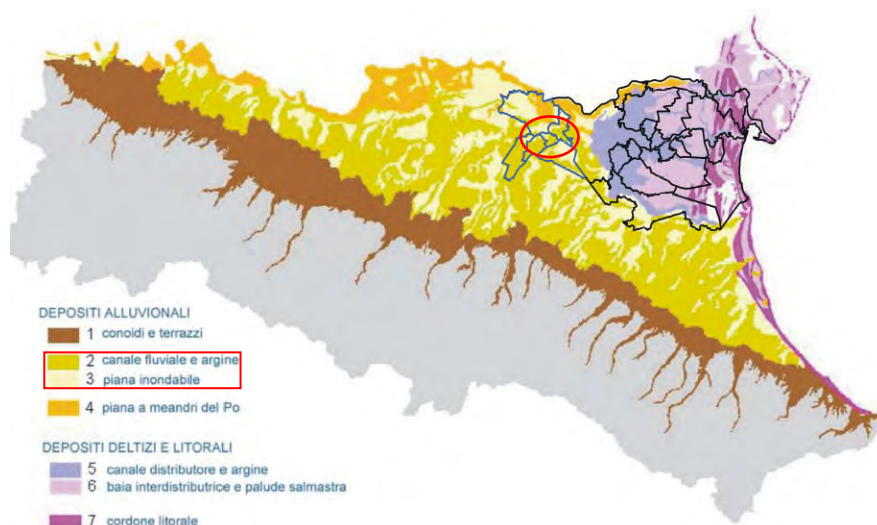


Fig. 2.11 – Sistemi deposizionali estratta dalla Carta geologica di pianura, area di studio in rosso

| | | | |
|---|---|------------------|------------------------|
| Progetto: IMPIANTO FOTOVOLTAICO DI POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 5.500,00 kW SITO NEL COMUNE DI TERRE DEL RENO (FE) DENOMINATO "SANT'AGOSTINO" E OPERE CONNESSE | Identificativo Documento n. FV-SAG-PD-R10-0 | Rev. 0 | Pagina 11/41 |
|---|---|------------------|------------------------|

Dall'analisi della carta, si può notare come l'area di studio sia interamente caratterizzata da depositi di piana alluvionale, si tratta di depositi di canale fluviale e di argine caratterizzati da sabbie medie e grossolane, corrispondenti ai depositi di argine e di rotta circostanti l'attuale corso del Po. Formano corpi a geometria nastriforme con geometria relativamente tabulare e spessori decametrici. Appartengono a questo settore anche le alluvioni ascrivibili ai diversi alvei, sia naturali che artificiali percorsi nel tempo dal fiume Reno. Depositati costituiti da alternanze di sabbie fini e finissime, spesso limose, in strati da sottili a spessi, e limi, limi sabbiosi e limi argillosi, in strati da molto sottili a medi. Gli strati sono organizzati in sequenze con gradazione positiva.

Localmente sono presenti sabbie mediogrossolane alla base delle sequenze positive ed intercalazioni di argilla al tetto. Inoltre si possono rilevare sedimenti di area interfluviale e depositi di palude. Si tratta di depositi costituiti da argille e, in minor misura, da limi variamente arricchiti in sostanza organica indecomposta in strati da sottilissimi a medi (raramente spessi) alternati ad argille, limi e, raramente, limi sabbiosi, in cui la sostanza organica è subordinata o assente. La sostanza organica può essere presente in lamine millimetriche, come frammenti vegetali o essere diffusa nell'argilla.

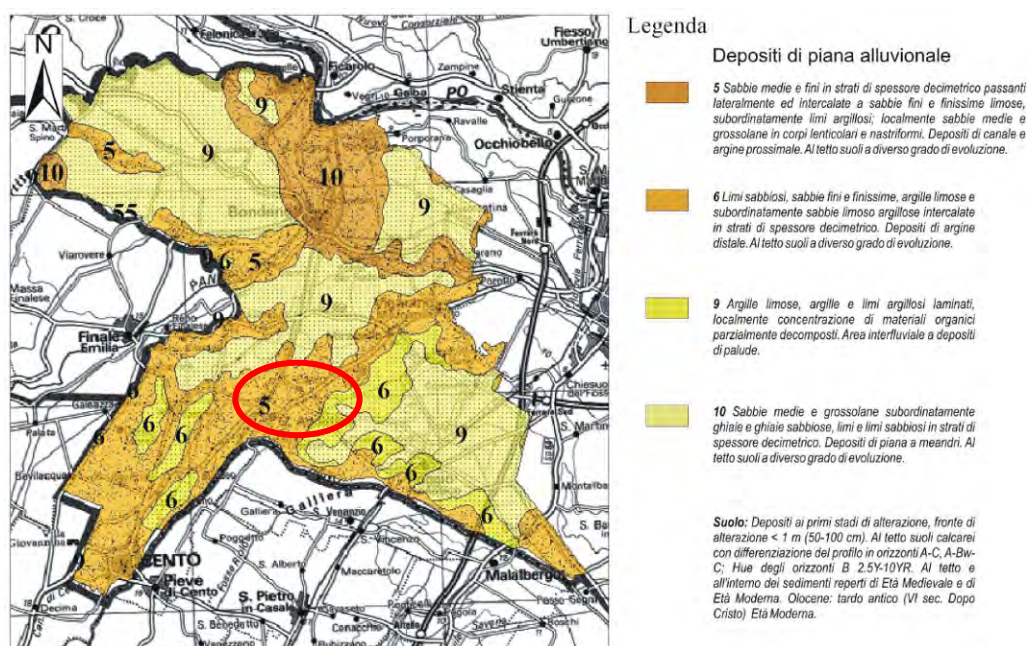


Fig. 2.12 – Carta geologica di pianura dell'Emilia Romagna, area di studio in rosso

Dall'analisi degli studi geologici eseguiti in seguito ai terremoti del 20-29 maggio 2012 è possibile suddividere il sottosuolo del territorio dell'area in esame in tre unità principali, dall'alto stratigrafico al basso:

- Unità dei canali fluviali;
- Unità delle paludi;
- Unità della piana alluvionale pleistocenica.

Unità dei canali fluviali:

| | | | |
|---|---|------------------|------------------------|
| Progetto: IMPIANTO FOTOVOLTAICO DI POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 5.500,00 kW SITO NEL COMUNE DI TERRE DEL RENO (FE) DENOMINATO "SANT'AGOSTINO" E OPERE CONNESSE | Identificativo Documento n. FV-SAG-PD-R10-0 | Rev. 0 | Pagina 12/41 |
|---|---|------------------|------------------------|

Questa unità si sviluppa dalla superficie fino ad una quota variabile di 3 - 5 m slm ovvero fino ad una profondità variabile tra 14 e 19 m dal piano campagna. Da un punto di vista geomorfologico, in superficie, sono presenti due elementi morfo-deposizionali rilevati corrispondenti a paleo-argini (Argine Postale, quello di sinistra idrografica, e Argine Vecchio, quello di destra). Questi paleoargini sono costituiti nella porzione più prossimale da sabbia fine alternata a limi sabbiosi, passanti lateralmente (argine distale) a limi sabbiosi ed argillosi. Lo spessore di questo intervallo raggiunge i 4 m in corrispondenza della sommità dell'argine e la base è alla quota di circa 12 m slm. Nella depressione compresa tra i due paleo-argini, corrispondente al paleo-alveo, fino dalla superficie è presente un corpo sabbioso lenticolare, potente fino a circa 2 m, che costituisce il riempimento più recente dell'alveo abbandonato. Segue un intervallo esteso lateralmente di limi sabbiosi alternati a sabbie limose, interpretabili come depositi di tracimazione fluviale, con locali livelli di torbe e resti vegetali, testimonianza di ambienti palustri. La base di questo intervallo è alla quota di circa 7 m slm; lo spessore è di circa 4-5 m. Al di sotto del dosso fluviale fino alla profondità di circa 7 m, sono presenti ancora lenti sabbiose, più o meno sviluppate, attribuibili a paleo-canali più antichi. Alla base dell'unità dei canali fluviali si incontra un corpo più continuo ed esteso lateralmente, probabilmente costituito da più lenti amalgamate di sabbie fini e medie, testimonianza di una intensa attività deposizionale da parte di antichi sistemi fluviali. Lo spessore totale di queste sabbie raggiunge i 3-4 m nella zona assiale mentre tende a ridursi e a chiudersi nelle aree di piana. Il tetto si trova ad una profondità variabile da circa 3-4 m nelle zone altimetricamente più basse (aree di piana) a circa 8 m nelle zone dei paleo-argini; la base di questa unità sabbiosa è ad una quota variabile tra 3 e 6 m slm.

Unità delle paludi

Questa unità si sviluppa con continuità al di sotto delle sabbie fluviali ed è costituita prevalentemente da argille e limi con abbondante frazione organica e livelli di torbe a varie altezze stratigrafiche (diffuse ed estese alla quota di 5 m slm); lo spessore è compreso tra 5 e 8 m tipico di ambienti di tipo palustre ("valli"). I sottili livelli di sabbie fini limose presenti localmente sono interpretabili come depositi distali di rotte fluviali. Il tetto di questo orizzonte fine si trova ad una profondità variabile tra 5 e 7 m dal piano campagna nella zona di piana e circa 10-13 m sotto i paleo-argini ed è localmente eroso in corrispondenza delle basi dei canali fluviali. La base, corrispondente al passaggio Pleistocene- Olocene, si trova ad una quota variabile tra -2 e -3 m slm, vale a dire ad una profondità di circa 14-15 m nella zona di piana e fino a 19 m sotto i paleo-argini.

Unità della piana alluvionale pleistocenica

L'unità stratigraficamente più bassa è costituita da un'alternanza di limi sabbiosi e sabbie limose al tetto di un orizzonte esteso e continuo di sabbia media e fine, di spessore fino a circa 10 m; la profondità di questo corpo sabbioso è a circa 25 m sotto i paleo-argini e circa 16-17 m nella zona della piana. Questa successione è attribuibile alla piana alluvionale pleistocenica.

| | | | |
|---|---|------------------|------------------------|
| Progetto: IMPIANTO FOTOVOLTAICO DI POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 5.500,00 kW SITO NEL COMUNE DI TERRE DEL RENO (FE) DENOMINATO "SANT'AGOSTINO" E OPERE CONNESSE | Identificativo Documento n. FV-SAG-PD-R10-0 | Rev. 0 | Pagina 13/41 |
|---|---|------------------|------------------------|

2.6 Inquadramento geomorfologico

Il territorio della bassa Pianura Padana ha una nascita ed una evoluzione recentissime, legate da un lato al progressivo spostamento verso nord dei successivi apparati deltizi del Po e dall'altra all'incerto corso dei torrenti appenninici che, dal Reno verso oriente, non hanno mai mantenuto un alveo stabile (Roversi, 1990). Sono proprio le alluvioni di questi torrenti che costringono il tracciato del Po primordiale ad allontanarsi dalla catena appenninica. Nelle figure seguente si riporta l'evoluzione dei fiumi dell'Alto Ferrarese.

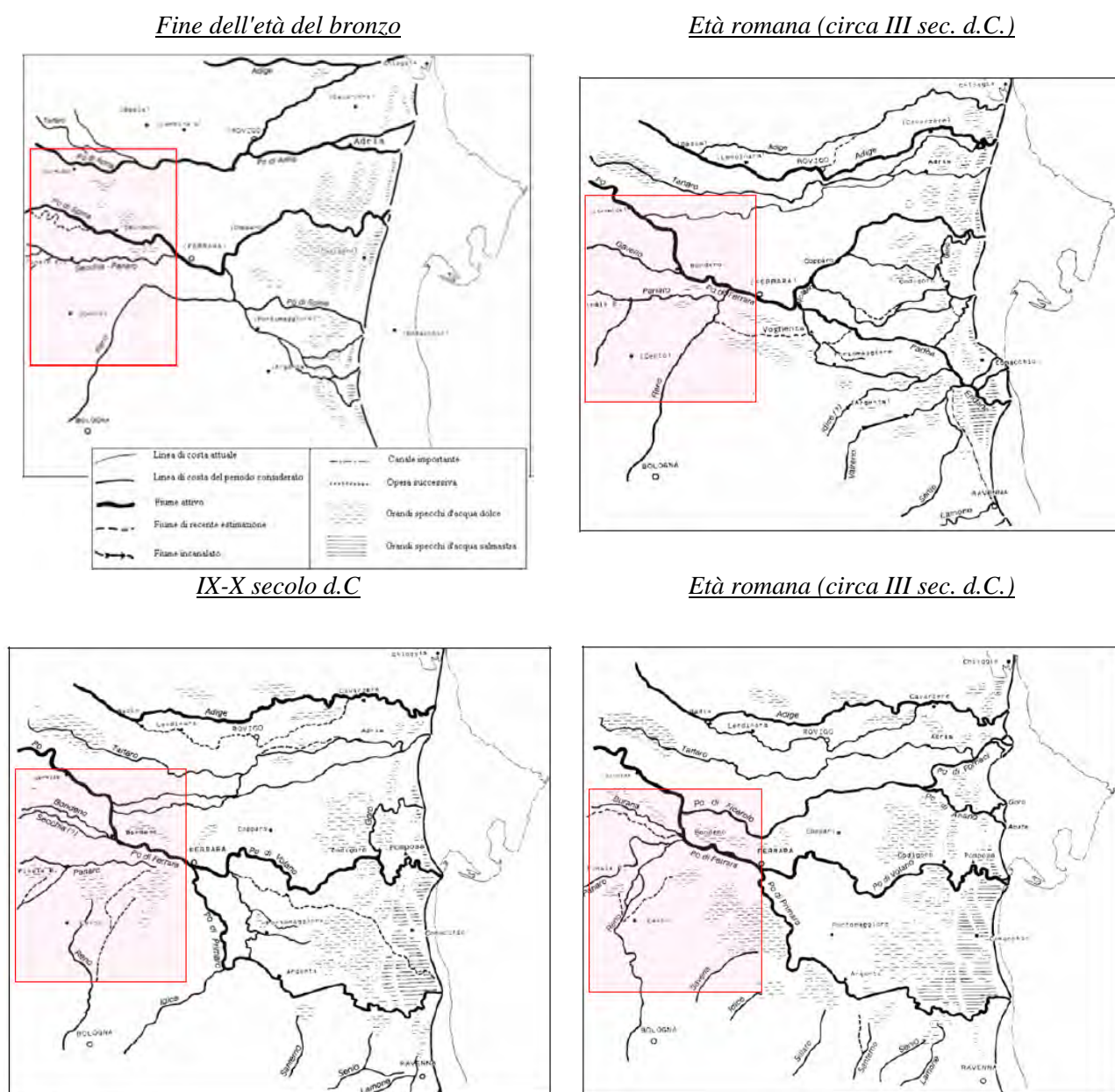


Fig. 2.13 – Evoluzione geomorfologica ed idrografica dalla pianura ferrarese-Bondesan, 1990

| | | | |
|---|---|------------------|------------------------|
| Progetto: IMPIANTO FOTOVOLTAICO DI POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 5.500,00 kW SITO NEL COMUNE DI TERRE DEL RENO (FE) DENOMINATO "SANT'AGOSTINO" E OPERE CONNESSE | Identificativo Documento n. FV-SAG-PD-R10-0 | Rev. 0 | Pagina 14/41 |
|---|---|------------------|------------------------|

L'allontanamento del recapito pone progressivamente forti difficoltà di confluenza in Po anche al Panaro ed al Reno, tanto che nel XIII e XIV secolo essi spandono le loro alluvioni nelle valli di S. Giovanni, Cento e Finale insieme alla locale idrografia minore, andando ad interessare anche i torrenti bolognesi. Ancor oggi è riconoscibile l'area interessata dall'antico alveo del Reno, rimasta nettamente emergente rispetto alle campagne latitanti per la sedimentazione delle granulometrie più grossolane, meno compressibili, presso le principali linee d'alveo, fenomeno favorito anche dalle opere di contenimento erette dall'uomo nel tentativo di difendersi dalle esondazioni: tale area si estende con regolarità dal punto di attuale confluenza del Samoggia nel Reno, prosegue poi verso nord, a ovest di Cento, e dirige infine verso il Panaro, nei pressi di Finale Emilia, dopo aver attraversato i territori di Renazzo, Bevilacqua, XII Morelli e Alberane (Roversi, 1990).

Nel 1459 il fiume Reno non trovando più una cadente sufficiente lungo il vecchio alveo, rompe le difese a monte, presso la confluenza del Samoggia, attratto da un nuovo corso più favorevole ad est della città di Cento, che rimane così divisa dalla Pieve. Tuttavia il nuovo alveo del fiume Reno non riesce più a raggiungere il Po di Ferrara, ma disegna un ampio arco a sud della città estense, tra Vigarano e Buttifredo (v. fig. seguente), piegando a ritroso, come respinto dai rami meridionali del Po, e suddividendosi in "riazzi" (Riazzo Cervella, verso Marrana, e Riazzo del Gallo); esaurisce infine la propria cadente spandendo nei territori vallivi di Poggio e Malalbergo, della Sammartina e marrana, da cui inizia la colmata affiancato da numerosi altri corsi d'acqua minori, fra i quali Riolo, lo Scorsero, il Savena, il fiumicello, la Zena; similmente il fiume Idice sfocia nelle valli di Argenta e Marmorta, insieme al Sillaro.

Nel corso del Basso Medioevo, il susseguirsi delle disastrose piene cui andava periodicamente soggetto ne causò un disalveamento ed un impaludamento nelle campagne ferraresi. Nel 1522 il corso del fiume fu spostato a nord di Ferrara.

Due secoli dopo, durante il papato di Benedetto XIV (il cardinale bolognese Prospero Lambertini), il fiume fu soggetto ad una modifica idraulica fondamentale:

- fu disalveato nell'ultimo tratto (quello tra il Bolognese e il Ferrarese) ed immesso in un canale artificiale costruito ex novo. Il canale, denominato Cavo Benedettino, nasce presso Sant'Agostino e scorre per 30 km in direzione Est, fino ad Argenta. Il Reno, completamente arginato, non allagò più la pianura ferrarese;
- ad Argenta il fiume fu immesso nel letto del Po morto di Primaro. Nei suoi ultimi 40 km, il Reno scorre nel letto dell'antico fiume, sfociando nel mare Adriatico.

| | | | |
|---|---|------------------|------------------------|
| Progetto: IMPIANTO FOTOVOLTAICO DI POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 5.500,00 kW SITO NEL COMUNE DI TERRE DEL RENO (FE) DENOMINATO "SANT'AGOSTINO" E OPERE CONNESSE | Identificativo Documento n. FV-SAG-PD-R10-0 | Rev. 0 | Pagina 15/41 |
|---|---|------------------|------------------------|

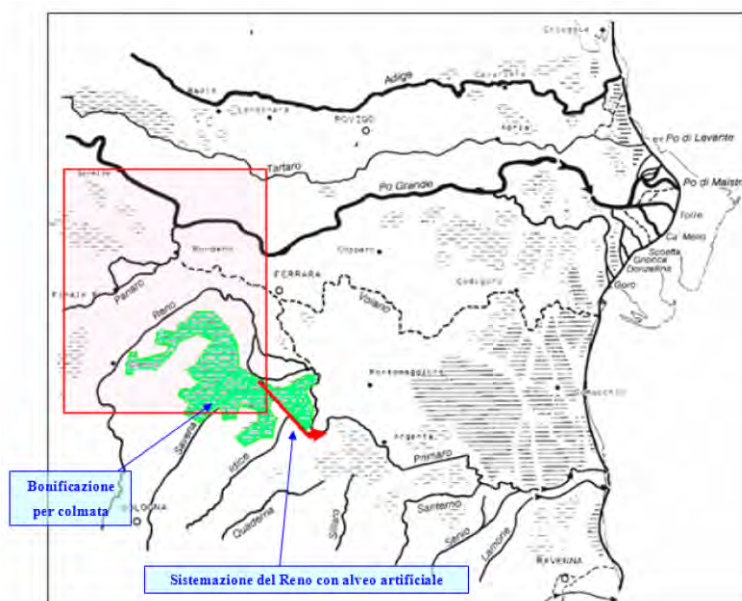


Fig. 2.14 – Il territorio dell'Alto Ferrarese intorno al 1740

(Evoluzione geomorfologica ed idrografica dalla pianura ferrarese-Bondesan, 1990)

Nella seconda metà del XVIII secolo furono fatti convogliare nel fiume:

- il Canale Navile di Bologna;
- il torrente Idice.

