



REGIONE EMILIA ROMAGNA
COMUNI DI ARGENTA (FE) E PORTOMAGGIORE (FE)

PROGETTO

**Impianto Fotovoltaico “Lugo” da 23 MW con sezione dedicata
a Tecnologia Agrivoltaica Avanzata e Opere Connesse**

Comuni di Argenta (FE) e Portomaggiore (FE)

TITOLO

Rel. 17 - Relazione Geologica

PROPONENTE



ENGIE ELICEO S.r.l.

Sede legale e Amministrativa:

Via Chiese 72

20126 Milano (MI)

PEC: engieeliceo@pec.engie.com

PROGETTISTA



SGI INGEGNERIA S.r.l.

Dott.ssa. Linda Collina

SGI INGEGNERIA S.R.L.

Via Felice Gioelli n. 30

44022 – Ferrara (FE)

info@sgi-ingegneria.it

<https://www.sgi-ingegneria.it/>



| Scala | Formato Stampa | Cod. Elaborato | Rev. | Nome File | Foglio |
|-------|----------------|----------------|------|---------------------------|---------|
| | A4 | REL17 | 00 | REL17-Relazione geologica | 1 di 78 |

| Rev. | Data | Descrizione | Elaborato | Controllato | Approvato |
|------|------------|--|-----------|-------------|------------|
| 00 | 24/01/2025 | Progetto definitivo impianto agrivoltaico e opere connesse – Relazione Geologica | G. Volta | L. Malagò | L. Collina |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

INDICE

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | INTRODUZIONE | 4 |
| 1.1 | PREMESSA | 4 |
| 1.2 | OGGETTO DEL PRESENTE DOCUMENTO | 4 |
| 1.3 | DOCUMENTAZIONE ELABORATA E ALLEGATA ALLA PRESENTE RELAZIONE | 5 |
| 1.4 | NORMATIVA..... | 5 |
| 2 | UBICAZIONE DELL’AREA IN ESAME..... | 7 |
| 2.1 | INQUADRAMENTO TERRITORIALE | 7 |
| 2.2 | STATO DEI LUOGHI..... | 9 |
| 3 | INQUADRAMENTO GEOLOGICO..... | 10 |
| 3.1 | CARATTERI GEOLOGICI E STRUTTURALI GENERALI..... | 10 |
| 3.2 | CARATTERI LITOLOGICI E STRATIGRAFICI | 14 |
| 4 | LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI | 19 |
| 5 | ASSETTO IDROGEOLOGICO E IDROLOGICO LOCALE | 23 |
| 5.1 | CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE | 23 |
| 5.2 | CARATTERISTI IDROLOGICI ED IDRAULICI | 25 |
| 6 | STORIA SISMICA LOCALE..... | 31 |
| 6.1 | MICROZONAZIONE SISMICA | 33 |
| 7 | INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE | 36 |
| 7.1 | PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CON PIEZOCONO (CPTU E SCPTU)..... | 36 |
| 7.1.1 | STRUMENTAZIONE UTILIZZATA | 37 |
| 7.1.2 | RISULTATI DELLE PROVE..... | 38 |
| 7.2 | LA MISURA A STAZIONE SINGOLA HVSR..... | 41 |
| 7.2.1 | STRUMENTAZIONE E METODOLOGIA DI INDAGINE | 41 |
| 7.2.2 | RISULTATI DELL’INDAGINE..... | 42 |
| 8 | CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE | 49 |
| 8.1 | CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SITO | 49 |
| 8.2 | MAGNITUDO DI RIFERIMENTO | 51 |
| 8.3 | CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO SECONDO IL DM 17/01/2018 | 54 |
| 8.3.1 | CATEGORIE SISMICHE DI SOTTOSUOLO | 54 |
| 8.3.2 | PARAMETRI E COEFFICIENTI SISMICI DETERMINATI IN BASE AL D.M. 17/01/2018 | 56 |
| 9 | VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE..... | 59 |
| 9.1 | GENERALITA’ SUL FENOMENO..... | 59 |
| 9.2 | VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE DEL SITO | 59 |
| 9.2.1 | ANALISI DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE DEL SITO | 62 |

| | | |
|--------|--|----|
| 10 | ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE..... | 66 |
| 10.1 | PREMESSA..... | 66 |
| 10.2 | DEFINIZIONE DEL MODELLO DI SOTTOSUOLO | 66 |
| 10.3 | CALCOLO DEL MOTO ATTESO IN SUPERFICIE | 67 |
| 10.4 | MODELLO DI CALCOLO FEM | 68 |
| 10.4.1 | MODELLO DI CALCOLO FEM..... | 69 |
| 10.4.2 | PARAMETRIZZAZIONE DELLO SPETTRO DERIVANTE DALLA RISPOSTA SISMICA | 70 |
| 10.5 | VERIFICA POTENZIALE LIQUEFAZIONE AREA 1 E 2..... | 72 |
| 11 | MODELLO GEOLOGICO E PRIME CONSIDERAZIONI GEOTECNICHE | 73 |
| 11.1 | PREMESSA..... | 73 |
| 11.2 | MODELLO STRATIGRAFICO | 73 |
| 11.3 | CARATTERI IDROGEOLOGICI | 76 |
| 11.4 | CARATTERI GEOTECNICI..... | 76 |
| 11.4.1 | AREA 1, 2 | 76 |
| 11.4.2 | AREA 3, 4 e 5 | 78 |

1 INTRODUZIONE

1.1 PREMESSA

Il presente documento è redatto a supporto della documentazione per l'avvio del procedimento per l'autorizzazione di un impianto fotovoltaico localizzato in differenti aree nei Comuni di Argenta e Portomaggiore (FE). Su una parte di tale area è presente una coltivazione di tipo biologico, pertanto, la società ha previsto di realizzare su tale porzione, un impianto agrivoltaico avanzato, che consentirà la convivenza della produzione di energia con il mantenimento dell'indirizzo colturale esistente.