Il corso del Reno ha oggi un andamento caratteristico: prima procede da sud (Appennini) a nord (pianura padana). Poi, dopo una improvvisa curva a gomito (nei pressi della località Sant'Agostino), si dirige da Ovest verso Est, fino all'ultimo tratto, di circa 1 km, in cui piega decisamente verso nord dopo avere aggirato e bordeggiato le Valli di Comacchio. Molta parte della letteratura individua ancora il tratto terminale di circa 40 km e la foce come "Po di Primaro".



Fig. 2.15 – Tracciato attuale del corso del fiume Reno

| | | | |
|---|---|------------------|------------------------|
| Progetto: IMPIANTO FOTOVOLTAICO DI POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 5.500,00 kW SITO NEL COMUNE DI TERRE DEL RENO (FE) DENOMINATO "SANT'AGOSTINO" E OPERE CONNESSE | Identificativo Documento n. FV-SAG-PD-R10-0 | Rev. 0 | Pagina 16/41 |
|---|---|------------------|------------------------|

Il comune di Terre Del Reno si trova in corrispondenza del paleoalveo abbandonato nel XVIII secolo a seguito dell'immissione del fiume nel Cavo Benedettino (v. fig. seguente). Il paleoalveo è una traccia di alveo fluviale abbandonata dal corso d'acqua e caratterizzata solitamente da depositi più grossolani rispetto alla piana circostante.

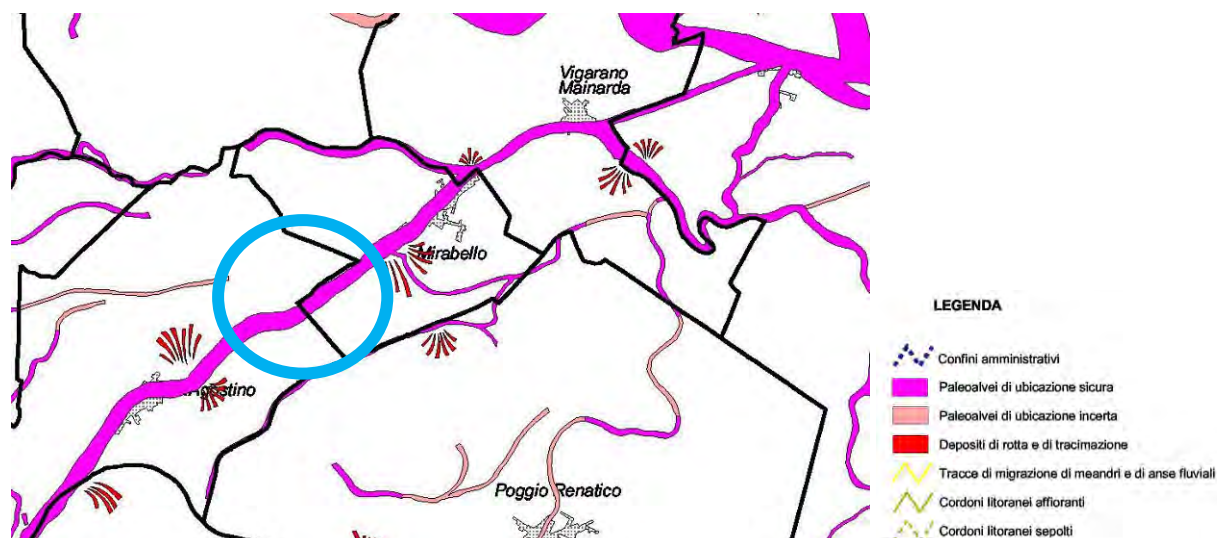


Fig. 2.16 – Stralcio "Carta geomorfologica – Tavola QC 0.1" PTCP Ferrara, area di studio in azzurro

Nelle aree di pianura agli alvei attivi di antica origine e ai paleoalvei da tempo esauriti, corrispondono di norma i dossi, che si trovano in condizioni altimetriche di rilevato e che sono caratterizzati da terreni di tessitura granulometrica più grossolana e quindi con caratteristiche geomeccaniche migliori; diversamente, alle zone un tempo vallive e ai bacini di colmata corrispondono di norma aree in condizioni di depressione, che sono caratterizzate da terreni di tessitura granulometrica più fine.

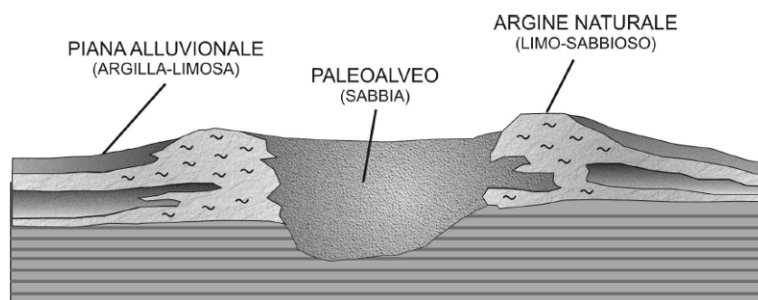


Fig. 2.17 – Sezione schematica di un paleoalveo

Di seguito si riporta la carta geomorfologica di dettaglio del territorio di San Carlo con evidenziati i siti di liquefazione rilevati in seguito ai terremoti del Maggio 2012.

| | | | |
|---|---|------------------|------------------------|
| Progetto: IMPIANTO FOTOVOLTAICO DI POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 5.500,00 kW SITO NEL COMUNE DI TERRE DEL RENO (FE) DENOMINATO "SANT'AGOSTINO" E OPERE CONNESSE | Identificativo Documento n. FV-SAG-PD-R10-0 | Rev. 0 | Pagina 17/41 |
|---|---|------------------|------------------------|

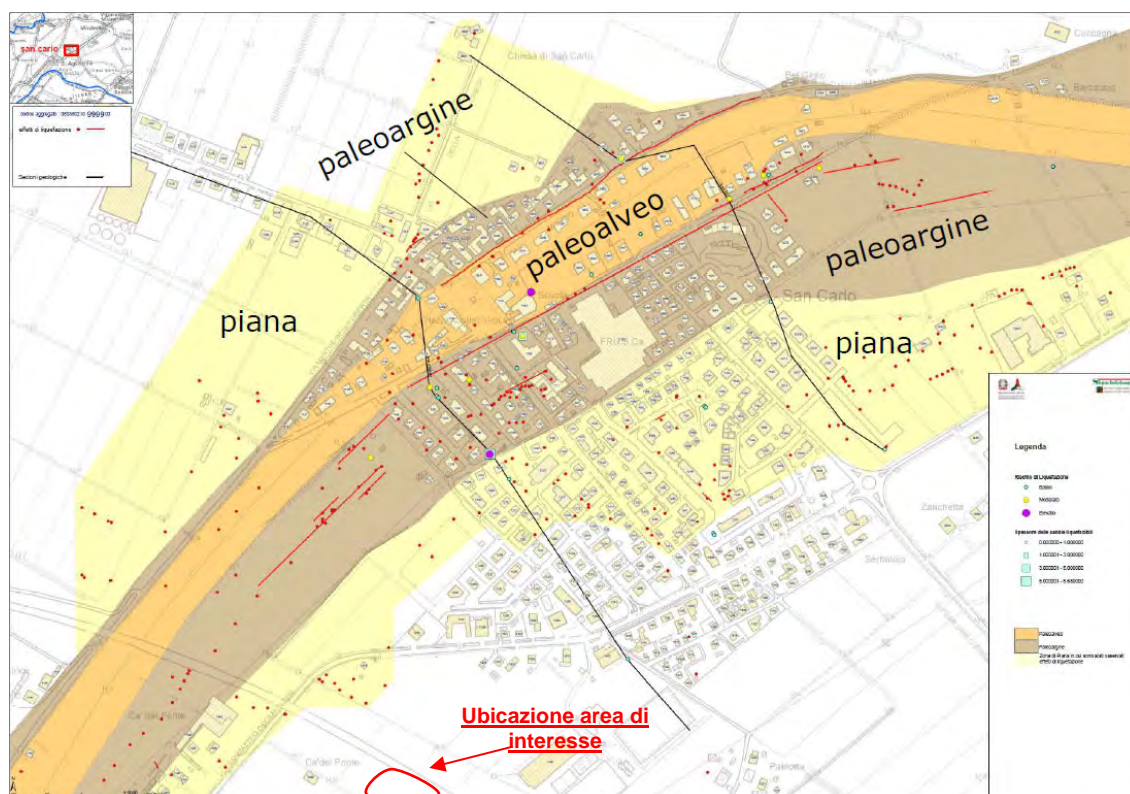


Fig. 2.18 – Mappa geomorfologica di San Carlo con evidenziati i siti di liquefazione, area di studio in rosso

2.7 Inquadramento idrogeologico generale

L'acquifero Regionale risulta suddiviso in tre grandi gruppi acquiferi (chiamati, dall'alto, A, B e C) separati dall'interposizione di importanti acquitardi. Ogni gruppo acquifero consiste di molti piccoli complessi acquiferi in accordo con il modello di suddivisione gerarchico basato sulla dimensione dei corpi acquiferi e della loro estensione.

Le sequenze sedimentarie della Provincia di Ferrara sono incluse nel Gruppo acquifero A. All'interno di questo Gruppo possono essere identificate cinque Unità Idrostratigrafiche Sequenziali. Queste unità, dalla base al tetto della sequenza, sono chiamate rispettivamente: A4, A3, A2, A1 e A0.

| | | | |
|---|---|------------------|------------------------|
| Progetto: IMPIANTO FOTOVOLTAICO DI POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 5.500,00 kW SITO NEL COMUNE DI TERRE DEL RENO (FE) DENOMINATO "SANT'AGOSTINO" E OPERE CONNESSE | Identificativo Documento n. FV-SAG-PD-R10-0 | Rev. 0 | Pagina 18/41 |
|---|---|------------------|------------------------|

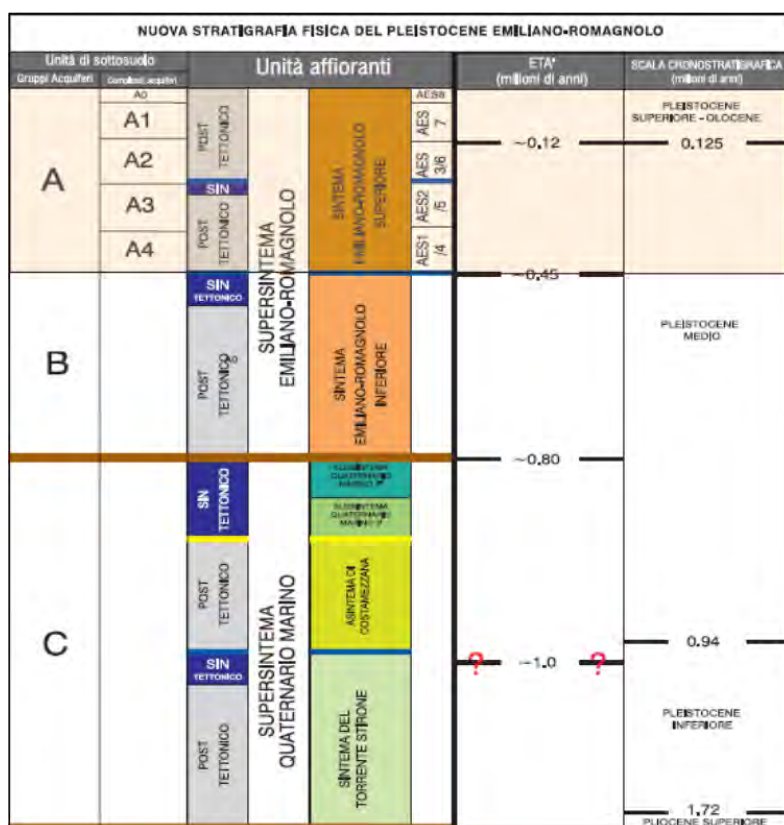


Fig. 2.19 – Relazione tra le principali unità idrostratigrafiche e stratigrafiche della Regione Emilia Romagna (Molinari et. Al.,2007)

I Gruppi acquiferi più profondi (C e B), sono ospitati nelle formazioni consolidate pre-Plioceniche che, unitamente a quelli rinvenibili nei depositi sabbiosi Pliocenici e Pleistocenici sovrastanti, sono di ambiente lagunare e marino, con acque salmastre o salate, di scarso interesse pratico.

Nelle successioni Oloceniche (Gruppo acquifero A), l'ambiente deposizionale è di tipo continentale e si osserva una successione di livelli a sabbia fine e grossolana, intercalati a livelli argillosi con frequenti tracce di torba.

Il Gruppo Acquifero A è attualmente sfruttato in modo intensivo; il Gruppo Acquifero B è sfruttato solo localmente; il Gruppo Acquifero C, isolato rispetto alla superficie per gran parte della sua estensione, è raramente sfruttato.

Il Gruppo Acquifero di maggiore importanza, ai fini di questo documento, risulta essere il Gruppo A in particolare le porzioni più superficiali dello stesso. Di seguito si riporta una breve descrizione delle cinque unità idrostratigrafiche nelle quali è suddiviso il gruppo acquifero:

- Complesso acquifero A4 e A3: questi sono i due acquiferi più profondi, rispettivamente -90 m s.l.m. (A3) e -100 m s.l.m. (A4) nelle aree di alto strutturale (zona Ovest della provincia di Ferrara), raggiungendo profondità del tetto di -230 m s.l.m. (A3) e -280 m s.l.m. (A4) nel settore Est della Provincia dove gli assi strutturali si approfondiscono in direzione E-NE. In

| | | | |
|---|---|------------------|------------------------|
| Progetto: IMPIANTO FOTOVOLTAICO DI POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 5.500,00 kW SITO NEL COMUNE DI TERRE DEL RENO (FE) DENOMINATO "SANT'AGOSTINO" E OPERE CONNESSE | Identificativo Documento n. FV-SAG-PD-R10-0 | Rev. 0 | Pagina 19/41 |
|---|---|------------------|------------------------|

entrambi i complessi, i depositi sabbiosi di delta risultano aggradanti indicando una stasi nell'evoluzione paleogeografica del bacino sedimentario. Questi acquiferi, data la loro profondità, non risultano affetti dal ciclo idrogeologico attuale ed ospitano acque fossili e connate di origine Appenninica ed Alpina.

- Complesso acquifero A2: questo complesso, alla scala locale, può essere suddiviso in due altre unità idrostratigrafiche. La prima chiamata A2-II che si sviluppa da Est verso Ovest ed è contenuta in sabbie marine con profondità massime di -110/-190 m s.l.m. Le geometrie morfo-deposizionali di questo complesso acquifero suggerisce una sostanziale stasi nel sistema fluviale-deltizio. La seconda unità è chiamata A2-I, risulta essere il complesso acquifero con la maggiore estensione della Provincia di Ferrara. Il tetto dell'acquifero, influenzato dagli assi strutturali sepolti, si trova approssimativamente tra -40 m s.l.m. nella porzione Ovest del territorio provinciale approfondendosi fino a -130 m s.l.m. nel settore Est. I depositi di questo complesso sono formati dall'unione di corpi fluviali e canali distributori mostrando una fase progradante del sistema ed una riorganizzazione paleogeografica del bacino sedimentario.
- Complesso acquifero A1: anche in questo caso il complesso acquifero può essere suddiviso in due parti. A1-I il quale consiste essenzialmente in corpi sabbiosi "Würmiani" con una profondità massima di -50/-60 m s.l.m. La parte inferiore, chiamata A1-II, è suddivisa in due porzioni: continentale ad Ovest e marina ad Est. Entrambe raggiungono spessori di 12-15 m. In generale il sistema è stato depositato durante una fase trasgressiva dove l'energia del Fiume Po era troppo bassa per consentire continuità ed amalgamazione tra le sabbie continentali e marine, infatti i sedimenti fini di origine palustre si trovano tra i due depositi sabbiosi.
- Complesso acquifero A0: corrisponde all'acquifero freatico contenuto in sedimenti fluviali di meandro e di canale distributore del Fiume Po nella porzione continentale dell'acquifero (W) ed in sabbie di cordone e duna. Questo acquifero si trova ad una profondità variabile compresa tra i 2 ed i 20/30 m s.l.m., confinante con i depositi fini che suddividono l'acquifero freatico A0 dal primo acquifero confinato A1. Le caratteristiche principali idrodinamiche ed idrochimiche di questo acquifero sono:
 - le acque sotterranee, ovunque, sono connesse con i corpi d'acqua superficiali;
 - la ricarica avviene attraverso le piogge, le acque dei canali e delle lagune, le acque marine ad Est e le acque ad uso irriguo;
 - l'idrodinamica delle acque sotterranee è localmente influenzata dai sistemi di drenaggio e pompaggio.

La falda freatica, considerata per convenzione come un unico elemento, in realtà risulta costituita da un complesso sistema multifalda, a livelli anche non interconnessi.

Nel settore oggetto di studio il livello della falda, misurato rispetto al piano campagna nel mese di Ottobre 2021, risulta essere posto come segue.

| Tab. 2.1 – Livello falda | |
|--------------------------|---|
| ID | Livello statico della falda da p.c. (m) |
| SCPTU | - 2,70 |

| | | | |
|---|---|------------------|------------------------|
| Progetto: IMPIANTO FOTOVOLTAICO DI POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 5.500,00 kW SITO NEL COMUNE DI TERRE DEL RENO (FE) DENOMINATO "SANT'AGOSTINO" E OPERE CONNESSE | Identificativo Documento n. FV-SAG-PD-R10-0 | Rev. 0 | Pagina 20/41 |
|---|---|------------------|------------------------|

| Tab. 2.1 – Livello falda | |
|---------------------------------|--|
| ID | Livello statico della falda da p.c. (m) |
| CPTU1 | - 2,30 |
| CPTU2 | - 2,70 |

2.8 Sismicità

I sovrascorrimenti delle falde profonde appenniniche sono ancora attivi, e sono la zona di origine dei terremoti, i cui ipocentri sono collocati tra i 5 e gli 8 km di profondità, e con meccanismo di fagliazione prevalentemente compressivo.