L'opera, realizzata su n. 5 aree differenti, sarà realizzata su terreno classificato come agricolo. Due siti d'intervento si trovano lungo via Don Enrico Ballardini mentre gli altri si trovano in un'area interna rispetto via Vanzume. Le aree risultano così censite rispetto al nuovo catasto terreni:

- Area 1: foglio 75 mappali 399, 400, 401 e 402, per un'estensione complessiva di 101.304 mq;
- Area 2: foglio 75 mappale 664, per un'estensione complessiva di 45.146 mq;
- Area 3: foglio 73 mappale 20, per un'estensione complessiva di 28.717 mq;
- Area 4: foglio 73 mappali 21 e 22, per un'estensione complessiva di 24.984 mq;
- Area 5: foglio 73 mappale 64, per un'estensione complessiva di 59.308 mq.

Non si prevedono operazioni che comportino l'asporto o il riporto di terreno, ma solo delle semplici attività di livellamento superficiale.

1.2 OGGETTO DEL PRESENTE DOCUMENTO

Il presente documento riporta i caratteri geologici, geomorfologici, idrogeologici, sismici e geotecnici dell'area di interesse, redatto sia su una ricerca bibliografica sia su indagini di campo ed ha comportato lo svolgimento delle seguenti attività:

- il sopralluogo dell'area in esame;
- l'analisi geologica, geomorfologica, idrologica ed idrogeologica dell'area d'interesse e delle zone limitrofe;
- lo studio del terreno interessato e l'esame dei problemi geologico-tecnici connessi con le opere in progetto;
- n° 4 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU) approfondite sino a -20 metri dall'attuale piano campagna (p.c.);
- n° 2 prove penetrometriche statiche con piezocono sismico (SCPTU) approfondite sino a -30 metri dall'attuale p.c.;
- n. 2 Prove HVSR per l'approfondimento delle caratteristiche geofisiche del sito di studio.

Il presente documento quindi contiene:

1. l'analisi geologica, geomorfologica, idrogeologica, idrologica e sismica dell'area di interesse;
2. i risultati delle indagini geognostiche e geofisiche condotte nelle aree di futura realizzazione dell'impianto fotovoltaico;
3. gli elaborati grafici esplicativi ed il modello geologico di riferimento.

1.3 DOCUMENTAZIONE ELABORATA E ALLEGATA ALLA PRESENTE RELAZIONE

Nelle tabelle seguenti è riportato l’elenco della documentazione elaborata e allegata ai fini della stesura del presente documento.

| Tab. 1.1 – Documentazione cartografica allegata alla presente relazione | | |
|---|--|---------------------------|
| Tav. | Estremi documento | Oggetto e/o osservazioni |
| Tav. 1 | Planimetria su cartografia catastale | Elaborati dagli scriventi |
| Tav. 2 | Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche e traccia sezione stratigrafica | |
| Tav. 3 | Carta litologia di superficie | |
| Tav. 4 | Carta geomorfologica | |
| Tav. 5 | Carta Idrogeologica | |
| Tav. 6 | Carta degli Elementi sismotettonici | |

| Tab. 1.1 – Documentazione cartografica allegata alla presente relazione | | |
|---|-------------------------------------|---------------------------|
| Tav. | Estremi documento | Oggetto e/o osservazioni |
| All. 1 | Tabulati Prove CPTU e SCPTU | Elaborati dagli scriventi |
| All. 2 | Restituzione indagini sismiche | |
| All. 3 | Tabulato Vs30 da SCPTU | |
| All. 4 | Verifica potenziale di liquefazione | |

1.4 NORMATIVA

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”;
- **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”;
- **Circolare del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21 Gennaio 2019, n. 7** – Circolare esplicativa Norme Tecniche per le Costruzioni 2018;
- **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:

- 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.

2 UBICAZIONE DELL'AREA IN ESAME

2.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Le aree individuate per la realizzazione degli impianti fotovoltaici sono ubicate nei comuni di Argenta e Portomaggiore (FE) – si veda Tavola 1.



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

Di seguito si riportano i confini e le estensioni delle singole aree d'intervento:

1. Area 1:
 - Superficie: 101.304 mq;
 - Confini: campi agricoli su tutti i lati.
2. Area 2:
 - Superficie: 45.146 mq;
 - Confine nord, est e ovest: campi agricoli;
 - Confine sud: via Don Enrico Ballardini.
3. Area 3:
 - Superficie: 28.717 mq;
 - Confini: campi agricoli su tutti i lati.
4. Area 4:
 - Superficie: 24.984 mq;
 - Confini: campi agricoli su tutti i lati.
5. Area 5:
 - Superficie: 59.308 mq;
 - Confini: campi agricoli su tutti i lati.



Fig. 2.2 – Ubicazione delle aree 1 e 2 individuate per la realizzazione dell'impianto fotovoltaico



Fig. 2.3 – Ubicazione delle aree 3, 4 e 5 individuate per la realizzazione dell'impianto fotovoltaico

2.2 STATO DEI LUOGHI

Le aree individuate per la realizzazione degli impianti fotovoltaici ricadono all'interno di aree classificate come “*territorio agricolo di rilievo paesaggistico*”.