La sismicità dell'Emilia-Romagna può essere definita media relativamente alla sismicità nazionale, poiché i terremoti storici hanno avuto magnitudo massima compresa tra 5,5 e 6 della scala Richter e intensità del IXX grado della scala MCS. I maggiori terremoti (Magnitudo > 5,5) si sono verificati nel settore sud-orientale, in particolare nell'Appennino Romagnolo e lungo la costa riminese. Altri settori interessati da sismicità frequente ma generalmente di minore energia (Magnitudo < 5,5) sono il margine appenninico-padano tra la Val d'Arda e Bologna, l'arco della dorsale ferrarese e il crinale appenninico.

I maggiori terremoti occorsi in epoca storica nel ferrarese sono stati il terremoto di Ferrara del 1346 e con una intensità di 7.5 gradi della scala Mercalli, stimata di magnitudo 5.81 della scala Richter; ed il terremoto dei Ferrara del 1570 con una intensità di 7.5 gradi della scala Mercalli, stimata di magnitudo 5.48 della scala Richter. Tali eventi storici sono perfettamente congruenti con i recenti sismi del 20 e 29 maggio 2012, che confermano l'intensità sismica dell'areale emiliano romagnolo.

Di particolare rilievo sono i fenomeni osservati in seguito agli eventi sismici del maggio 2012, ovvero la Liquefazione. La liquefazione dei sedimenti è uno dei fenomeni idrogeologici più evidenti che possono essere causati da un terremoto in zone come pianure alluvionali e piane costiere, caratterizzate da importanti spessori di depositi prevalentemente costituiti da sedimenti fluviali (argille, limi e sabbia).

Nei depositi limosi e sabbiosi non consolidati e saturi di acqua (che è incompressibile), lo scuotimento sismico può causare il trasferimento della pressione dai contatti fra i granuli del sedimento all'acqua interstiziale (presente fra un granulo e l'altro). Quando un simile deposito si trova confinato tra due strati impermeabili (limi e argille ad esempio), la pressione dell'acqua cresce sino a un punto critico sorpassato il quale annulla la pressione tra i granuli e tutto il deposito (sedimento più acqua) si comporta come un fluido ovvero si liquefa. Il fenomeno della liquefazione durante lo scuotimento sismico si origina preferibilmente in sedimenti posti tra 1 e circa 10-15 m di profondità. Per sfogare questa pressione in eccesso il deposito liquefatto cerca una via di fuga spingendo verso zone a minore pressione, ovvero verso l'alto, attraverso fratture o condotti, di neoformazione o preesistenti, sia naturali che artificiali (pozzi per l'acqua ad esempio). In superficie, la liquefazione si manifesta con vulcanetti di sabbia/limo, frequentemente allineati lungo le fratture di risalita. Gli edifici e tutte le opere antropiche (ponti, strade etc.) possono essere

| | | | |
|---|---|------------------|------------------------|
| Progetto: IMPIANTO FOTOVOLTAICO DI POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 5.500,00 kW SITO NEL COMUNE DI TERRE DEL RENO (FE) DENOMINATO "SANT'AGOSTINO" E OPERE CONNESSE | Identificativo Documento n. FV-SAG-PD-R10-0 | Rev. 0 | Pagina 21/41 |
|---|---|------------------|------------------------|

danneggiati da tale fenomeno. Infatti, se le fondamenta di un edificio poggiano su uno strato che si liquefa, il sostegno di quel livello viene a mancare (si comporta come un fluido e non più come un solido). Allo stesso tempo anche la sabbia che risale verso la superficie può causare cedimenti e danni ad un edificio sovrastante a seguito della forte pressione esercitata.



Fig. 2.18 – Foto fenomeno di liquefazione nell'area dell'alto ferrarese a seguito dei terremoti del 20 e 29 Maggio 2012

A valle degli eventi sismici sono stati aggiornati gli studi di Microzonazione del territorio di studio, da questo è stata rielaborata la carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica. Dalla consultazione della Carta delle MOPS il territorio di San Carlo ricade pienamente in area di Paleoalveo-Piana-Paleoargine, a tal proposito si rimanda alla mappa geomorfologica redatta a valle dei terremoti del maggio 2012.

| | | | |
|---|---|------------------|------------------------|
| Progetto: IMPIANTO FOTOVOLTAICO DI POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 5.500,00 kW SITO NEL COMUNE DI TERRE DEL RENO (FE) DENOMINATO "SANT'AGOSTINO" E OPERE CONNESSE | Identificativo Documento n. FV-SAG-PD-R10-0 | Rev. 0 | Pagina 22/41 |
|---|---|------------------|------------------------|

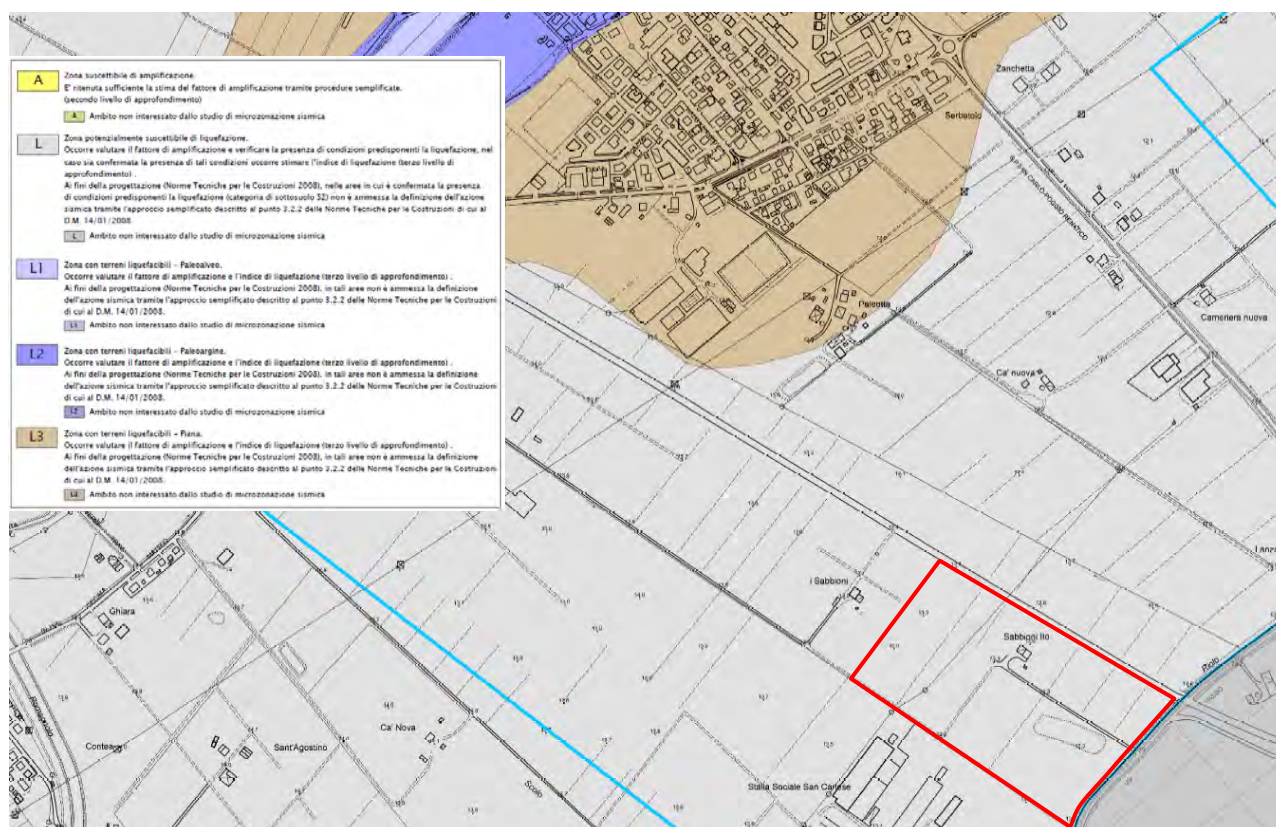


Fig. 2.19 – Stralcio della Carta delle MOPS – Comune di Sant'Agostino (FE)

In rosso l'area di interesse

La carta delle MOPS, per l'area di studio rientra in settore L, ovvero zone zone potenzialmente suscettibile a liquefazione ma non rientrante nello studio di microzonazione sismica.

| | | | |
|--|---|--------|--------------|
| Progetto: IMPIANTO FOTOVOLTAICO DI POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 5.500,00 kW SITO NEL COMUNE DI TERRE DEL RENO (FE) DENOMINATO "SANT'AGOSTINO" E OPERE CONNESSE | Identificativo Documento n. FV-SAG-PD-R10-0 | Rev. 0 | Pagina 23/41 |
|--|---|--------|--------------|

3 INDAGINI ANALIZZATE

Le indagini che sono state considerate per l'analisi delle caratteristiche geologiche e geognostiche dell'area di interesse sono brevemente sintetizzate alla tabella successiva.

| Tab. 3.1 – Indagini svolte | |
|---|---|
| Tipologia Indagine | Scopo |
| PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CON PIEZOCONO | |
| n°2 CPTU | <p>Caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni tramite misura della resistenza alla penetrazione di una punta meccanica di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante per la misura</p> <ul style="list-style-type: none"> • lo sforzo necessario per la penetrazione della punta: qc; • l'attrito che si sviluppa sul manicotto posto al di sopra della punta: fs. <p>Tali prove, sono state eseguite al fine di verificare:</p> <ul style="list-style-type: none"> • la capacità portante dei terreni fondali • verifica eventuale rischio sismico <p>La punta è inoltre munita di un settore poroso e relativo trasduttore (piezocono) per la misurata della pressione dell'acqua interstiziale nei pori durante l'avanzamento: u</p> |
| n°1 SCPTU | <p>La strumentazione è analoga a quella indicata per le prove CPTU inoltre ad ogni metro di profondità viene sospesa l'infissione del piezocono e dopo aver generato vibrazioni artificiali vengono registrati i relativi segnali sismici.</p> |

Come detto nei capitoli introduttivi, **le indagini qui analizzate sono state condotte nel corso della fase autorizzativa per la realizzazione dell'impianto fotovoltaico "Terre del Reno" (v. Fig. 2.2). Tali indagini sono state considerate valide ed esaustive anche per i terreni dell'area di interesse in quanto gli studi di livello Comunale, Provinciale e Regionale mostrano caratteristiche geologiche, sismiche e idrogeologiche equivalenti a quelle che caratterizzano il sito "Terre del Reno".**

3.1 Prove Penetrometriche Statiche con piezocono (CPTU e SCPTU)

Le prove penetrometriche con piezocono permettono di acquisire, grazie ad una spinta continua come per le prove CPT, la qc (resistenza alla punta) e la fs (resistenza laterale), il sistema acquisisce inoltre le pressioni neutre, l'angolo di inclinazione della batteria di aste ed il tempo di dissipazione (tempo intercorrente tra la misura della sovrappressione ottenuta in fase di spinta e la pressione misurata in fase di alleggerimento di spinta) tramite l'utilizzo di un piezocono sismico. Quest'ultimo è costituito da un penetrometro a punta munita di sensori con una parte in materiale poroso per la misura della pressione dei pori. La pressione indotta dalla punta produce un incremento della pressione interstiziale u, che viene dissipata più o meno rapidamente secondo la permeabilità degli strati. Il grafico relativo permette di riconoscere la diversa natura degli strati, più permeabili con basso incremento della u, meno permeabili con forte incremento della u.

| | | | |
|---|---|------------------|------------------------|
| Progetto: IMPIANTO FOTOVOLTAICO DI POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 5.500,00 kW SITO NEL COMUNE DI TERRE DEL RENO (FE) DENOMINATO "SANT'AGOSTINO" E OPERE CONNESSE | Identificativo Documento n. FV-SAG-PD-R10-0 | Rev. 0 | Pagina 24/41 |
|---|---|------------------|------------------------|

3.1.1 Risultati delle prove

I dati acquisiti con le prove sono stati elaborati con il programma CPeT-IT v.1.6 della Geologismiki Geotechnical Software. Tale programma permette una facile interpretazione dei dati acquisiti con le prove ed esegue interpretazioni sulla base delle condizioni di comportamento del suolo (SBT: Soil Behaviour Type) e vari altri parametri geotecnici basati sulle correlazioni pubblicate da Lunne, Robertson and Powell (1997) e i più recenti aggiornamenti del professor Robertson.

In particolare, nelle tabelle seguenti vengono riportate per le indagini effettuate la descrizione delle caratteristiche litologiche ed il valore di alcuni parametri geotecnici, di validità orientativa, individuati attraverso correlazioni e bibliografia.

I parametri geotecnici riportati sono:

M: modulo edometrico (kg/cm²)

E_s: Modulo di elasticità longitudinale o modulo di Young (kg/cm²);

G_o: Modulo di taglio massimo (kg/cm²);

Su: Coesione non drenata (kg/cm²);

Dr: Densità relativa (%);

φ: Angolo d'attrito interno (°);

γ: Peso di Volume (t/m³).

Per maggiori dettagli si vedano i report in allegato 1.

| Tab. 3.2 - Prova penetrometrica CPTU1 – 20,0 m | | | | | | | | |
|--|---|----------------------------|---|---|-----------------------------|-----------|----------|--------------------------|
| N | Litologia | M (kg/cm ²) | E _s (kg/cm ²) | G _o (kg/cm ²) | Su (kg/cm ²) | Dr (%) | φ (°) | γ (t/m ³) |
| 1 | Da – 0,00 a – 4,30 metri dal p.c | | | | | | | |
| | Alternanze di sabbie limose e limi sabbiosi | 279 | 242 | 302 | - | 41,6 | 37,1 | 1,69 |
| 2 | Da – 4,30 a – 18,40 metri dal p.c. | | | | | | | |
| | Argilla e argilla limosa intervallata da livelli centimetrici di materiali organici | 72 | 903 | 476 | 0,61 | - | - | 1,76 |
| 3 | Da – 18,40 a – 19,60 metri dal p.c. | | | | | | | |
| | Sabbia e sabbia limosa | 917 | 753 | 937 | - | 44,5 | 37,8 | 1,83 |
| 4 | Da – 19,60 a – 20,00 metri dal p.c. | | | | | | | |
| | Argilla | 64 | - | 576 | 0,75 | - | - | 1,74 |

| Tab. 3.3 - Prova penetrometrica CPTU2 – 20,0 m | | | | | | | | |
|--|---|----------------------------|---|---|-----------------------------|-----------|----------|--------------------------|
| N | Litologia | M (kg/cm ²) | E _s (kg/cm ²) | G _o (kg/cm ²) | Su (kg/cm ²) | Dr (%) | φ (°) | γ (t/m ³) |
| 1 | Da – 0,00 a – 3,20 metri dal p.c | | | | | | | |
| | Sabbia limosa e limo sabbioso con livelli centimetrici argillosi | 194 | 202 | 241 | - | 37,6 | 36,2 | 1,68 |
| 2 | Da – 3,20 a – 20,00 metri dal p.c. | | | | | | | |
| | Argilla e argilla limosa con lenti debolmente sabbiose e livelli centimetrici di materiali organici | 83 | 621 | 480 | 0,65 | - | - | 1,76 |

| | | | |
|---|---|------------------|------------------------|
| Progetto: IMPIANTO FOTOVOLTAICO DI POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 5.500,00 kW SITO NEL COMUNE DI TERRE DEL RENO (FE) DENOMINATO "SANT'AGOSTINO" E OPERE CONNESSE | Identificativo Documento n. FV-SAG-PD-R10-0 | Rev. 0 | Pagina 25/41 |
|---|---|------------------|------------------------|

| Tab. 3.4 - Prova penetrometrica SCPTU – 30,0 m | | | | | | | | |
|--|--|----------------------------|---|---|-----------------------------|-----------|----------|--------------------------|
| N | Litologia | M (kg/cm ²) | E _s (kg/cm ²) | G ₀ (kg/cm ²) | Su (kg/cm ²) | Dr (%) | φ (°) | γ (t/m ³) |
| 1 | Da – 0,00 a – 1,60 metri dal p.c. | | | | | | | |
| | Sabbia e sabbia limosa | 331 | 298 | 355 | - | 58,7 | 40,4 | 1,78 |
| 2 | Da – 1,60 a – 15,70 metri dal p.c. | | | | | | | |
| | Argilla e argilla limosa intervallata da livelli ad alto contenuto di materiali organici | 37 | 332 | 352 | 0,37 | - | - | 1,70 |
| 3 | Da – 15,70 a – 17,70 metri dal p.c. | | | | | | | |
| | Sabbia e sabbia limosa | 748 | 655 | 812 | - | 47,0 | 38,3 | 1,79 |
| 4 | Da – 17,70 a – 30,00 metri dal p.c. | | | | | | | |
| | Argilla e argilla limosa intervallata da livelli centimetrici di limi sabbiosi | 87 | 939 | 726 | 0,88 | - | - | 1,79 |

3.1.2 Caratteristiche litostratigrafiche locali

Dall'interpretazione dei dati derivanti dalle prove penetrometriche è stato possibile definire l'assetto litostratigrafico locale sino ad una profondità massima pari a circa -30,0 m da p.c.

Nel dettaglio sono stati individuati due livelli di terreno principali:

- **Primo livello:** si tratta di terreni superficiali, caratterizzati da materiali riportati o terreni vegetali di natura sabbiosa e sabbiosa limosa. Tali materiali sono stati rilevati con spessori pressochè omogenei in corrispondenza delle verticali di indagine CPTU1 e CPTU2, nel dettaglio sino a circa -4,0 m da p.c. mentre in corrispondenza della verticale SCPTU tale livello si presenta meno evidente essendo stato riscontrato sino a circa -1,6 m da p.c.
- **Secondo livello:** tale livello di terreno, rinvenuto su tutto il sito di studio è caratterizzato da materiali coesivi, argillosi e argilloso limosi con intervalli centimetrici di materiali organici. All'interno di questo secondo livello di terreno, rinvenuto sino la massima profondità di indagine (-20 e -30 m da p.c.), sono state rilevate lenti di natura sabbiosa e sabbioso limosa a profondità pari a circa 16,0 m da p.c. con spessori massimi pari a circa 1,0 m.

| | | | |
|---|---|------------------|------------------------|
| Progetto: IMPIANTO FOTOVOLTAICO DI POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 5.500,00 kW SITO NEL COMUNE DI TERRE DEL RENO (FE) DENOMINATO "SANT'AGOSTINO" E OPERE CONNESSE | Identificativo Documento n. FV-SAG-PD-R10-0 | Rev. 0 | Pagina 26/41 |
|---|---|------------------|------------------------|

4 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE

Nella logica prestazionale adottata dalle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC18 – D.M. 17/01/2018) si impone al progettista di affrontare e risolvere problematiche specialistiche, tra cui assume una particolare rilevanza la valutazione della stabilità geotecnico-sismica del sito di costruzione e del suolo di fondazione, con l'obiettivo ultimo di definire il rischio geotecnico nell'eventualità di un terremoto.

Un ruolo chiave nella caratterizzazione geotecnico-sismica dei suoli di fondazione occupa la stima della velocità di propagazione delle onde di taglio e conseguentemente del parametro $V_{s,eq}$, normativamente idoneo all'individuazione delle categorie di sottosuolo di riferimento, necessarie alla definizione dell'azione sismica di progetto mediante l'approccio richiesto dalle NTC18.

Nel presente capitolo è riportata la classificazione sismica del sito, la stima della velocità media di propagazione delle onde di taglio $V_{s,eq}$, l'individuazione della categoria del sottosuolo secondo la classificazione delle normative vigenti.

4.1 Classificazione sismica del sito

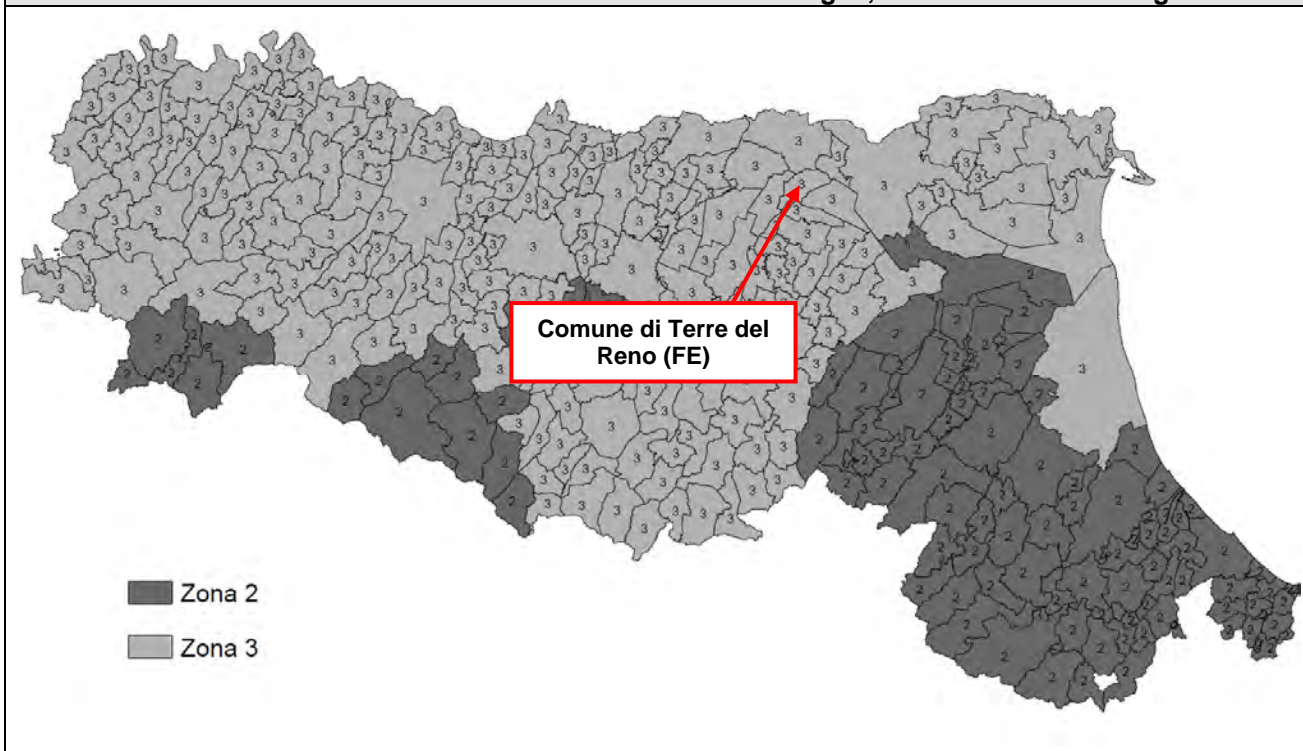
La classificazione sismica del territorio nazionale è stata rivista e aggiornata dall'O.P.C.M. 3274/03 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" che suddivide il territorio nazionale in 4 Zone Sismiche, distinte in base ai valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo, con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni. Ad ogni comune è stata quindi attribuita una specifica Zona, intendendo il carattere sismico decrescente andando da Zona 1 a Zona 4.

Per quanto riguarda la Regione Emilia-Romagna, la classificazione sismica del territorio regionale è stata Aggiornata con Deliberazione della Giunta Regionale n. 1164 del 23/07/2018 "Aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei Comuni dell'Emilia-Romagna".

Il Comune di Terre del Reno risulta classificato con codice ISTAT 38028 e come zona a rischio sismico di terza categoria (Zona 3).

| | | | |
|---|---|------------------|------------------------|
| Progetto: IMPIANTO FOTOVOLTAICO DI POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 5.500,00 kW SITO NEL COMUNE DI TERRE DEL RENO (FE) DENOMINATO "SANT'AGOSTINO" E OPERE CONNESSE | Identificativo Documento n. FV-SAG-PD-R10-0 | Rev. 0 | Pagina 27/41 |
|---|---|------------------|------------------------|

Tab. 4.1 – Classificazione Sismica dei comuni dell'Emilia-Romagna, DGR n. 1164 del 23 luglio 2018



In base a tale classificazione il **Comune di Terre del Reno** rientra tra i territori classificati in **Zona 3**, zona, attribuita a comuni nei quali il pericolo sismico è relativamente basso

In base alle norme tecniche per le costruzioni, contenute nel D.M. 17/01/18, si devono definire i parametri sismici in funzione delle coordinate geografiche del sito e del tempo di ritorno.

La sicurezza e le prestazioni di un'opera o di una parte di essa devono essere valutate in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale. Lo "stato limite" è la condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata.

La stima viene condotta con il foglio di calcolo **Spettri-NTC ver. 1.0.3** rilasciato dal **Consiglio dei Lavori Pubblici**. Per l'uso del suddetto foglio di calcolo occorrono le coordinate espresse in gradi sessagesimali e nel sistema di riferimento ED50.

Individuate le coordinate ED50: *Long. 11,416292 - Lat. 44,792687* si determinano i parametri:

- **a_g**: accelerazione orizzontale massima al sito;
- **F_o**: valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- **T_{c*}**: periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;

in funzione del periodo di ritorno come disposto dalle NTC18.

Di seguito sono riportate le elaborazioni del foglio di calcolo ***Spettri-NTC ver. 1.0.3***

| | | | |
|--|--|-----------|-----------------|
| Progetto: IMPIANTO FOTOVOLTAICO DI POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 5.500,00 kW SITO NEL COMUNE DI TERRE DEL RENO (FE) DENOMINATO "SANT'AGOSTINO" E OPERE CONNESSE | Identificativo Documento n. FV-SAG-PD-R10-0 | Rev. 0 | Pagina 28/41 |
|--|--|-----------|-----------------|

| FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO | | | |
|---|---------------------------|------------------------|-------------------------|
| <input checked="" type="radio"/> Ricerca per coordinate | LONGITUDINE 11,41629 | LATITUDINE 44,79269 | |
| <input type="radio"/> Ricerca per comune | REGIONE Emilia-Romagna | PROVINCIA Ferrara | COMUNE Sant'Agostino |

Valori dei parametri a_g , F_0 , T_C^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento

| T_R [anni] | a_g [g] | F_0 [-] | T_C^* [s] |
|-----------------|--------------|--------------|----------------|
| 30 | 0,040 | 2,547 | 0,255 |
| 50 | 0,053 | 2,461 | 0,269 |
| 72 | 0,062 | 2,498 | 0,276 |
| 101 | 0,075 | 2,531 | 0,268 |
| 140 | 0,088 | 2,606 | 0,262 |
| 201 | 0,105 | 2,583 | 0,269 |
| 475 | 0,152 | 2,589 | 0,271 |
| 975 | 0,204 | 2,538 | 0,278 |
| 2475 | 0,292 | 2,437 | 0,292 |

Fig. 4.1 – Parametri a_g , F_0 , T_C^* di cui al D.M. 17/01/2018 elaborati con Spettri-NTC ver. 1.0.3

Assumendo un tempo di ritorno pari a 475 anni, attraverso il software "Spettri NTC ver. 1.0.3" è stata individuata un'Accelerazione orizzontale massima pari a:

- $a_g = 0,152 \text{ g}$

4.2 Magnitudo di riferimento

L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) ha mappato il territorio nazionale in zone sismogenetiche, tale mappatura, elaborata nel 2004, viene chiamata ufficialmente **ZS9** (v. Fig. seguente). La realizzazione della zonazione è basata su un modello cinematico di riferimento per il Mediterraneo centrale, sulle evidenze che emergono dai più recenti studi di tettonica attiva e sulla individuazione delle sorgenti sismogenetiche (tra i quali il Database of Potential Sources for Earthquakes Larger than M5.5 in Italy, DISS 2.0, Valensise e Pantosti, 2001) e sul catalogo dei terremoti CPTI04 (Gruppo di Lavoro CPTI, 2004).

ZS9 è composta di 36 aree poligonali, caratterizzate da comportamento tettonico e cinematico omogeneo e definite principalmente per l'utilizzo con metodi convenzionali di valutazione in termini probabilistici della pericolosità sismica.

| | | | |
|---|---|------------------|------------------------|
| Progetto: IMPIANTO FOTOVOLTAICO DI POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 5.500,00 kW SITO NEL COMUNE DI TERRE DEL RENO (FE) DENOMINATO "SANT'AGOSTINO" E OPERE CONNESSE | Identificativo Documento n. FV-SAG-PD-R10-0 | Rev. 0 | Pagina 29/41 |
|---|---|------------------|------------------------|

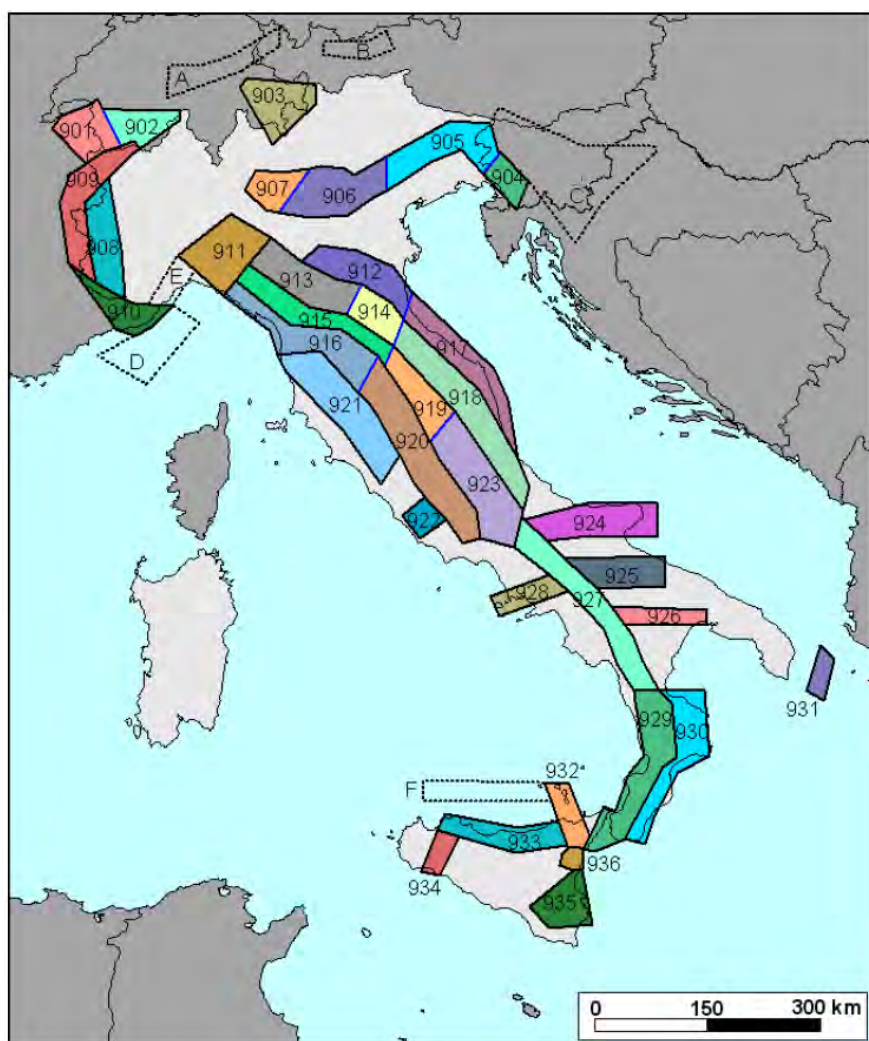


Fig. 4.2 – Zonizzazione sismogenetica ZS9 - Gruppo di lavoro per la redazione di pericolosità sismica (OPCM n. 3274) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Come si evince dalla figura la Provincia di Ferrara rientra parzialmente nella **zona sismogenetica 912** che coincide con l'area geologica denominata "**Dorsale Ferrarese**". I caratteri che contraddistinguono la zona 912 sono riportati nella seguente figura.

| | | | |
|--|---|--------|--------------|
| Progetto: IMPIANTO FOTOVOLTAICO DI POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 5.500,00 kW SITO NEL COMUNE DI TERRE DEL RENO (FE) DENOMINATO "SANT'AGOSTINO" E OPERE CONNESSE | Identificativo Documento n. FV-SAG-PD-R10-0 | Rev. 0 | Pagina 30/41 |
|--|---|--------|--------------|

| nome ZS | N ZS | MwMax1 | Tassi AR | MwMax2 | b | Tassi da CO-04.2 | Tassi da GR | Azione | Tassi GR adottati |
|----------------------------|------|--------|----------|--------|-------|------------------|-------------|--------|-------------------|
| Savoia | 901 | 5.91 | 0.21 | 6.14 | -1.18 | 0.14 | 0.11 | A | 0.11 |
| Vallese | 902 | 6.14 | 0.14 | 6.14 | -1.26 | 0.14 | 0.19 | A | 0.14 |
| Grigioni-Valtellina | 903 | 5.91 | 0.21 | 6.14 | -1.26 | 0.14 | 0.23 | A | 0.14 |
| Trieste -Monte Nevoso | 904 | 5.68 | 0.42 | 6.14 | -1.12 | 0.14 | 0.14 | A | 0.14 |
| Friuli -Veneto Orientale | 905 | 6.60 | 0.33 | 6.60 | -1.05 | 0.11 | 0.37 | B | 0.37 |
| Garda-Veronese | 906 | 6.60 | 0.11 | 6.60 | -1.14 | 0.11 | 0.11 | A | 0.11 |
| Bergamasco | 907 | 5.91 | 0.14 | 6.14 | -1.71 | 0.14 | 0.03 | C | 0.04 |
| Piemonte | 908 | 5.68 | 0.21 | 6.14 | -1.91 | 0.14 | 0.03 | C | 0.04 |
| Alpi Occidentali | 909 | 5.68 | 0.21 | 6.14 | -1.27 | 0.14 | 0.10 | A | 0.10 |
| Nizza-Sanremo | 910 | 6.37 | 0.14 | 6.37 | -1.12 | 0.14 | 0.14 | A | 0.14 |
| Tortona-Bobbio | 911 | 5.68 | 0.21 | 6.14 | -1.47 | 0.14 | 0.05 | A | 0.05 |
| Dorsale Ferrarese | 912 | 6.14 | 0.12 | 6.14 | -1.35 | 0.12 | 0.13 | A | 0.12 |
| Appennino Emiliano-Romagn. | 913 | 5.91 | 0.14 | 6.14 | -1.80 | 0.14 | 0.07 | A | 0.07 |
| Forlivese | 914 | 5.91 | 0.57 | 6.14 | -1.33 | 0.14 | 0.26 | A | 0.14 |
| Garfagnana-Mugello | 915 | 6.60 | 0.14 | 6.60 | -1.34 | 0.14 | 0.11 | A | 0.11 |
| Versilia-Chianti | 916 | 5.68 | 0.21 | 6.14 | -1.96 | 0.14 | 0.02 | C | 0.04 |
| Rimini-Ancona | 917 | 6.14 | 0.12 | 6.14 | -1.04 | 0.12 | 0.43 | A | 0.12 |
| Medio-Marchigiana/Abruzz. | 918 | 6.37 | 0.14 | 6.37 | -1.10 | 0.14 | 0.37 | A | 0.14 |
| Appennino Umbro | 919 | 6.37 | 0.25 | 6.37 | -1.22 | 0.12 | 0.26 | B | 0.26 |
| Val di Chiana-Ciociaria | 920 | 5.68 | 0.28 | 6.14 | -1.96 | 0.14 | 0.06 | A | 0.06 |
| Etruria | 921 | 5.91 | 0.14 | 6.14 | -2.00 | 0.14 | 0.05 | A | 0.05 |
| Colli Albani | 922 | 5.45 | 0.42 | 5.45 | -2.00 | 0.21 | 0.37 | B | 0.37 |
| Appennino Abruzzese | 923 | 7.06 | 0.14 | 7.06 | -1.05 | 0.14 | 0.25 | A | 0.14 |
| Molise-Gargano | 924 | 6.83 | 0.17 | 6.83 | -1.04 | 0.17 | 0.13 | A | 0.13 |
| Ofanto | 925 | 6.83 | 0.17 | 6.83 | -0.67 | 0.17 | 0.28 | A | 0.17 |
| Basento | 926 | 5.91 | 0.21 | 6.14 | -1.28 | 0.21 | 0.10 | A | 0.10 |
| Sannio-Irpinia -Basilicata | 927 | 7.06 | 0.33 | 7.06 | -0.74 | 0.17 | 0.43 | B | 0.43 |
| Ischia-Vesuvio | 928 | 5.91 | 0.21 | 5.91 | -1.04 | 0.21 | 0.35 | A | 0.21 |
| Calabria Tirrenica | 929 | 7.29 | 0.17 | 7.29 | -0.82 | 0.17 | 0.33 | A | 0.17 |
| Calabria Ionica | 930 | 6.60 | 0.17 | 6.60 | -0.98 | 0.17 | 0.23 | A | 0.17 |
| Canale d'Otranto | 931 | 6.83 | 0.21 | 6.83 | -0.63 | 0.21 | 0.22 | A | 0.21 |
| Eolie-Patti | 932 | 6.14 | 0.21 | 6.14 | -1.21 | 0.21 | 0.25 | A | 0.21 |
| Sicilia settentrionale | 933 | 6.14 | 0.21 | 6.14 | -1.39 | 0.21 | 0.20 | A | 0.20 |
| Belice | 934 | 6.14 | 0.21 | 6.14 | -0.96 | 0.21 | 0.20 | A | 0.20 |
| Iblei | 935 | 7.29 | 0.12 | 7.29 | -0.72 | 0.12 | 0.13 | A | 0.12 |
| Etna | 936 | 5.45 | 0.33 | 5.45 | -1.63 | 0.33 | 0.57 | A | 0.33 |

Fig. 4.3 – Caratteristiche principali delle zone sismogenetiche ZS9

Si deduce dalla tabella che per la zona 912 (Dorsale Ferrarese) i valori di magnitudo massima previsti, sulla base dei meccanismi focali, sono pari a **Mwmax = 6,14**.

4.3 Classificazione sismica del sottosuolo secondo il DM 17/01/2018

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 Tab. 3.2.II (v. Tab. seguente), 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

| | | | |
|---|---|------------------|------------------------|
| Progetto: IMPIANTO FOTOVOLTAICO DI POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 5.500,00 kW SITO NEL COMUNE DI TERRE DEL RENO (FE) DENOMINATO "SANT'AGOSTINO" E OPERE CONNESSE | Identificativo Documento n. FV-SAG-PD-R10-0 | Rev. 0 | Pagina 31/41 |
|---|---|------------------|------------------------|

l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo. I valori di V_s sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

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:

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

Per 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.