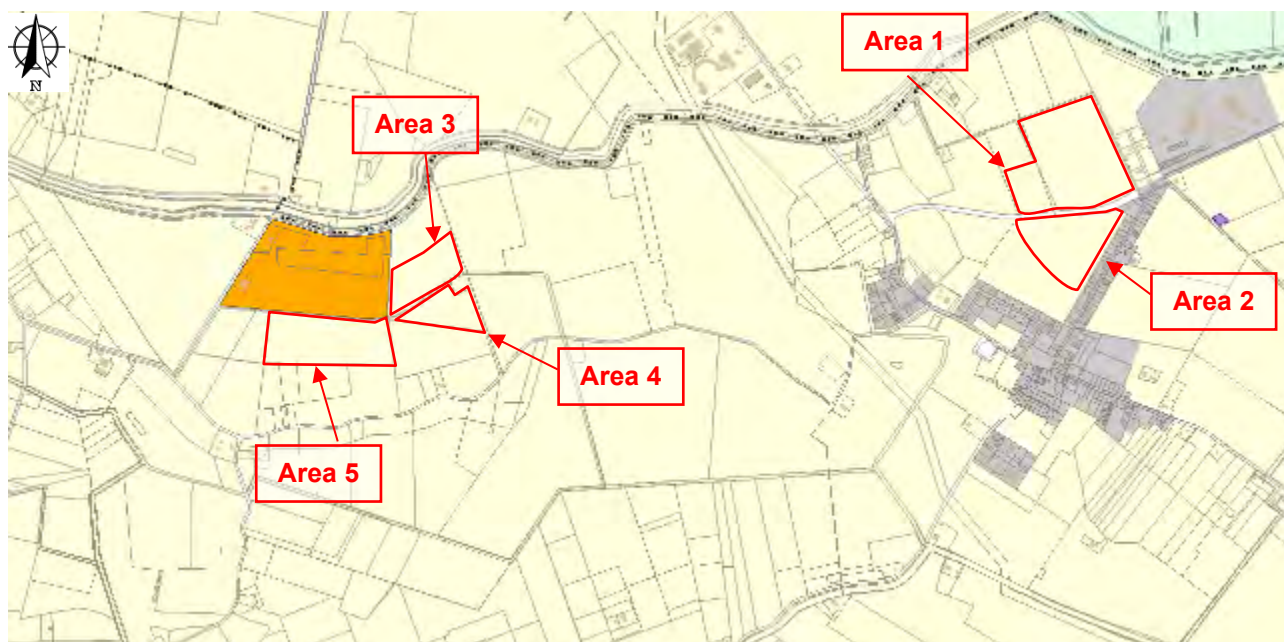


Fig. 2.4 – Stralcio PUG comuni Valli e Delizie

(https://sit.unionevalliedelizie.fe.it/Html5Viewer/Index.html?configBase=http://gis/Geocortex/Essentials/REST/sites/Pug_Appro/viewers/PUG_VINCOLI_EXT/virtualdirectory/Resources/Config/Default)

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

3.1 CARATTERI GEOLOGICI E STRUTTURALI GENERALI

Da un punto di vista del tutto generale i depositi che formano l'ossatura della Pianura Padana costituiscono il riempimento del bacino di avanfossa di età plio-quadernaria, compreso tra la catena appenninica a sud e quella alpina a nord. Il contesto geologico-strutturale in cui la pianura va inserita è infatti quello dell'avanfossa appenninica che si è originata in seguito alla collisione eocenica della microplacca padano-adriatica sul lato orientale di quella Europea. Durante il Terziario e il Quaternario nell'area si sono depositati grandi spessori di sedimenti. Verso la fine del Pliocene (1,6-1,8 milioni di anni fa), l'area oggi occupata dal Delta faceva parte di un golfo del Mare Adriatico situato tra le Alpi e gli Appennini (Fig.3.1 sx). L'aspetto della penisola italiana durante l'ultimo picco glaciale (18.000 anni fa circa) appariva molto diversa dall'attuale conformazione, in quanto il livello del mare scese di 120 metri rispetto a quello odierno (Fig.3.1 dx) e le terre emerse aumentarono globalmente del 18% (equivalenti a tutta l'Europa e il Sud America insieme). L'alto Adriatico si trovava in condizioni subaeree e il fiume Po sfociava all'altezza di Pescara.



Fig. 3.1 – La penisola italiana durante il Pliocene (SX) e durante l'ultimo picco glaciale 18.000 anni fa circa (DX)¹

¹<https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/geologia/geositi-paesaggio-geologico/itinerari/sentiero-geo-paleontologico-le-conchiglie>

L’evoluzione sedimentaria Plio-quaternaria del bacino padano registra una generale tendenza “trasgressiva”, identificata al margine appenninico da depositi marini di ambiente via via meno profondo fino a depositi continentali. Il riconoscimento di una superficie di discordanza di significato regionale ha consentito il primo inquadramento stratigrafico di tipo sequenziale della successione quaternaria affiorante del margine appenninico (fig. successiva), portando alla identificazione di due cicli sedimentari principali, uno marino (Qm) ed uno continentale (Qc).

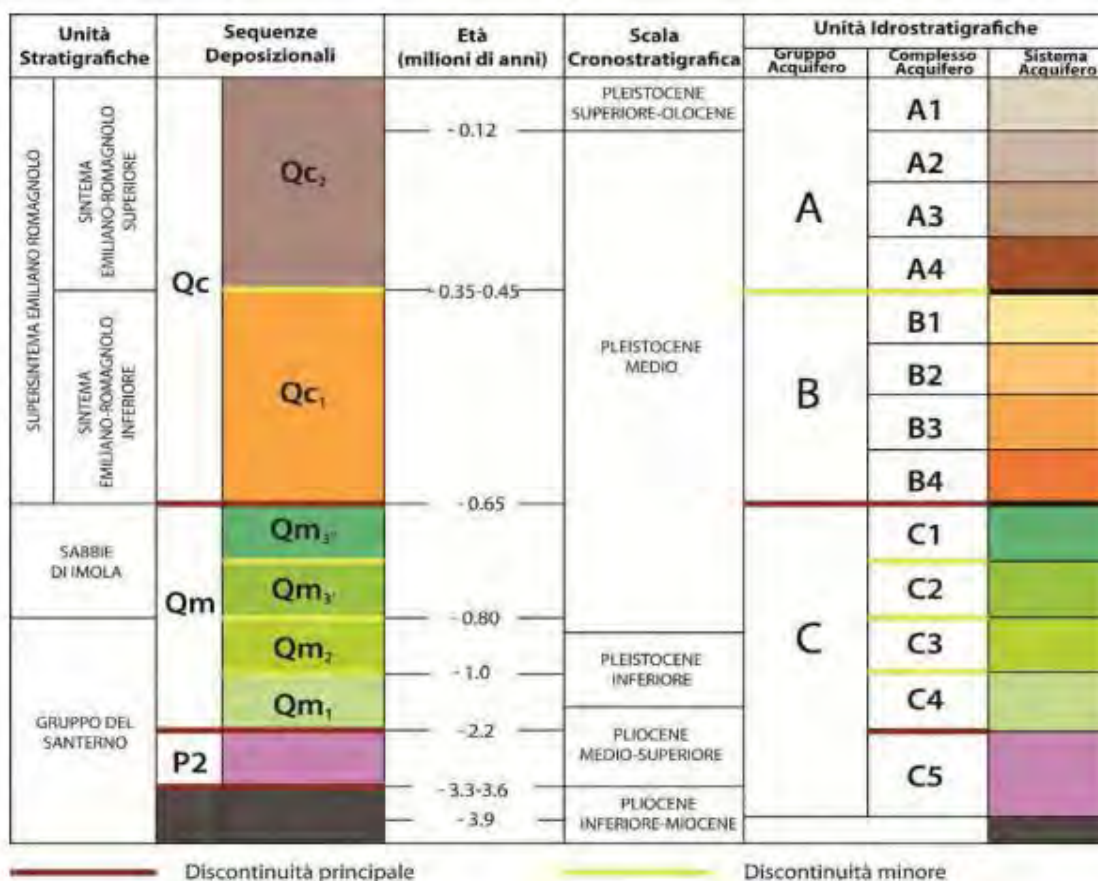


Fig. 3.2 – Schema stratigrafico-sequenziale dei depositi plio-quaternari del bacino padano, con indicazione delle unità idrostratigrafiche. Regione Emilia-Romagna & ENI-Agip, 1998

Sotto il profilo più strettamente strutturale l’area, inquadrata nello schema tettonico dell’Appennino settentrionale in Fig.3.3, presenta una configurazione tettonica profonda con movimenti orogenetici pre-pliocenici e medio pliocenici, caratterizzata da allineamenti tettonico strutturali ad andamento appenninico da NO-SE, con varie culminazioni e depressioni assiali.

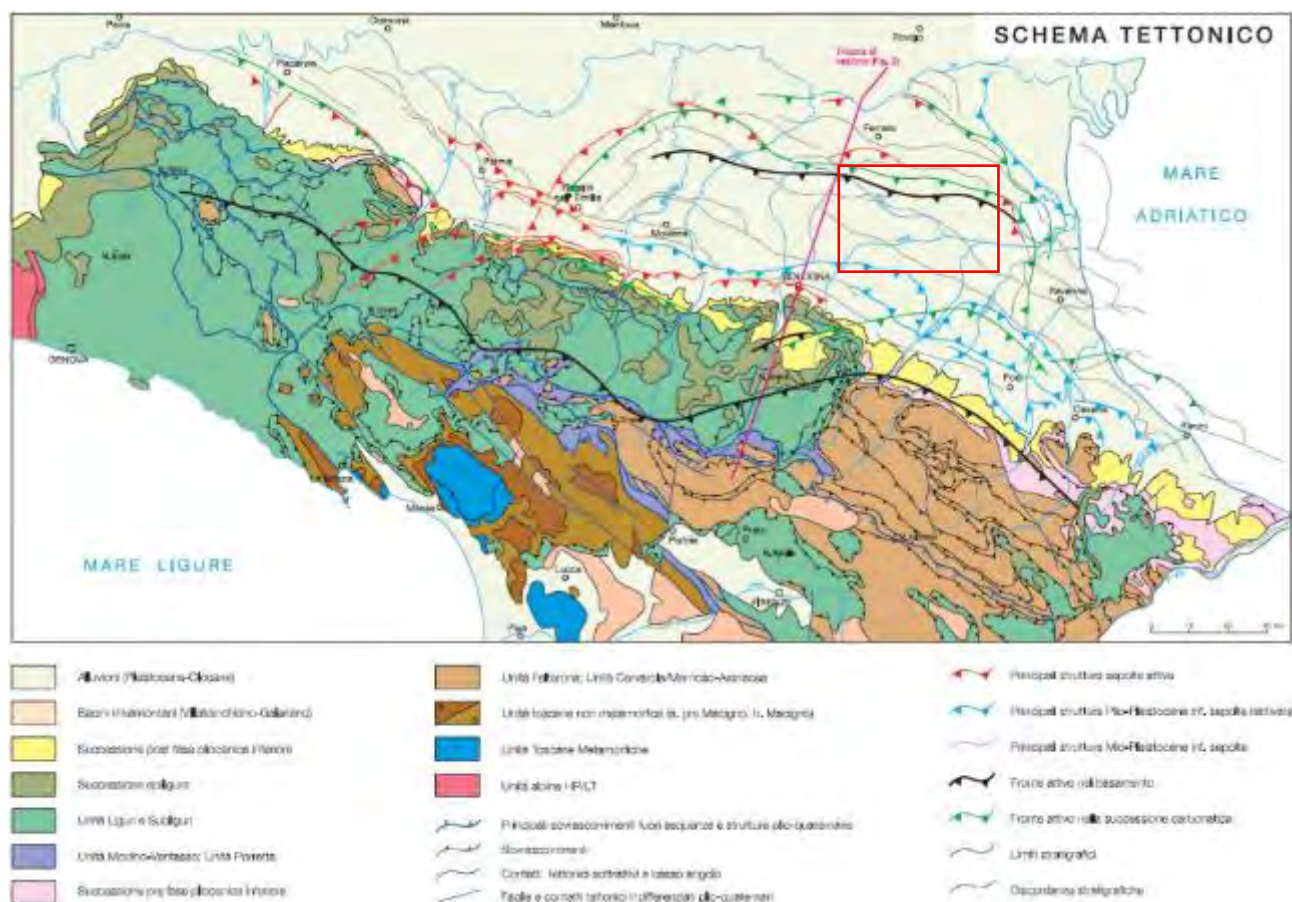


Fig. 3.3 – Schema tettonico dell'Appennino settentrionale (da Boccatelli et alii, 2004, mod.)