Per il lavoro in oggetto si è quindi fatto riferimento a tale valore di velocità equivalente riferito al parametro V_{s30} , potendo classificare il sottosuolo con riferimento alla Tabella 3.2.II delle NTC18, di seguito riportata.

| Tab. 4.2 – Categorie di sottosuolo secondo il D.M. 17/01/2018 (Tabella 3.2.II) | | |
|---|--|--|
| Categoria | Descrizione | $V_{s,30}$ (m/s) |
| 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. | > 800 |
| 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. | 360 ÷ 800 |
| 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). | 180 ÷ 360 |

| | | | |
|---|---|------------------|------------------------|
| Progetto: IMPIANTO FOTOVOLTAICO DI POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 5.500,00 kW SITO NEL COMUNE DI TERRE DEL RENO (FE) DENOMINATO "SANT'AGOSTINO" E OPERE CONNESSE | Identificativo Documento n. FV-SAG-PD-R10-0 | Rev. 0 | Pagina 32/41 |
|---|---|------------------|------------------------|

| Tab. 4.2 – Categorie di sottosuolo secondo il D.M. 17/01/2018 (Tabella 3.2.II) | | |
|--|---|---------------------|
| Categoria | Descrizione | $V_{s,30}$ (m/s) |
| D | <i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i> | 100÷ 180 |
| E | <i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m</i> | --- |

Dall'elaborazione dei dati registrati attraverso la prova SCPTU è emersa una V_{s30} pari a **165,13 m/s** e di conseguenza il suolo risulta appartenente alla **Categoria D**: *“Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.*

| | | | |
|---|---|------------------|------------------------|
| Progetto: IMPIANTO FOTOVOLTAICO DI POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 5.500,00 kW SITO NEL COMUNE DI TERRE DEL RENO (FE) DENOMINATO "SANT'AGOSTINO" E OPERE CONNESSE | Identificativo Documento n. FV-SAG-PD-R10-0 | Rev. 0 | Pagina 33/41 |
|---|---|------------------|------------------------|

5 VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE

5.1 Generalità sul fenomeno

Secondo la definizione data nell'Eurocodice 8 e dall'OPCM 3274/2003:

"la liquefazione denota una diminuzione di resistenza a taglio e/o di rigidità causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico, tale da generare deformazioni permanenti significative o persino l'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno."

Nel contesto considerato, il problema principale che si pone in fase di progettazione è la suscettibilità alla liquefazione quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limo-argillosa. In altre parole è necessario valutare il potenziale di liquefazione del terreno ove deve essere realizzata la costruzione.

Le ricerche che hanno portato all'evoluzione delle conoscenze dei parametri più significativi ed alla formulazione di metodi empirici e di analisi dinamica hanno preso avvio a partire dai terremoti di Nijgata dell'Alaska (1964).

Sono emersi così i primi criteri empirici di previsione, basati sulle caratteristiche granulometriche e sullo stato di addensamento; a tali criteri hanno fatto seguito metodi più raffinati e complessi capaci di tenere conto di un numero di parametri sempre più elevato.

Il quadro dei metodi oggi disponibili è quanto mai vario e va da criteri basati su soli dati geologici qualitativi (età del deposito, origine, stratigrafia, profondità della falda, ecc.) a metodi di analisi dinamica molto sofisticati, basati sulla valutazione della pressione effettiva della risposta sismica locale e su complesse prove di laboratorio.

Questi metodi si basano sul confronto fra le sollecitazioni di taglio che producono liquefazione e quelle indotte dal terremoto, ovvero fra gli stati tensionali che producono liquefazione o livelli di deformazione critici e gli stati tensionali indotti dalle onde sismiche nella loro propagazione. A tal fine richiedono la determinazione di parametri relativi sia all'evento sismico sia ai terreni di fondazione, valutati questi ultimi o con prove di laboratorio o con prove in situ; la loro applicazione richiede quindi:

- la valutazione della resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclici in condizioni non drenate, mediante correlazioni basate su prove in situ e/o di laboratorio;
- calcolo delle sollecitazioni di taglio indotte dall'evento sismico di riferimento.

La valutazione quantitativa del rischio liquefazione viene quindi fatta dal confronto fra le tensioni indotte nel terreno dall'evento sismico e la capacità di resistenza alle azioni dinamiche del terreno.

5.2 Valutazione del rischio di liquefazione del sito

Il pericolo liquefazione deve essere accertato in base alla possibilità di concomitanza di:

- **fattori scatenanti** (caratteristiche dei terremoti attesi: sismicità della zona);
- **fattori predisponenti** (suscettibilità dei terreni: presenza di banchi di terreni incoerenti poco addensati e presenza di falda).

Le normative che regolano la materia sono:

- O.P.C.M. 3274/03;

| | | | |
|---|---|------------------|------------------------|
| Progetto: IMPIANTO FOTOVOLTAICO DI POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 5.500,00 kW SITO NEL COMUNE DI TERRE DEL RENO (FE) DENOMINATO "SANT'AGOSTINO" E OPERE CONNESSE | Identificativo Documento n. FV-SAG-PD-R10-0 | Rev. 0 | Pagina 34/41 |
|---|---|------------------|------------------------|

- D.M. 17/01/2018 (NTC18);
- DGR 2193/2015 aggiornata dalla DGR 630 del 29/04/2019 e successivamente dalle DGR 476 del 12/04/2021 e 564 del 26/04/2021

Proprio in relazione a quest'ultima normativa citata, prima della vera e propria verifica della suscettibilità di liquefazione, le NTC propongono una griglia di casi per i quali il sito d'indagine non presenta possibilità di liquefazione dei terreni.

In particolare le NTC recitano che: **La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:**

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di $0,1g$;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$

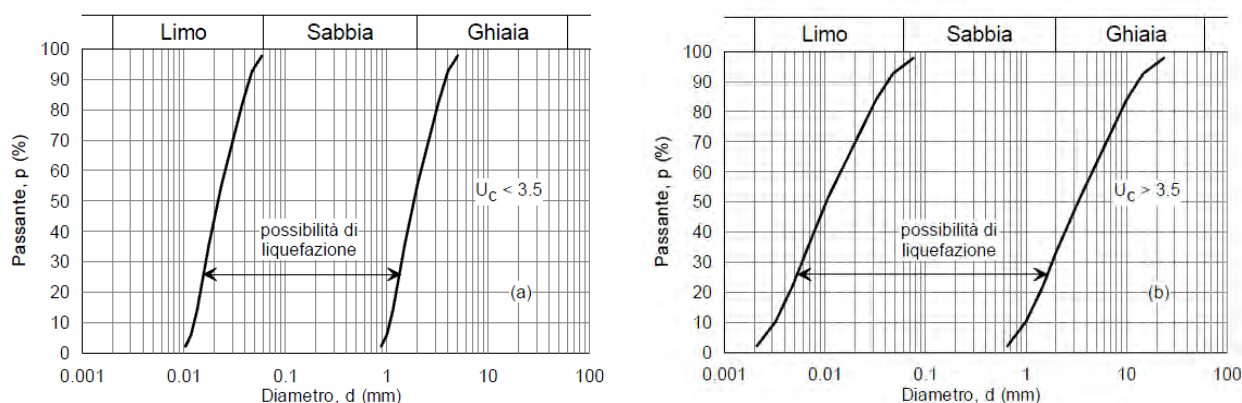


Fig. 5.1 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione (tratto Figura 7.11.1 (a) e (b) del D.M. 17/01/2018)

Ai sensi dell'art. 2.3 dell'Allegato 4 dell' O.P.C.M. 3274/03 la verifica della suscettibilità a liquefazione può essere omessa quando:

- il terreno sabbioso saturo si trova a profondità superiore a 15 m dal piano campagna;
- $ag < 0,15g$ e al contempo lo strato granulare da verificare soddisfa almeno una delle seguenti condizioni:
 - contenuto di argilla superiore al 20% con indice di plasticità > 10 ;
 - contenuto di limo superiore al 35% e resistenza $N1(60) > 20$;
 - frazione fine trascurabile e resistenza $N1(60) > 25$

| | | | |
|---|---|------------------|------------------------|
| Progetto: IMPIANTO FOTOVOLTAICO DI POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 5.500,00 kW SITO NEL COMUNE DI TERRE DEL RENO (FE) DENOMINATO "SANT'AGOSTINO" E OPERE CONNESSE | Identificativo Documento n. FV-SAG-PD-R10-0 | Rev. 0 | Pagina 35/41 |
|---|---|------------------|------------------------|

dove $N1(60)$ è il valore della resistenza penetrometrica NSPT misurato in una prova Standard Penetration Test, normalizzato ad uno sforzo efficace di confinamento e ad un fattore di rendimento energetico 0,6 nell'esecuzione della prova.

Quando nessuna delle precedenti condizioni è soddisfatta, la suscettibilità alla liquefazione deve essere verificata come minimo mediante i metodi generalmente accettati dall'ingegneria geotecnica, basati su correlazioni di campagna tra misure in sito e valori critici dello sforzo ciclico di taglio che hanno causato liquefazione durante terremoti passati.

La valutazione quantitativa della suscettibilità alla liquefazione può essere eseguita mediante "metodi semplificati" attraverso la stima di un coefficiente di sicurezza:

$$F_L(z) = \frac{CRR_{M=7.5; \sigma'_{v0}=1atm}}{CSR} \cdot MSF \cdot K_\sigma \quad (\text{DGR Emilia Romagna 21/12/2015 n.2193 e n.630 del 29/04/2019})$$

Dove:

- **CRR (Cyclic Resistange Ratio):** rappresenta la capacità di resistenza del terreno alla liquefazione; è il rapporto di resistenza ciclica, ovvero la resistenza normalizzata rispetto alla tensione verticale efficace iniziale σ'_{v0} , per terremoto di magnitudo $M=7,5$ e pressione efficace di riferimento $\sigma_{v0} = 1atm$;
- K_σ è il fattore di correzione che tiene conto della pressione efficace alla profondità a cui la resistenza viene valutata;
- **CSR (Cyclic Stress Ratio)** rappresenta la domanda di resistenza ciclica del terreno alla liquefazione; è la tensione indotta dal terremoto:

$$CSR = \frac{\tau_{medio}}{\sigma'_{v0}} = 0,65 \cdot \frac{a_{max,s}}{g} \cdot \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \cdot r_d$$

dove:

- $a_{max,s}$ è il picco di accelerazione al piano campagna del terremoto di riferimento;
- g è l'accelerazione di gravità;
- σ_{v0} e σ'_{v0} sono rispettivamente la tensione verticale totale e la tensione verticale efficace alla profondità considerata;
- r_d è un coefficiente riduttivo dell'azione sismica che porta in conto la deformabilità del sottosuolo (in letteratura vari autori hanno proposto relazioni per la sua stima);
- **MSF** è un fattore di scala funzione della magnitudo dei terremoti attesi. In letteratura vari autori hanno proposto relazioni per la sua stima. Nel programma utilizzato descritto al paragrafo seguente le opzioni sono per gli autori Robertson, Idriss & Boulanger (2008-2014) e Moss (2006).

| | | | |
|---|---|------------------|------------------------|
| Progetto: IMPIANTO FOTOVOLTAICO DI POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 5.500,00 kW SITO NEL COMUNE DI TERRE DEL RENO (FE) DENOMINATO "SANT'AGOSTINO" E OPERE CONNESSE | Identificativo Documento n. FV-SAG-PD-R10-0 | Rev. 0 | Pagina 36/41 |
|---|---|------------------|------------------------|

Alcuni metodi semplificati che possono essere utilizzati per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna si riferiscono direttamente ad alcune tipologie di prove in sito (SPT, CPTu, DMT) e al profilo della V_s .

5.2.1 Valutazione del rischio di liquefazione del sito

La valutazione del rischio di liquefazione del sito è stata eseguita con il programma *Cliq* sulla base dei dati desunti dalle prove penetrometriche eseguite. Per poter eseguire la valutazione del rischio occorre definire:

- il sisma atteso per il sito ossia occorre individuare una magnitudo di riferimento – v. par. 4.2;
- l'accelerazione massima attesa sul sito in esame. Per calcolarla si è fatto riferimento alle indicazioni contenute nel paragrafo 7.11.3.2 delle NTC 2018.

In particolare la formula utilizzata è la seguente:

$$a_{\max} = S \cdot a_g$$

Il fattore di amplificazione (S) è stato calcolato sulla base delle indicazioni contenute nel DGR 630/2019, ed in particolare facendo riferimento ai valori contenuti nella seguente tabella dell'allegato 2:

PIANURA 2: settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m da p.c. e dal tetto del substrato rigido a circa 150 m da p.c.;

| | | | | | | |
|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| V_{s30} (m/s) → | 150 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 |
| PGA | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,6 | 1,5 | 1,5 |

Fig. 5.2 – Tabella dei fattori di amplificazione Pianura 2

Nel caso in esame, essendo il valore di V_{s30} ricavato dalle prove eseguite in sito è risultata pari a 165,13 m/s, pertanto il corrispondente valore del **F.A. (fattore di amplificazione) applicato sarà pari a 1,7**.

Per quanto riguarda l'amplificazione topografica, sulla base delle indicazioni contenute nella DGR 630/2019 Allegato 2 punto A2.2 "Effetti della topografia", questa può essere trascurata per pendii con inclinazione media inferiore a 15°.

Quindi il valore di accelerazione massima sarà:

$$a_{\max} = 1,7 \cdot 0,152 = 0,25g = 2,53 \text{ m/s}^2$$

| | | | |
|---|---|------------------|------------------------|
| Progetto: IMPIANTO FOTOVOLTAICO DI POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 5.500,00 kW SITO NEL COMUNE DI TERRE DEL RENO (FE) DENOMINATO "SANT'AGOSTINO" E OPERE CONNESSE | Identificativo Documento n. FV-SAG-PD-R10-0 | Rev. 0 | Pagina 37/41 |
|---|---|------------------|------------------------|

➤ Programma utilizzato

I dati acquisiti con le prove penetrometriche sono stati elaborati con il programma Cliq della Geologismiki Geotechnical Software. Tale programma utilizza correlazioni empiriche per valutare i parametri geotecnici alla base dei fenomeni di liquefazione e restituisce il calcolo dell'indice di potenziale liquefazione e dei cedimenti post terremoto.

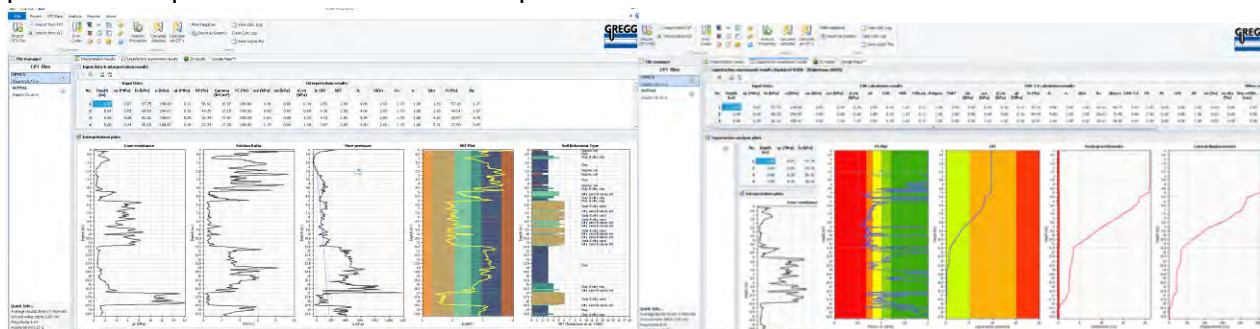


Fig. 5.3 – Esempi di schermate tratta dal software Cliq

➤ Valutazione degli effetti della liquefazione

Come indicato nelle Linee Guida AGI "Aspetti geotecnici della progettazione in zone sismiche" (2005) alcune metodologie semplificate consentono, seppure con sensibili approssimazioni, di stimare gli effetti della liquefazione. Allo stesso modo anche la DGR 630/19 Allegato 3 punto A.2 permette l'utilizzo di metodi semplificati

L'indice del potenziale di liquefazione, I_L , è definito dalla seguente relazione:

$$I_L = \int_0^{z_{crit}} F(z) \cdot w(z) \cdot dz \quad \text{in cui} \quad w(z) = \frac{200}{z_{crit}} \cdot \left(1 - \frac{z}{z_{crit}}\right)$$

z_{crit} è la profondità critica, ovvero la profondità massima entro la quale può verificarsi la liquefazione, che di norma si assume pari a 20 m.

La variabile $F(z)$ vale (Sonmez, 2003):

$$\begin{aligned} F(z) &= 0 && \text{per } F_L \geq 1.2 \\ F(z) &= 2 \cdot 10^6 \cdot \exp(-18.427 \cdot F_L) && \text{per } 1.2 \leq F_L \leq 0.95 \\ F(z) &= 1 - F_L && \text{per } F_L \leq 0.95 \end{aligned}$$

Per poter valutare la potenza degli effetti, la DGR 630/2019 propone la scala riportata nella figura seguente (Sonmez, 2003):

| | |
|-------------------|--------------------------------------|
| $I_L = 0$ | Non liquefacibile ($F_L \geq 1.2$) |
| $0 < I_L \leq 2$ | Potenziale basso |
| $2 < I_L \leq 5$ | Potenziale moderato |
| $5 < I_L \leq 15$ | Potenziale alto |
| $15 < I_L$ | Potenziale molto alto |

Fig. 5.4 – Scala del Potenziale di Liquefazione (Sonmez, 2003)

| | | | |
|---|---|------------------|------------------------|
| Progetto: IMPIANTO FOTOVOLTAICO DI POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 5.500,00 kW SITO NEL COMUNE DI TERRE DEL RENO (FE) DENOMINATO "SANT'AGOSTINO" E OPERE CONNESSE | Identificativo Documento n. FV-SAG-PD-R10-0 | Rev. 0 | Pagina 38/41 |
|---|---|------------------|------------------------|

Nell'immagine seguente si riportano i risultati ottenuti dalle elaborazioni eseguite mediante il software C-Liq (v. All. 3).