Le informazioni prodotte dalle ricerche Eni-Agip nel sottosuolo padano hanno dettagliatamente accertato come la struttura tettonica dell'Appennino prosegue, sepolta nella pianura, per alcune decine di chilometri verso nord entro la vasta fascia d'avanfossa. Tale struttura appare costituita da un sistema di grandi faglie inverse (accavallamenti), con superfici di sovrascorrimento a basso angolo (circa 30°) immerse verso SSO e con trasporto verso NNE, che hanno determinato superiormente strette pieghe anticlinali intercalate da larghe pieghe sinclinali. È in corrispondenza di queste ultime, soggette a considerevole subsidenza tettonica, che è stata ovviamente più consistente la sedimentazione dei terreni plio-pleistocenici.

Queste strutture tettoniche sono le maggiori responsabili della sismicità naturale dell'area che, facendo anche riferimento al recente “terremoto dell'Emilia” decresce in maniera significativa procedendo verso l'area costiera. Tralasciando i più antichi, d'importanza esclusivamente storica, l'analisi della sismicità evidenzia come la totalità degli eventi distruttivi (aventi intensità maggiore o uguale a 7.0 della scala Mercalli) abbia epicentro verso il crinale dell'Appennino Forlivese. La zona prossima all'area di indagine mostra rari eventi con magnitudo massime pari a circa 5,0 come rappresentato in Fig. 3.4.

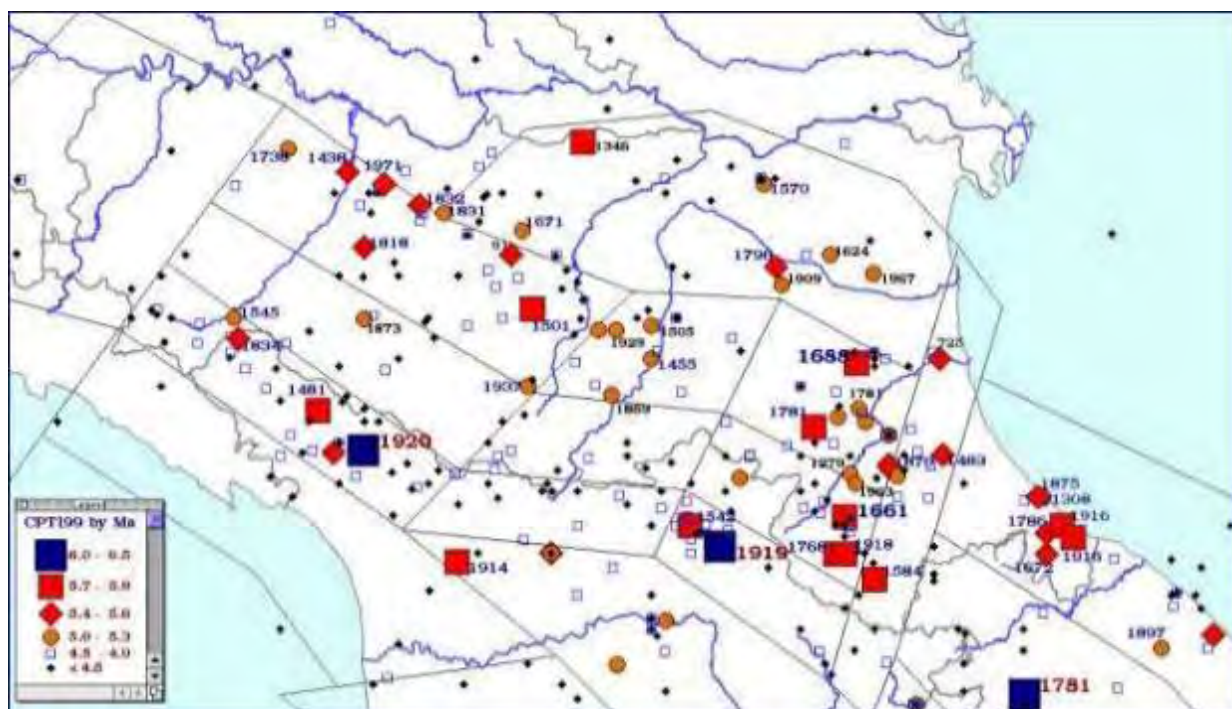


Fig. 3.4 – Carta epicentri dei terremoti della Regione Emilia-Romagna per classi di magnitudo (CPTI, 1999)²

È importante rilevare che il territorio dei comuni di Argenta e Portomaggiore vede la presenza sia delle deposizioni d’origine alpina, legate all’“edificio” del Grande Delta del Po nelle sue accezioni storiche, ovvero comprendenti i rami meridionali, il più meridionale del quale è il Po di Primaro, sia e per la sola porzione in destra idraulica dell’attuale Fiume Reno del Comune di Argenta, per le deposizioni di origine appenninica e riferibili ai paleo corsi di Savena Idice e Sillaro: gli ultimi torrenti appenninici bolognesi. È evidente che sia per origine geologica che per distanza deposizionale, fra deposizioni alpine e deposizioni appenniniche si rilevino differenze notevoli che si sostanziano sia nella petrografia dei depositi che nelle loro granulometrie. Anche le potenze complessive e/o caratterizzanti i depositi stessi denotano notevole differenza fra deposizioni alpine e deposizioni appenniniche.

² <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/sismica/lemilia-romagna/lemilia-romagna>

3.2 CARATTERI LITOLOGICI E STRATIGRAFICI

I caratteri geodinamici fin qui descritti hanno determinato la formazione di una complessa struttura sedimentaria del territorio in esame. Da tali caratteri geodinamici deriva la struttura sedimentaria generale del territorio in esame, la quale risulta principalmente costituita da sedimenti Olocenici di piana alluvionale, a cui segue in profondità una coltre di sedimenti incoerenti di età Pliocenica e Quaternaria con depositi riferibili a vari ambienti deposizionali, in particolare: marini, deltizi, lagunari, fluviali e palustri. La litologia di superficie è composta da miscele binarie e ternarie di sabbia, limo e argilla, si rinvencono in prevalenza miscele ternarie interrotte da lenti di miscele binarie. Si distinguono delle zone nel comune di Portomaggiore, e in particolare nel comune di Argenta, a ridosso della Valle Mezzano, dove le lenti, costituite da una matrice argilloso-sabbiosa dominante, raggiungono estensioni molto considerevoli. Le sabbie sono rinvenibili esclusivamente sotto forma di lenti, nel comune di Argenta, lungo la direttrice che congiunge Consandolo-Boccaleone-Argenta-San Biagio-Filo-Longastrino, coincidente con il tracciato del paleoalveo del Po di Primaro. Le torbe sono presenti nei comuni di Ostellato, Portomaggiore e Argenta in corrispondenza della Bonifica della Valle Mezzano e della Valle Mantello.

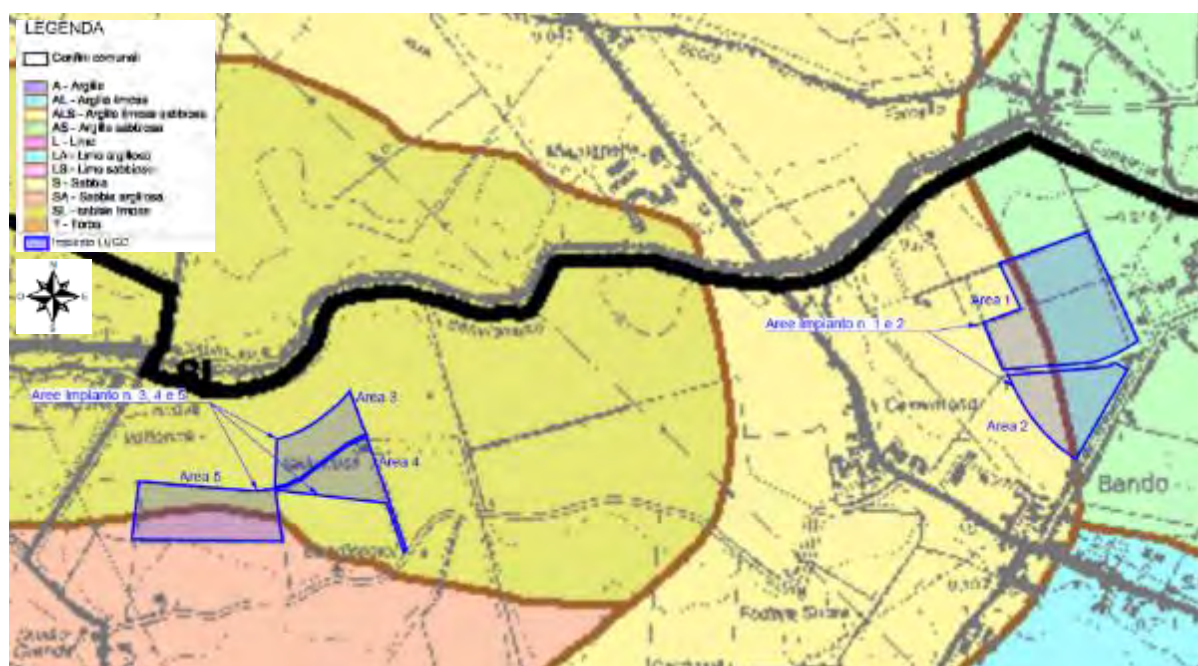


Fig. 3.5 – Carta Estratto della carta litologica di superficie – Tav. 3 – PSC in forma associata comuni di Argenta, Migliarino, Ostellato, Portomaggiore, Voghiera

In generale si può affermare che la distribuzione dei vari tipi litologici non è omogenea ma legata al reticolo idrografico dei rami del Po che anticamente divagavano nella zona in esame. Così i terreni sabbiosi sono localizzati principalmente in corrispondenza di antichi alvei fluviali o di loro con di esondazione, i materiali più fini si sono invece depositati principalmente nelle piane alluvionali in seguito a straripamento dei fiumi o rotta degli argini naturali.

Partendo da ovest si può notare come l'area sia interamente caratterizzata da depositi di piana deltizia, sono depositi di canale distributore e di argine, si tratta in prevalenza di sabbie da medie a fini in strati di spessore decimetrico passanti lateralmente ed intercalate a sabbie fini e finissime