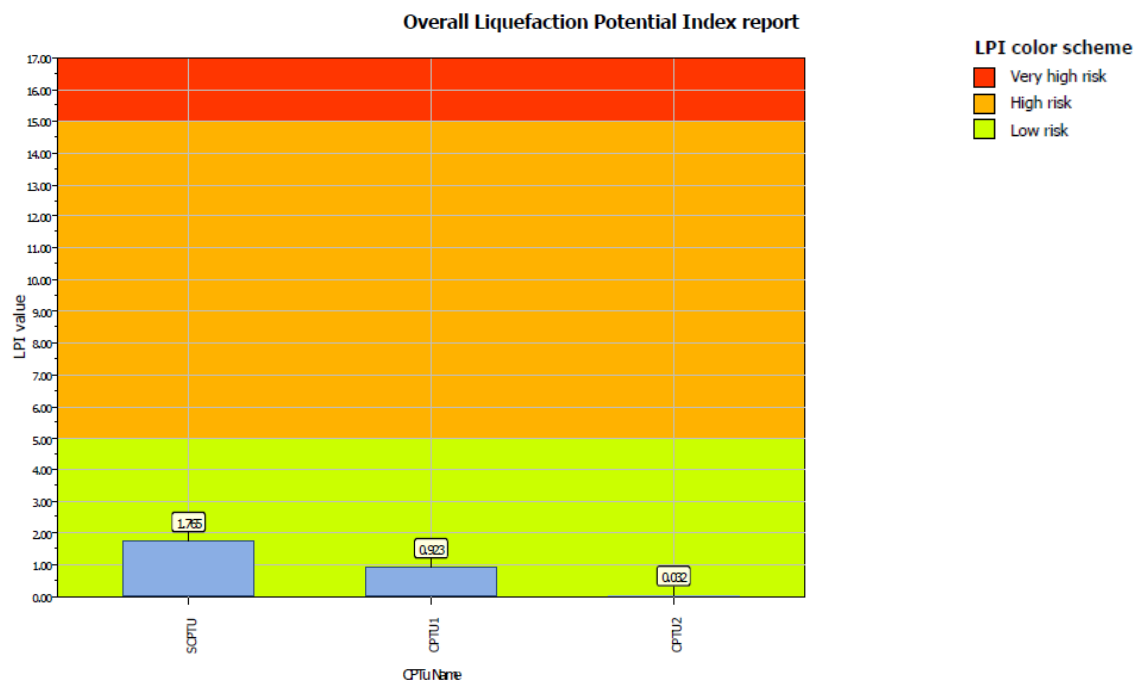


Figura 5.4: Indice del potenziale di Liquefazione calcolato

Dall'elaborazione dei risultati delle prove penetrometriche eseguite nell'area in esame, è stato rilevato un potenziale di liquefazione **"nullo" ovvero "non liquefacibile" per le prove CPTu1 e 2 o "basso" per la sola prova SCPTu.**

| | | | |
|---|---|------------------|------------------------|
| Progetto: IMPIANTO FOTOVOLTAICO DI POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 5.500,00 kW SITO NEL COMUNE DI TERRE DEL RENO (FE) DENOMINATO "SANT'AGOSTINO" E OPERE CONNESSE | Identificativo Documento n. FV-SAG-PD-R10-0 | Rev. 0 | Pagina 39/41 |
|---|---|------------------|------------------------|

7 STIMA DELLA RESISTENZA DEL SISTEMA GEOTECNICO

7.1 Premessa

Nel presente punto è stata effettuata una stima della resistenza del sistema geotecnico in base alle disposizioni del **D.M. 17 gennaio 2018**, noto come "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni" e/o anche con l'acronimo NTC 2018.

La normativa in questione disciplina la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle costruzioni al fine di garantire prestabiliti livelli di sicurezza nei riguardi della pubblica incolumità. La sicurezza e le prestazioni di una struttura vanno valutate in relazione all'insieme degli "stati limite" che si possono verificare durante la vita utile del progetto.

Il punto 6.2.4.1 del D.M. 17/01/18 stabilisce che per ogni stato limite ultimo, che preveda il raggiungimento della resistenza di un elemento strutturale (STR) o del terreno (GEO), deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove:

E_d = valore di progetto o dell'effetto dell'azione;

R_d = valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

Lo stesso punto dispone che:

"La verifica della suddetta condizione deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R2 e R3)".

In pratica nelle diverse condizioni di carico si deve tener conto di opportuni gruppi di coefficienti che variano a base alle diverse combinazioni.

7.2 Parametri e coefficienti sismici determinati in base al D.M. 17/01/18

In base alle norme tecniche per le costruzioni, contenute nel D.M. 17/01/18, si devono definire i parametri sismici in funzione delle coordinate geografiche del sito e della classe d'uso della costruzione.

La sicurezza e le prestazioni di un'opera o di una parte di essa devono essere valutate in relazione agli stati limite che si possono verificare durante la vita nominale.

Lo "stato limite" è la condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata.

I coefficienti sismici, determinati in base alla posizione geografica del sito (latitudine e longitudine), sono funzione di parametri caratteristici definiti dalla normativa; nella seguente tabella sono elencati i valori per il caso in esame.

| | | | |
|---|---|------------------|------------------------|
| Progetto: IMPIANTO FOTOVOLTAICO DI POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 5.500,00 kW SITO NEL COMUNE DI TERRE DEL RENO (FE) DENOMINATO "SANT'AGOSTINO" E OPERE CONNESSE | Identificativo Documento n. FV-SAG-PD-R10-0 | Rev. 0 | Pagina 40/41 |
|---|---|------------------|------------------------|

Tab. 7.1 - Parametri per la determinazione dei coefficienti sismici.

| Parametro | Valore | Riferimento D.M. 17/01/18 | Osservazioni / Considerazioni |
|---|---------------------|---|---|
| V_N Vita nominale | 50 anni | Tabella 2.4.I <i>"Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari"</i> | La vita nominale (V _N) di un'opera strutturale è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. |
| Classe d'uso | Classe II | Punto 2.4.2 | Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti. |
| C_U Coefficiente d'uso | 1,0 | Tabella 2.4.II per la Classe II | Il valore del coefficiente d'uso C _U è definito al variare della classe d'uso. |
| V_R Periodo di riferimento per l'azione sismica | 50 anni | Punto 2.4.3 | Le azioni sismiche sulle costruzioni vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V _R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale di progetto V _N per il coefficiente d'uso C _U : $V_R = V_N \times C_U$ |
| Categoria del sottosuolo | Categoria D | Tabella 3.2.II | <i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s</i> |
| Categoria topografica | Categoria T1 | Tabella 3.2.III <i>Superficie piane, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$</i> | È funzione delle caratteristiche della superficie topografica |

Al fine di determinare i parametri e coefficienti sismici, di seguito elencati, è stato utilizzato un software dedicato distribuito da Geostru Software (http://www.geostru.com/geoapp/Parametri_Sismici.aspx) utilizzando come dati di input i dati della tabella precedente.

| | | | |
|---|---|------------------|------------------------|
| Progetto: IMPIANTO FOTOVOLTAICO DI POTENZA IN IMMISSIONE PARI A 5.500,00 kW SITO NEL COMUNE DI TERRE DEL RENO (FE) DENOMINATO "SANT'AGOSTINO" E OPERE CONNESSE | Identificativo Documento n. FV-SAG-PD-R10-0 | Rev. 0 | Pagina 41/41 |
|---|---|------------------|------------------------|

Ubicazione: Via del Commercio – Terre del Reno (FE)



Stati limite



Classe Edificio

II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...



Vita Nominale

50



Interpolazione

Media ponderata

CU = 1

| Stato Limite | Tr [anni] | a_g [g] | F_o | T_c^* [s] |
|--|-----------|-----------|-------|-------------|
| Operatività (SLO) | 30 | 0.040 | 2.544 | 0.256 |
| Danno (SLD) | 50 | 0.053 | 2.461 | 0.269 |
| Salvaguardia vita (SLV) | 475 | 0.152 | 2.589 | 0.271 |
| Prevenzione collasso (SLC) | 975 | 0.205 | 2.538 | 0.278 |
| Periodo di riferimento per l'azione sismica: | 50 | | | |

I valori T_r , a_g , T_c^* si ricavano in base alla alla posizione del sito (latitudine e longitudine).

* I coefficienti **Ss**, **Cc**, e **St** sono determinati con riferimento al punto 3.2.3 ("VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA") del D.M. 17/01/18; nel prospetto sono riportati gli estremi superiori del range di variabilità.

I coefficienti sismici **Kh**, **Kv**, **Amax** e **Beta** sono funzione dell'opera:

- Opere di sostegno punto 7.11.6 del D.M.
- Stabilità dei pendii e fondazioni punto 7.11.3.5 del D.M.
- Paratie punto 7.11.6.3 del D.M.

Coefficienti sismici

Tipo Stabilità dei pendii e fondazioni

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

H (m) 1 us (m) 0.1

Cat. Sottosuolo D

Cat. Topografica T1

| | SLO | SLD | SLV | SLC |
|---------------------------------|------|------|------|------|
| SS Amplificazione stratigrafica | 1,80 | 1,80 | 1,80 | 1,62 |
| CC Coeff. funz categoria | 2,47 | 2,41 | 2,40 | 2,37 |
| ST Amplificazione topografica | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |

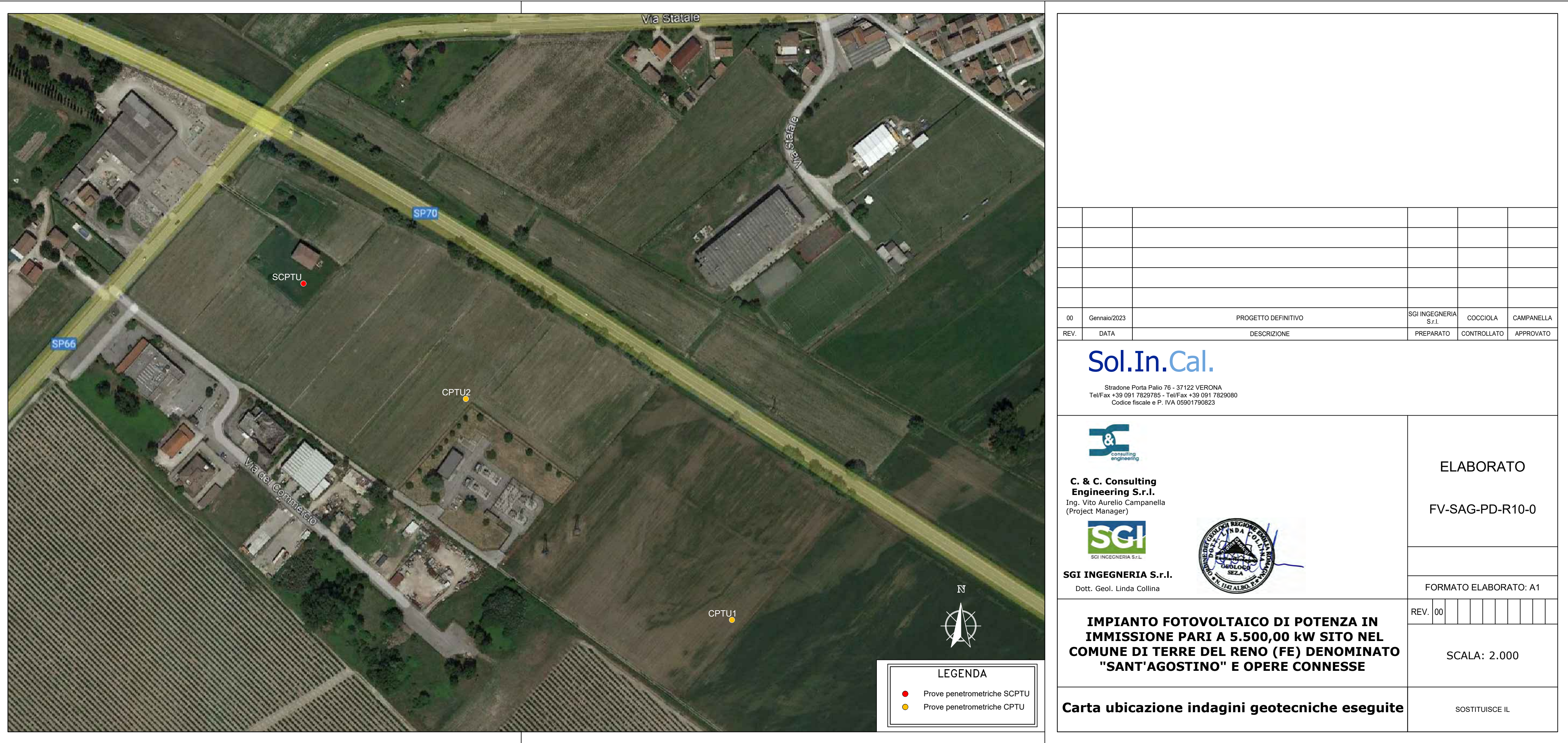
☐ Acc.ne massima attesa al sito [m/s²] 0.6

| Coefficienti | SLO | SLD | SLV | SLC |
|----------------|-------|-------|-------|-------|
| kh | 0.014 | 0.019 | 0.066 | 0.093 |
| k _v | 0.007 | 0.010 | 0.033 | 0.046 |
| Amax [m/s²] | 0.708 | 0.932 | 2.689 | 3.249 |
| Beta | 0.200 | 0.200 | 0.240 | 0.280 |

Ferrara, Gennaio 2023

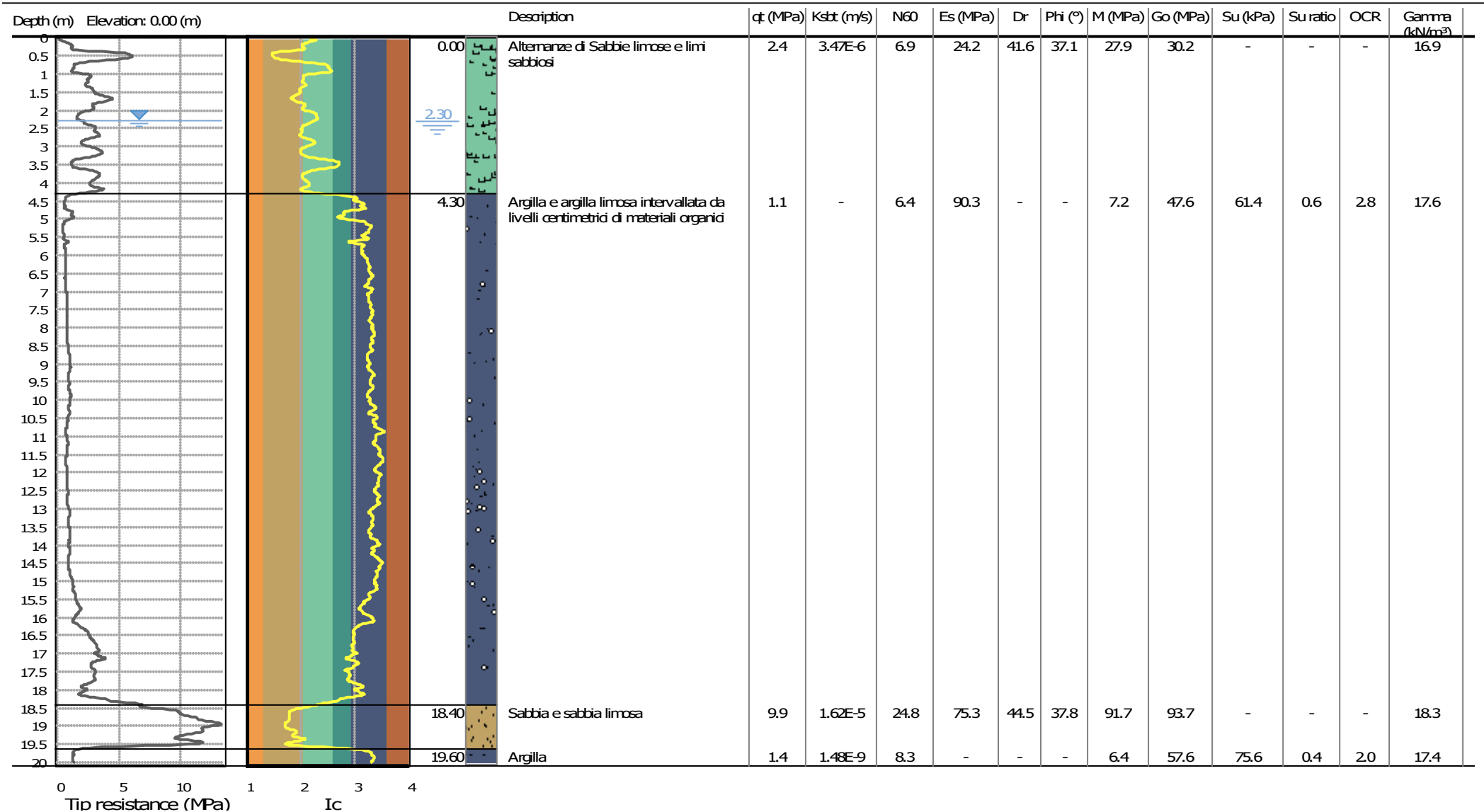
Dott.ssa Geol. Linda Collina

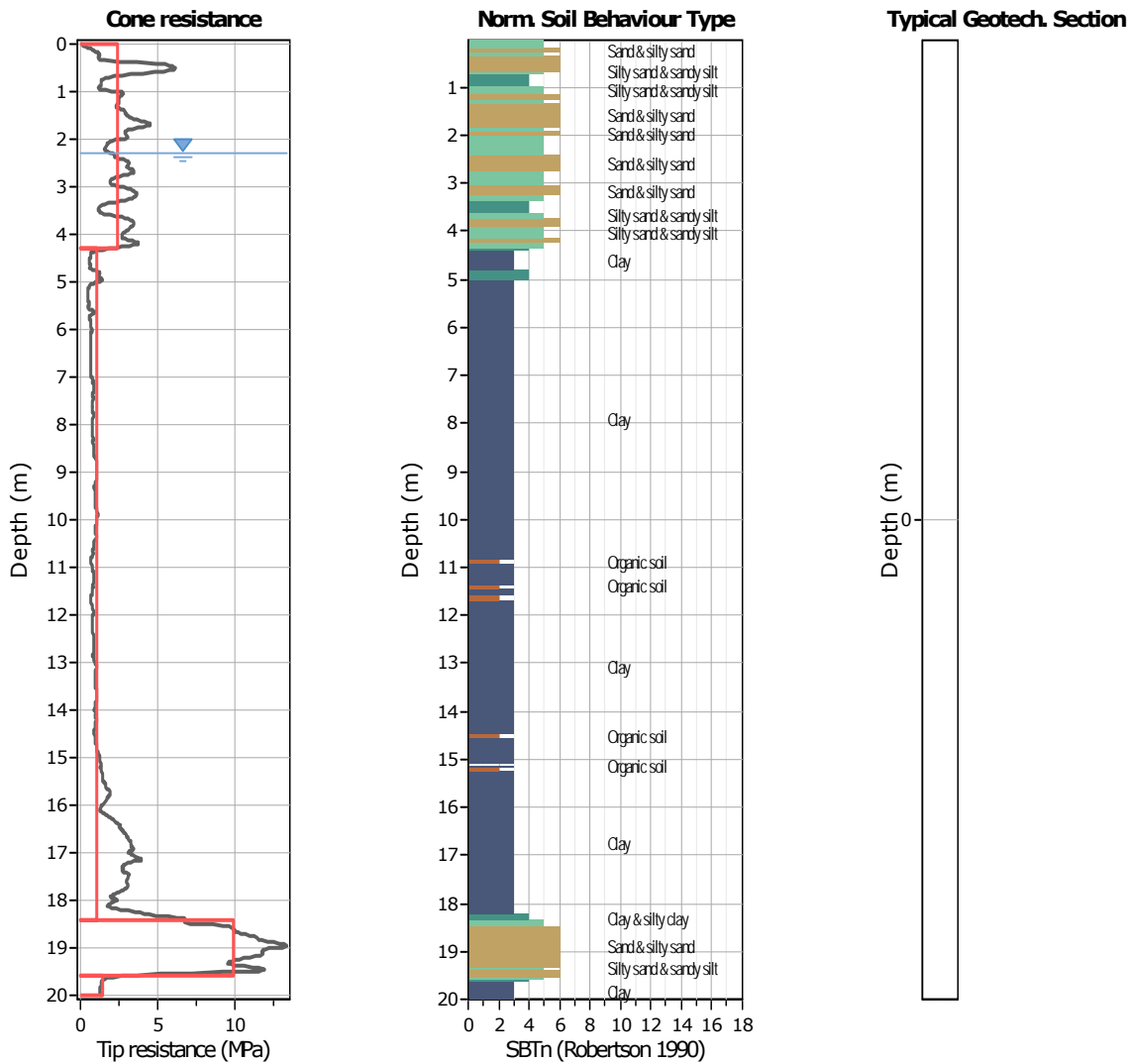




Project: Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica

Location: Via Statale SP66 - Terre del Reno (FE)