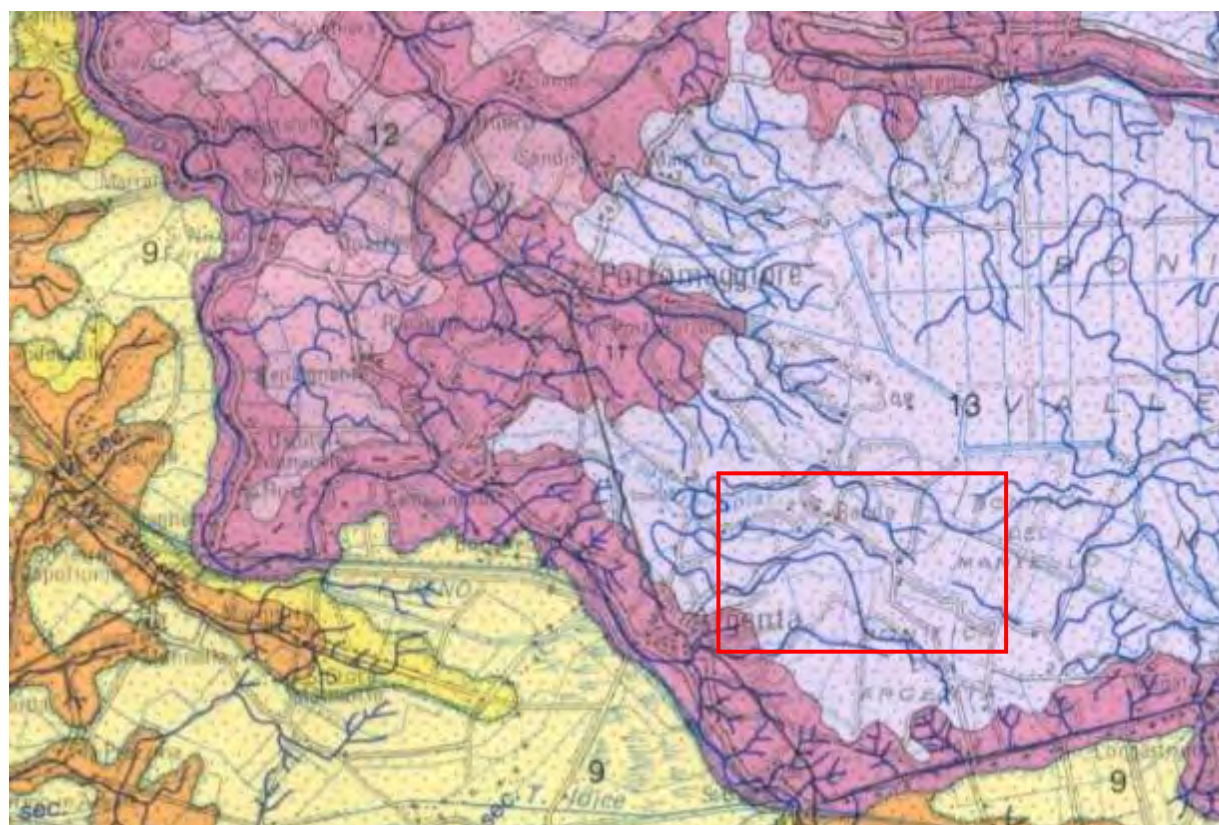
limose, localmente si tratta di sabbie grossolane in corpi lenticolari e nastriformi. Questi depositi mettono ben in evidenza i tracciati dei paleoalvei, si possono infatti osservare i tracciati del Po di Primaro, del Po di Volano e del Padoa-Padovetere.

Tali depositi sono occasionalmente interrotti da lenti di varia estensione areale, si tratta sempre di depositi di piana deltizia, ma sono tipici di ambienti di palude, sono costituiti da limi e limi argillosi intercalati in strati decimetrici, localmente caratterizzati da livelli organici parzialmente decomposti. Procedendo da ovest verso est si può notare come i depositi sopra citati si riducano considerevolmente, limitandosi alle aree coincidenti con le tracce dei paleoalvei, mentre si diffondono i depositi di baia interdistributrice, caratterizzati da argille limose, limi e sabbie finissime in strati decimetrici intercalati a livelli torbosi e/o a sostanza organica parzialmente decomposta, localmente presentano gusci di molluschi, sabbie fini e finissime limose in sottili corpi nastriformi. Questi depositi sono tipici di aree bonificate come la Bonifica Valle Volta, la Bonifica Valle Gallare, e la Bonifica di Valle del Mezzano. I depositi di piana deltizia descritti fin ora si estendono fino al limite orientale dell'area indagata dove vengono interrotti dai depositi di piana di sabbia e fronte deltizia, si tratta di depositi di cordone

litorale e dune eoliche, testimonianza della esistenza di antiche linee di costa, caratterizzati da sabbie medie e fini con intercalati livelli decimetrici di gusci di molluschi, subordinatamente livelli di limi sabbiosi e di sostanza organica parzialmente decomposta. Rinvenibili nell'estremità orientale della bonifica valle del Mezzano.

Alla Fig. 3.6 si riporta uno stralcio della Carta geologica di Pianura dell'Emilia-Romagna, l'area di indagine è inquadrata nel rettangolo rosso e permette di evidenziare le distribuzioni areali delle litologie di superficie (entro il primo metro da p.c.).

Come si può osservare dalla legenda riportata a corredo dello stralcio di carta geologica, i depositi rinvenibili nel settore di studio risultano essere di origine prevalente “deltizia e litorale”, con materiali derivanti da ambiente deposizionale di Piana Deltizia costituita da Sabbie (11) a limi (12) e argille (13) anche di natura organica (limi argillosi e argille limose), depositi tipici di Canale distributore, e di argine, di palude e di baia interdistributrice.

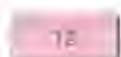


DEPOSITI DELTIZI E LITORALI

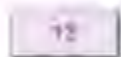
PIANA DELTIZIA



Sabbie da medie a fini in strati di spessore decimetrico passanti lateralmente ed intercalate a sabbie fini e finissime limose, localmente sabbie grossolane in corpi lenticolari e nastriformi. Depositi di canale distributore e di argine.



Limi e limi argillosi intercalati in strati decimetrici, localmente livelli organici parzialmente decomposti. Depositi di palude.

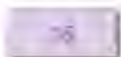


Argille limose, limi e sabbie finissime in strati decimetrici intercalati a livelli torbosi e/o a sostanza organica parzialmente decomposta, localmente gusci di molluschi, sabbie fini e finissime limose in sottili corpi nastriformi. Depositi di baia interdistributrice.

PIANA DI SABBIA E FRONTE DELTIZIA



Sabbie medie e fini con intercalati livelli decimetrici di gusci di molluschi, subordinatamente livelli di limi sabbiosi e di sostanza organica parzialmente decomposta. Depositi di cordone litorale e dune eoliche.



Limi, sabbie e sabbie fini, livelli decimetrici di sostanza organica decomposta, intercalati a sabbie fini e a limi argilloso. Localmente intercalazioni di livelli torbosi e di gusci di molluschi, localmente sabbie fini. Depositi di palude salmastra.

Fig. 3.6 – Estratto Carta geologica di Pianura dell'Emilia Romagna

Scendendo maggiormente nel dettaglio, si possono meglio definire le caratteristiche geologiche, deposizionali e litologiche del territorio in esame attraverso la cartografia regionale che permette di suddividere il territorio in sintemi ed unità deposizionali.