Tabular results

::: Layer No: 1 :::

Code: 1 **Start depth:** 0.00 (m), **End depth:** 4.30 (m)

Description: Alternanze di Sabbie limose e limi sabbiosi

Basic results

Total cone resistance: 2.36 ±1.16 MPa

Sleeve friction: 23.07 ±10.93 kPa

SBT_n: 5

SBT_n description: Silty sand & sandy silt

Estimation results

Permeability: 3.47E-06 ±5.48E-05 m/s

N60: 6.91 ±2.25 blows

Es: 24.16 ±6.42 MPa

Dr (%): 41.55 ±9.44

φ (degrees): 37.14 ±1.95 °

Unit weight: 16.94 ±0.52 kN/m³

Constrained Mod.: 27.89 ±9.12 MPa

Go: 30.19 ±7.67 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

::: Layer No: 2 :::

Code: 2 Start depth: 4.30 (m), End depth: 18.40 (m)

Description: Argilla e argilla limosa intervallata da livelli centimetrici di materiali organici

Basic results

Total cone resistance: 1.06 ±0.87 MPa

Sleeve friction: 55.10 ±38.19 kPa

SBT_n: 3SBT_n description: Clay

Estimation results

Permeability: 0.00E+00 ±4.95E-08 m/s

N60: 6.37 ±3.74 blows

Es: 90.27 ±90.27 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.62 ±0.77 kN/m³

Constrained Mod.: 7.15 ±13.08 MPa

Go: 47.62 ±23.44 MPa

Su: 61.39 ±53.57 kPa

Su ratio: 0.61 ±0.31

O.C.R.: 2.81 ±1.43

::: Layer No: 3 :::

Code: 3 Start depth: 18.40 (m), End depth: 19.60 (m)

Description: Sabbia e sabbia limosa

Basic results

Total cone resistance: 9.87 ±2.27 MPa

Sleeve friction: 48.30 ±22.78 kPa

SBT_n: 6SBT_n description: Sand & silty sand

Estimation results

Permeability: 1.62E-05 ±1.98E-05 m/s

N60: 24.77 ±4.02 blows

Es: 75.32 ±9.98 MPa

Dr (%): 44.54 ±5.51

φ (degrees): 37.83 ±1.33 °

Unit weight: 18.34 ±0.50 kN/m³

Constrained Mod.: 91.70 ±15.35 MPa

Go: 93.71 ±13.19 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

::: Layer No: 4 :::

Code: 4 Start depth: 19.60 (m), End depth: 20.00 (m)

Description: Argilla

Basic results

Total cone resistance: 1.41 ±0.36 MPa

Sleeve friction: 40.75 ±6.22 kPa

SBT_n: 3SBT_n description: Clay

Estimation results

Permeability: 1.48E-09 ±1.85E-08 m/s

N60: 8.32 ±0.81 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.38 ±0.12 kN/m³

Constrained Mod.: 6.40 ±6.79 MPa

Go: 57.57 ±1.04 MPa

Su: 75.56 ±25.90 kPa

Su ratio: 0.43 ±0.16

O.C.R.: 2.00 ±0.72

Project: Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica

Location: Via Statale SP66 - Terre del Reno (FE)

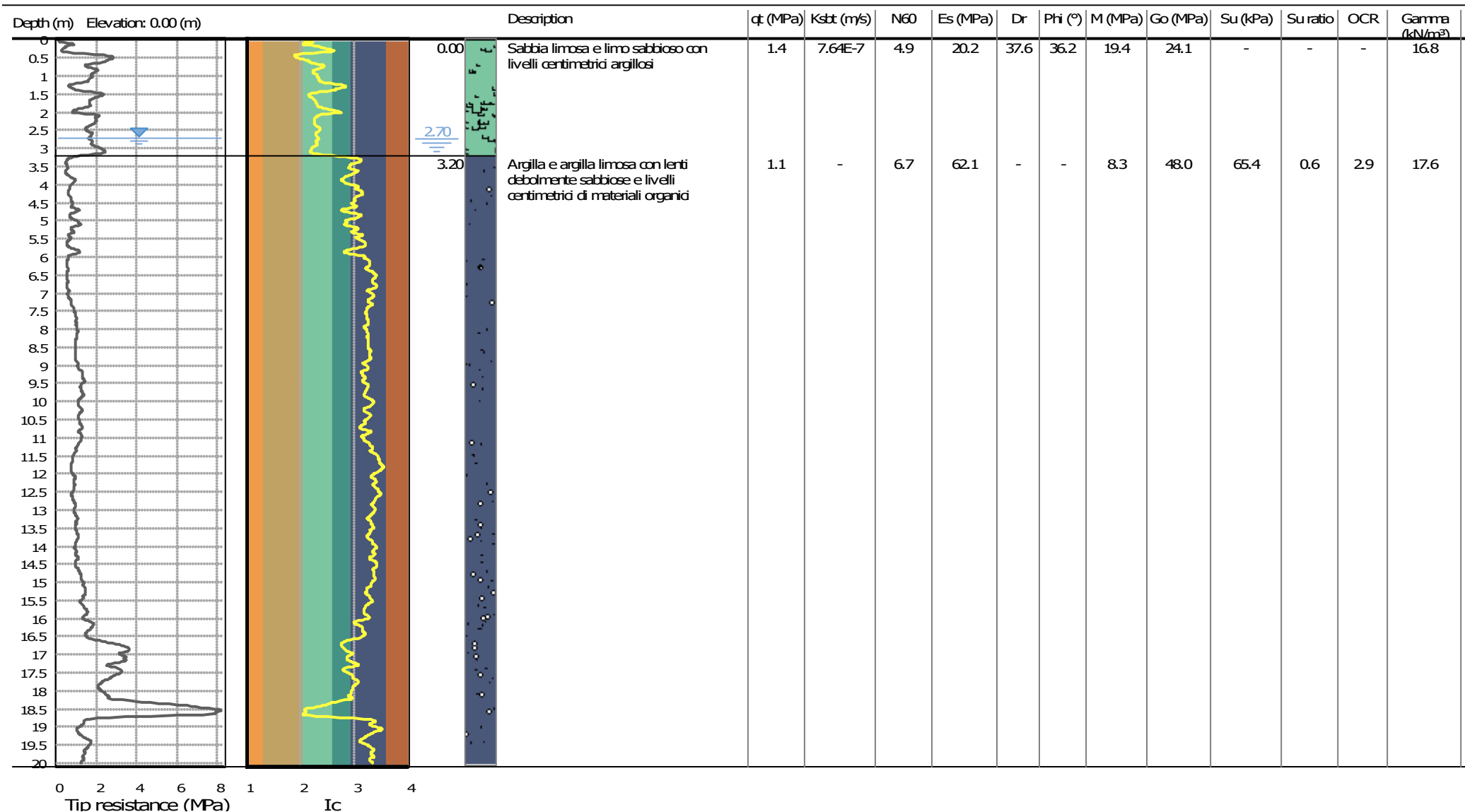
Summary table of mean values

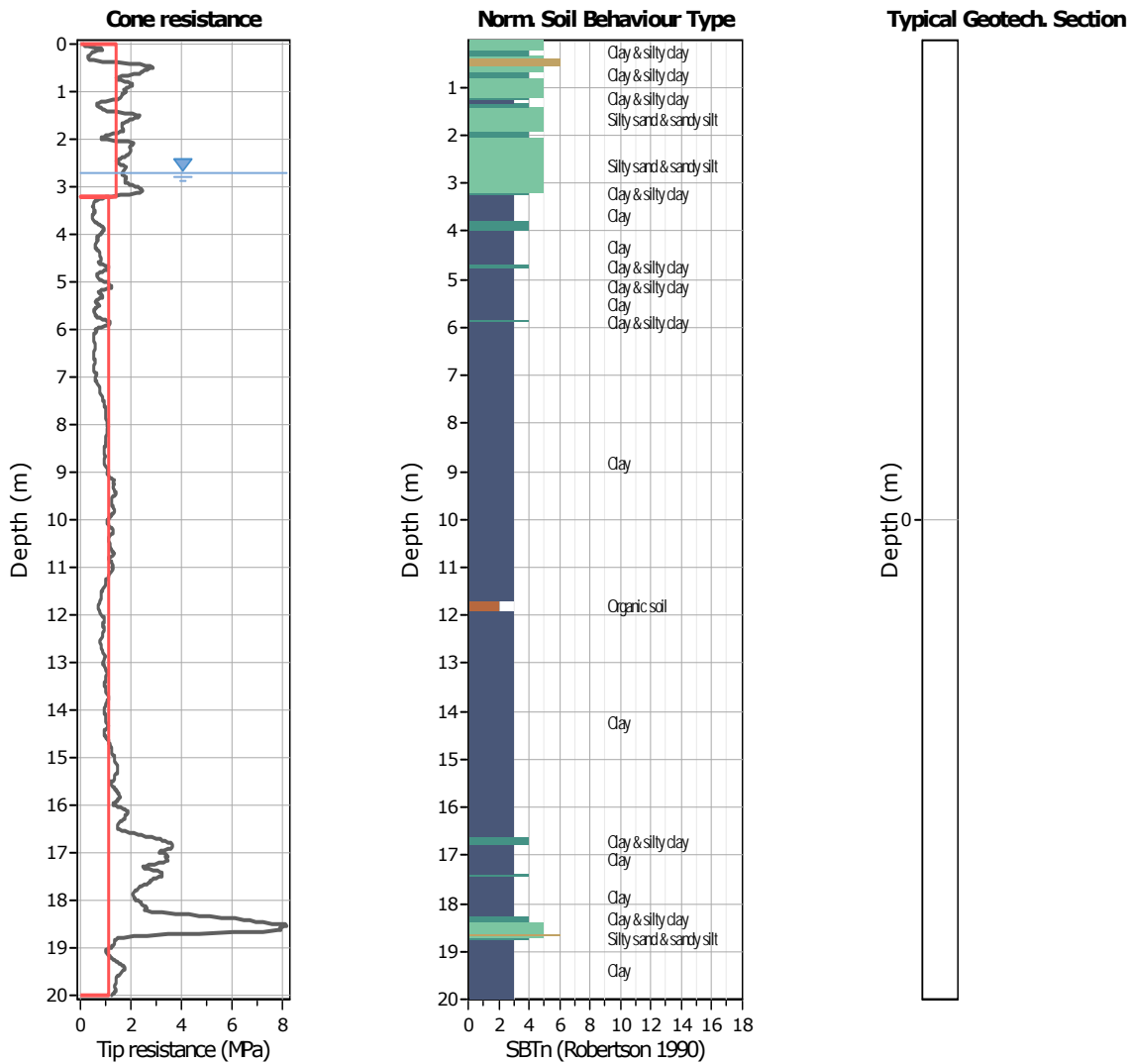
| From depth To depth (m) | Thickness (m) | Permeability (m/s) | SPT _{N60} (blows/30cm) | E _s (MPa) | D _r | Friction angle | Constrained modulus, M (MPa) | Shear modulus, G ₀ (MPa) | Undrained strength, S _u (kPa) | Undrained strength ratio | OCR | Unit weight (kN/m ³) |
|-------------------------------|------------------|-----------------------|------------------------------------|-------------------------|----------------|-------------------|------------------------------------|---|--|--------------------------------|--------|-------------------------------------|
| 0.00 | 4.30 | 3.47E-06 | 6.9 | 24.2 | 41.6 | 37.1 | 27.9 | 30.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 16.9 |
| 4.30 | | (±5.48E-05) | (±2.2) | (±6.4) | (±9.4) | (±2.0) | (±9.1) | (±7.7) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.5) |
| 4.30 | 14.10 | 0.00E+00 | 6.4 | 90.3 | 0.0 | 0.0 | 7.2 | 47.6 | 61.4 | 0.6 | 2.8 | 17.6 |
| 18.40 | | (±4.95E-08) | (±3.7) | (±90.3) | (±0.0) | (±0.0) | (±13.1) | (±23.4) | (±53.6) | (±0.3) | (±1.4) | (±0.8) |
| 18.40 | 1.20 | 1.62E-05 | 24.8 | 75.3 | 44.5 | 37.8 | 91.7 | 93.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 18.3 |
| 19.60 | | (±1.98E-05) | (±4.0) | (±10.0) | (±5.5) | (±1.3) | (±15.3) | (±13.2) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.5) |
| 19.60 | 0.40 | 1.48E-09 | 8.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 6.4 | 57.6 | 75.6 | 0.4 | 2.0 | 17.4 |
| 20.00 | | (±1.85E-08) | (±0.8) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) | (±6.8) | (±1.0) | (±25.9) | (±0.2) | (±0.7) | (±0.1) |

Depth values presented in this table are measured from free ground surface

Project: Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica

Location: Via Statale SP66 - Terre del Reno (FE)





Tabular results

::: Layer No: 1 :::

Code: 1 **Start depth:** 0.00 (m), **End depth:** 3.20 (m)

Description: Sabbia limosa e limo sabbioso con livelli centimetrici argillosi

Basic results

Total cone resistance: 1.44 ±0.64 MPa

Sleeve friction: 23.60 ±15.81 kPa

SBT_n: 5

SBT_n description: Silty sand & sandy silt

Estimation results

Permeability: 7.64E-07 ±2.81E-06 m/s

N60: 4.86 ±1.71 blows

Es: 20.18 ±5.92 MPa

Dr (%): 37.63 ±9.50

φ (degrees): 36.18 ±2.18 °

Unit weight: 16.79 ±0.75 kN/m³

Constrained Mod.: 19.41 ±8.34 MPa

Go: 24.14 ±7.79 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

.: Layer No: 2 .:

Code: 2 **Start depth:** 3.20 (m), **End depth:** 20.00 (m)**Description:** Argilla e argilla limosa con lenti debolmente sabbiose e livelli centimetrici di materiali organici**Basic results**

Total cone resistance: 1.15 ±1.12 MPa

Sleeve friction: 50.79 ±31.35 kPa

SBT_n: 3SBT_n description: Clay**Estimation results**

Permeability: 0.00E+00 ±4.64E-07 m/s

N60: 6.66 ±3.82 blows

Es: 62.07 ±34.57 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.56 ±0.77 kN/m³

Constrained Mod.: 8.30 ±15.75 MPa

Go: 48.05 ±21.46 MPa

Su: 65.37 ±47.21 kPa

Su ratio: 0.63 ±0.29

O.C.R.: 2.92 ±1.32

Project: Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica

Location: Via Statale SP66 - Terre del Reno (FE)

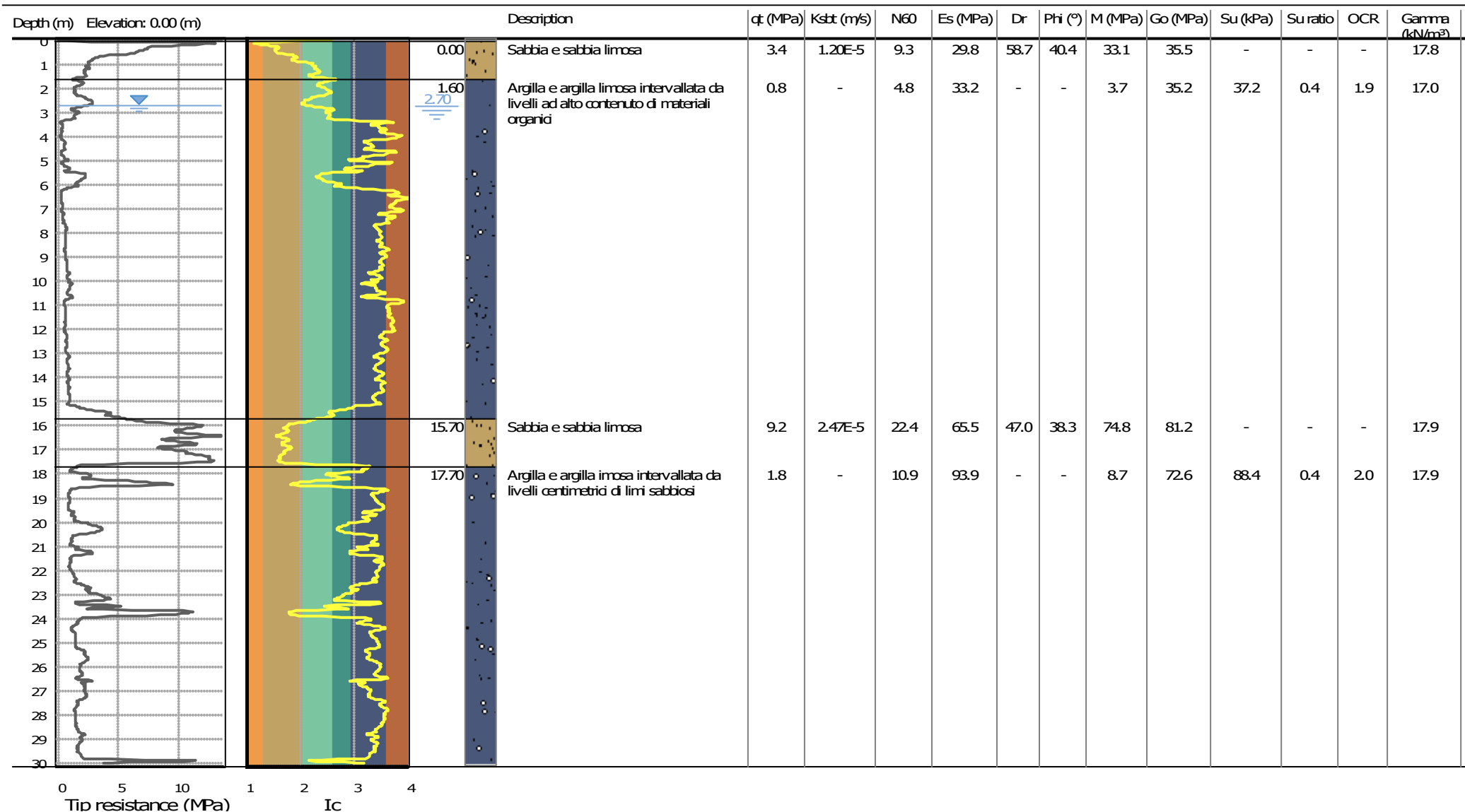
Summary table of mean values

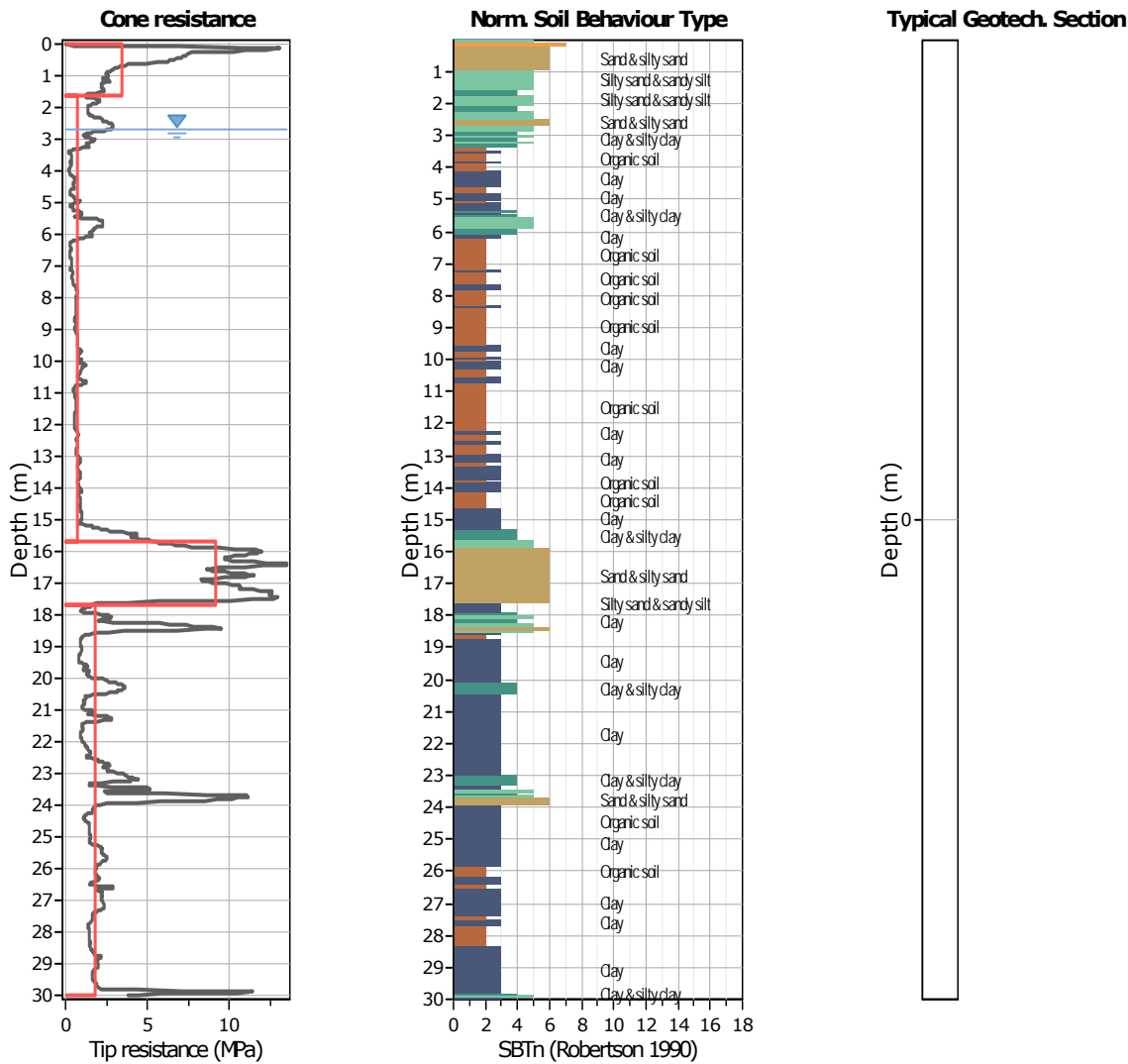
| From depth To depth (m) | Thickness (m) | Permeability (m/s) | SPT _{N60} (blows/30cm) | E _s (MPa) | D _r | Friction angle | Constrained modulus, M (MPa) | Shear modulus, G ₀ (MPa) | Undrained strength, S _u (kPa) | Undrained strength ratio | OCR | Unit weight (kN/m ³) |
|-------------------------------|------------------|-----------------------|------------------------------------|-------------------------|----------------|-------------------|------------------------------------|---|--|--------------------------------|--------|-------------------------------------|
| 0.00 | 3.20 | 7.64E-07 | 4.9 | 20.2 | 37.6 | 36.2 | 19.4 | 24.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 16.8 |
| 3.20 | | (±2.81E-06) | (±1.7) | (±5.9) | (±9.5) | (±2.2) | (±8.3) | (±7.8) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.7) |
| 3.20 | 16.80 | 0.00E+00 | 6.7 | 62.1 | 0.0 | 0.0 | 8.3 | 48.0 | 65.4 | 0.6 | 2.9 | 17.6 |
| 20.00 | | (±4.64E-07) | (±3.8) | (±34.6) | (±0.0) | (±0.0) | (±15.7) | (±21.5) | (±47.2) | (±0.3) | (±1.3) | (±0.8) |

Depth values presented in this table are measured from free ground surface

Project: Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica

Location: Via Statale SP66 - Terre del Reno (FE)





Tabular results

::: Layer No: 1 :::

Code: 1 **Start depth:** 0.00 (m), **End depth:** 1.60 (m)

Description: Sabbia e sabbia limosa

Basic results

Total cone resistance: 3.43 ±3.26 MPa

Sleeve friction: 42.16 ±19.14 kPa

SBT_n: 6

SBT_n description: Sand & silty sand

Estimation results

Permeability: 1.20E-05 ±6.48E-04 m/s

N₆₀: 9.27 ±4.45 blows

Es: 29.81 ±6.90 MPa

Dr (%): 58.74 ±20.76

φ (degrees): 40.41 ±3.06 °

Unit weight: 17.80 ±0.75 kN/m³

Constrained Mod.: 33.09 ±10.71 MPa

Go: 35.48 ±9.81 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

::: Layer No: 2 :::

Code: 2 **Start depth: 1.60 (m), End depth: 15.70 (m)****Description:** Argilla e argilla limosa intervallata da livelli ad alto contenuto di materiali organici**Basic results**

Total cone resistance: 0.77 ±0.79 MPa

Sleeve friction: 36.18 ±19.46 kPa

SBT_n: 3SBT_n description: Clay**Estimation results**

Permeability: 0.00E+00 ±6.67E-07 m/s

N60: 4.77 ±2.48 blows

Es: 33.17 ±21.72 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.02 ±0.64 kN/m³

Constrained Mod.: 3.65 ±12.50 MPa

Go: 35.17 ±13.34 MPa

Su: 37.18 ±43.72 kPa

Su ratio: 0.42 ±0.53

O.C.R.: 1.95 ±2.44

::: Layer No: 3 :::

Code: 3 **Start depth: 15.70 (m), End depth: 17.70 (m)****Description:** Sabbia e sabbia limosa**Basic results**

Total cone resistance: 9.25 ±2.78 MPa

Sleeve friction: 35.33 ±14.97 kPa

SBT_n: 6SBT_n description: Sand & silty sand**Estimation results**

Permeability: 2.47E-05 ±5.11E-05 m/s

N60: 22.38 ±4.08 blows

Es: 65.51 ±5.34 MPa

Dr (%): 46.99 ±5.48

φ (degrees): 38.35 ±1.22 °

Unit weight: 17.95 ±0.34 kN/m³

Constrained Mod.: 74.78 ±16.57 MPa

Go: 81.23 ±7.47 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

::: Layer No: 4 :::

Code: 4 **Start depth: 17.70 (m), End depth: 30.00 (m)****Description:** Argilla e argilla imosa intervallata da livelli centimetrici di limi sabbiosi**Basic results**

Total cone resistance: 1.85 ±1.77 MPa

Sleeve friction: 56.13 ±39.81 kPa

SBT_n: 3SBT_n description: Clay**Estimation results**

Permeability: 0.00E+00 ±4.22E-06 m/s

N60: 10.93 ±4.18 blows

Es: 93.85 ±51.18 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.86 ±0.78 kN/m³

Constrained Mod.: 8.66 ±23.02 MPa

Go: 72.61 ±22.32 MPa

Su: 88.45 ±55.95 kPa

Su ratio: 0.43 ±0.29

O.C.R.: 2.00 ±1.33

Project: Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica

Location: Via Statale SP66 - Terre del Reno (FE)

Summary table of mean values

| From depth To depth (m) | Thickness (m) | Permeability (m/s) | SPT _{N60} (blows/30cm) | E _s (MPa) | D _r | Friction angle | Constrained modulus, M (MPa) | Shear modulus, G ₀ (MPa) | Undrained strength, S _u (kPa) | Undrained strength ratio | OCR | Unit weight (kN/m ³) |
|-------------------------------|------------------|-----------------------|------------------------------------|-------------------------|----------------|-------------------|------------------------------------|---|--|--------------------------------|--------|-------------------------------------|
| 0.00 | 1.60 | 1.20E-05 | 9.3 | 29.8 | 58.7 | 40.4 | 33.1 | 35.5 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.8 |
| 1.60 | | (±6.48E-04) | (±4.5) | (±6.9) | (±20.8) | (±3.1) | (±10.7) | (±9.8) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.8) |
| 1.60 | 14.10 | 0.00E+00 | 4.8 | 33.2 | 0.0 | 0.0 | 3.7 | 35.2 | 37.2 | 0.4 | 1.9 | 17.0 |
| 15.70 | | (±6.67E-07) | (±2.5) | (±21.7) | (±0.0) | (±0.0) | (±12.5) | (±13.3) | (±43.7) | (±0.5) | (±2.4) | (±0.6) |
| 15.70 | 2.00 | 2.47E-05 | 22.4 | 65.5 | 47.0 | 38.3 | 74.8 | 81.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.9 |
| 17.70 | | (±5.11E-05) | (±4.1) | (±5.3) | (±5.5) | (±1.2) | (±16.6) | (±7.5) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.3) |
| 17.70 | 12.30 | 0.00E+00 | 10.9 | 93.9 | 0.0 | 0.0 | 8.7 | 72.6 | 88.4 | 0.4 | 2.0 | 17.9 |
| 30.00 | | (±4.22E-06) | (±4.2) | (±51.2) | (±0.0) | (±0.0) | (±23.0) | (±22.3) | (±55.9) | (±0.3) | (±1.3) | (±0.8) |

Depth values presented in this table are measured from free ground surface



Site informations:

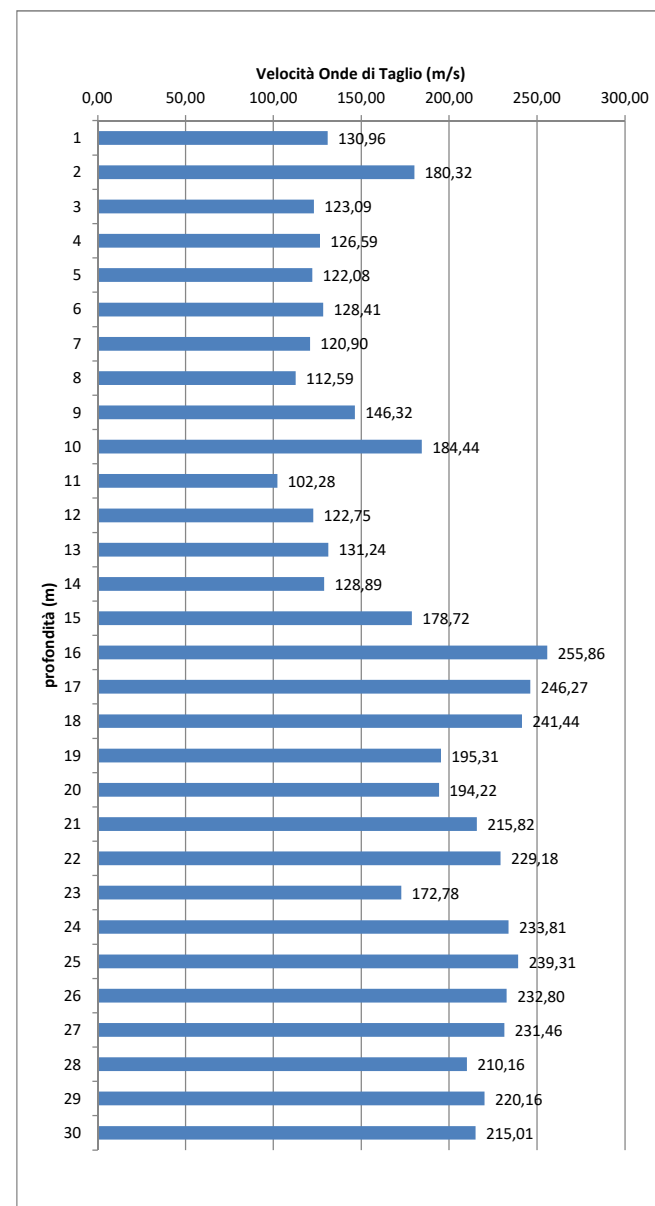
Impianto Fotovoltaico Da 5.500,00 kW Sito nel comune di terre del reno (FE) denominato "Sant'Agostino" e opere connesse
Cantiere: 26/10/2021
Data: Sol. In. Cal. S.r.l.
Committente: Via del Commercio - Terre del Reno (S. Carlo - FE)
Località:

Test informations:

Name:
Prehole depth [cm]: 0 cm da p.c.
Hydrostatic line [cm]: 270 cm da p.c.

SCPTU

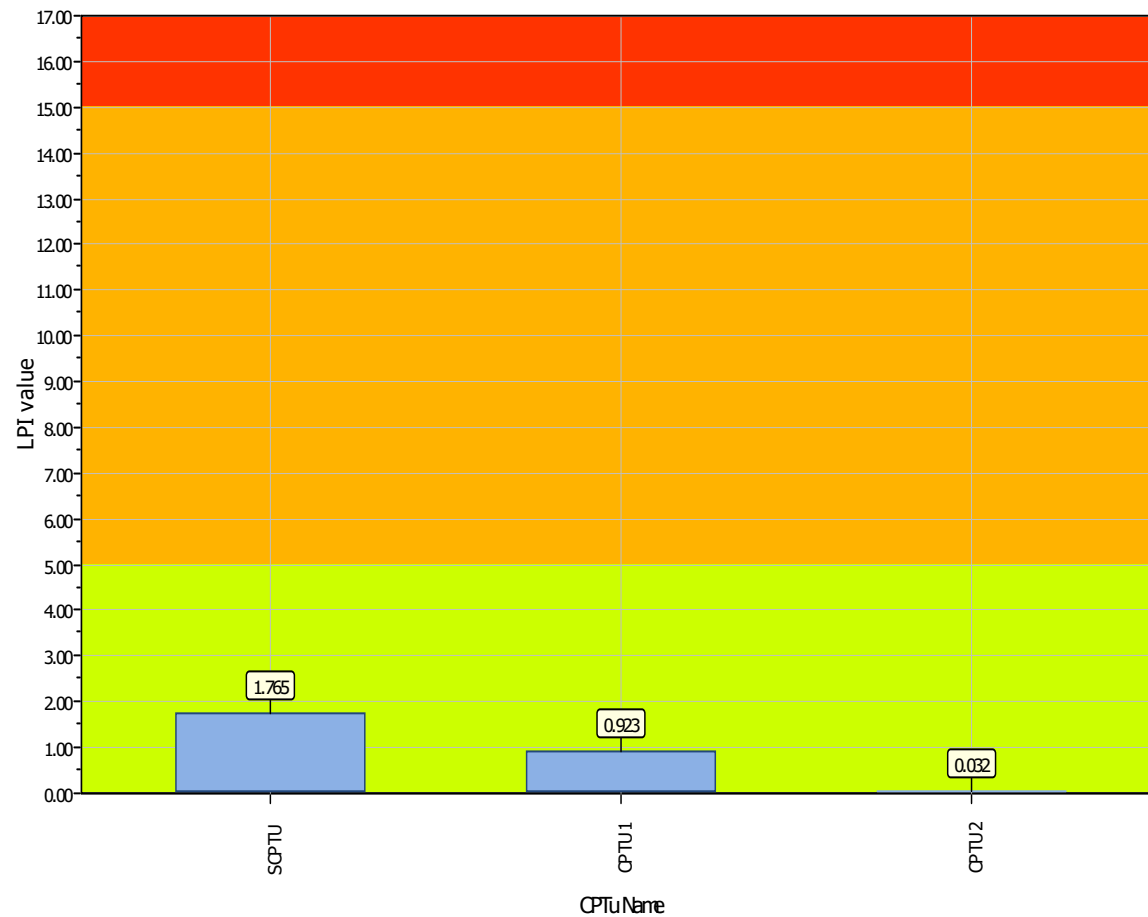
| Profondità [m] | t _{loss} [sec.] | t _{corr} [sec.] | Δt [sec.] | Profondità [m] | Velocità m/sec |
|----------------|--------------------------|--------------------------|-----------|----------------|----------------|
| -1,00 | 0,004098 | 0,003665 | 0,007636 | -1,00 | 130,96 |
| -2,00 | 0,009494 | 0,009211 | 0,005546 | -2,00 | 180,32 |
| -3,00 | 0,017574 | 0,017335 | 0,008124 | -3,00 | 123,09 |
| -4,00 | 0,025431 | 0,025234 | 0,007900 | -4,00 | 126,59 |
| -5,00 | 0,033593 | 0,033426 | 0,008192 | -5,00 | 122,08 |
| -6,00 | 0,041357 | 0,041214 | 0,007788 | -6,00 | 128,41 |
| -7,00 | 0,049611 | 0,049485 | 0,008271 | -7,00 | 120,90 |
| -8,00 | 0,058481 | 0,058367 | 0,008882 | -8,00 | 112,59 |
| -9,00 | 0,065302 | 0,065201 | 0,006834 | -9,00 | 146,32 |
| -10,00 | 0,070711 | 0,070623 | 0,005422 | -10,00 | 184,44 |
| -11,00 | 0,080483 | 0,080400 | 0,009777 | -11,00 | 102,28 |
| -12,00 | 0,088624 | 0,088547 | 0,008146 | -12,00 | 122,75 |
| -13,00 | 0,096237 | 0,096166 | 0,007620 | -13,00 | 131,24 |
| -14,00 | 0,103991 | 0,103925 | 0,007758 | -14,00 | 128,89 |
| -15,00 | 0,109581 | 0,109520 | 0,005595 | -15,00 | 178,72 |
| -16,00 | 0,113484 | 0,113429 | 0,003908 | -16,00 | 255,86 |
| -17,00 | 0,117540 | 0,117489 | 0,004061 | -17,00 | 246,27 |
| -18,00 | 0,121678 | 0,121631 | 0,004142 | -18,00 | 241,44 |
| -19,00 | 0,126795 | 0,126751 | 0,005120 | -19,00 | 195,31 |
| -20,00 | 0,131941 | 0,131900 | 0,005149 | -20,00 | 194,22 |
| -21,00 | 0,136572 | 0,136533 | 0,004634 | -21,00 | 215,82 |
| -22,00 | 0,140933 | 0,140897 | 0,004363 | -22,00 | 229,18 |
| -23,00 | 0,146719 | 0,146684 | 0,005788 | -23,00 | 172,78 |
| -24,00 | 0,150994 | 0,150961 | 0,004277 | -24,00 | 233,81 |
| -25,00 | 0,155171 | 0,155140 | 0,004179 | -25,00 | 239,31 |
| -26,00 | 0,159465 | 0,159436 | 0,004296 | -26,00 | 232,80 |
| -27,00 | 0,163784 | 0,163756 | 0,004320 | -27,00 | 231,46 |
| -28,00 | 0,168541 | 0,168514 | 0,004758 | -28,00 | 210,16 |
| -29,00 | 0,173082 | 0,173056 | 0,004542 | -29,00 | 220,16 |
| -30,00 | 0,177732 | 0,177707 | 0,004651 | -30,00 | 215,01 |

V_{seq} calcolata in base all'art. 3.2.2. del N.T.C. 2018V_{seq}= 165,13 m/s

Project title : Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica

Location : Via Statale SP66 - Terre del Reno (FE)

Overall Liquefaction Potential Index report



LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

Basic statistics

Total CPT number: 3
100.00% low risk
0.00% high risk
0.00% very high risk