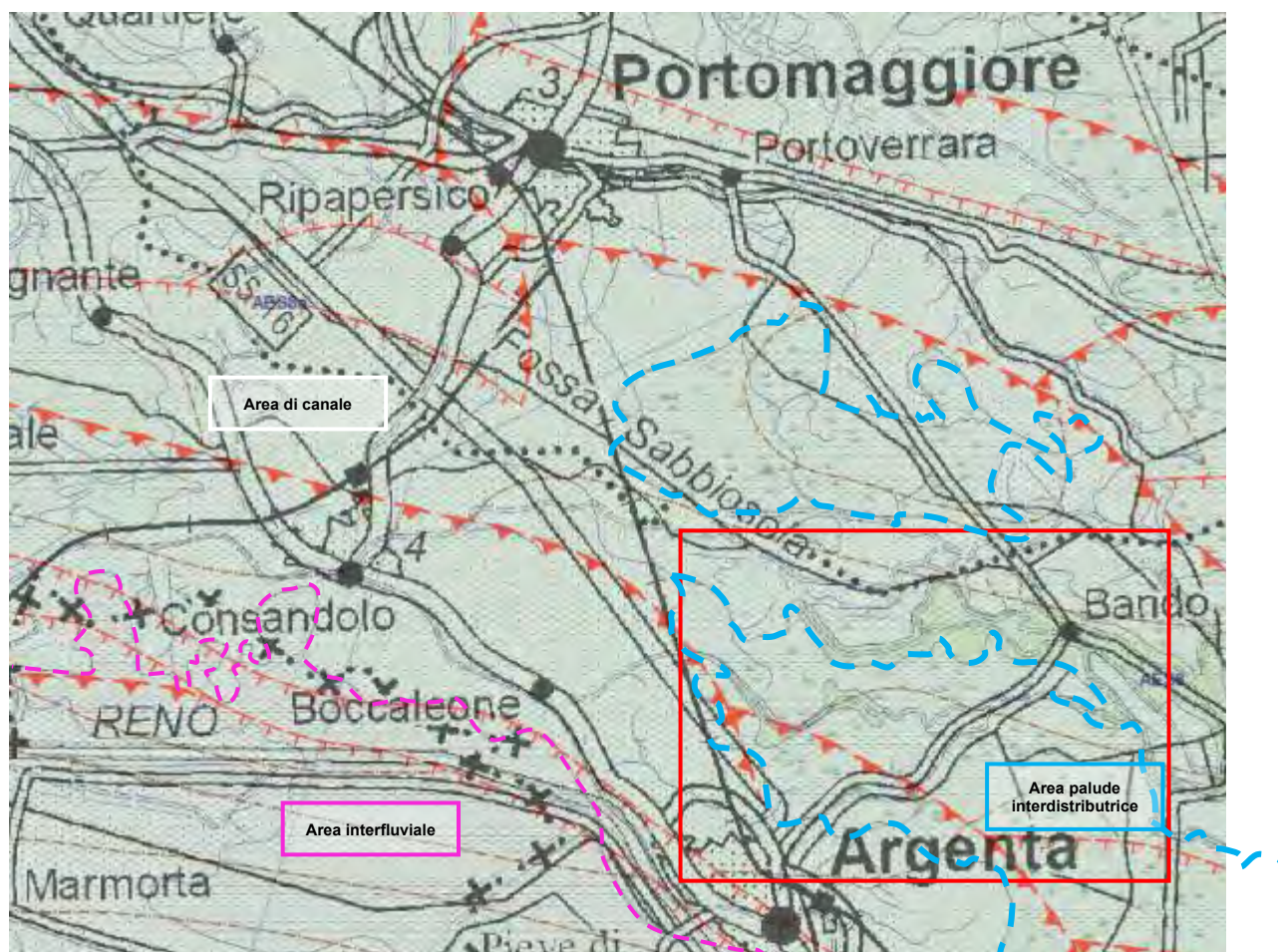


Fig. 3.7 – Estratto Carta geologica della Regione Emilia Romagna

Come è possibile osservare dall'immagine sopra riportata in Fig.3.7, il territorio in esame (inquadrato nel rettangolo rosso) ricade prevalentemente in ambiente deposizionale di piana deltizia con depositi che da Ovest verso Est sono caratterizzati da sabbie limose di canale distributore, argine e rotta fino ad arrivare ad argille limose con torba di palude e area interdistributrice e argille limose di piana inondabile in area interfluviale. All'immagine precedente si evidenziano i confini tra le tre litologie prevalenti e, di conseguenza gli ambienti deposizionali. In azzurro il confine tra ambiente di canale distributore, argine e rotta con i materiali derivanti da area di palude e interdistributrice, mentre in fucsia si evidenzia il confine tra ambiente di canale distributore, argine e rotta, e l'area interfluviale.

Dal punto di vista delle unità geologiche caratteristiche del territorio, l'intero territorio dei comuni di Argenta e Portomaggiore, così come la maggior parte del territorio provinciale, ricade nel Sintema Emiliano Romagnolo superiore – Subsintema di Ravenna (AES8) – Unità di Modena (AES8a):

- AES8 Subsintema di Ravenna: Pleistocene sup. – Olocene – Unità costituita da ghiaie sabbiose, sabbie e limi ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua, in contesti di conoide alluvionale, canale fluviale e piana alluvionale intravalliva; da limi, limi sabbiosi e limi argillosi, in contesti di piana inondabile; da alternanze di sabbie, limi ed argille, in contesti di piana deltizia; da sabbie prevalenti passanti ad argille e limi e localmente a sabbie ghiaiose, in contesti di piana litorale. Al tetto l'unità presenta spesso un suolo parzialmente decarbonatato non molto sviluppato di colore giallo-bruno;
- AES8a Unità di Modena: Olocene – Unità costituita da ghiaie e ghiaie sabbiose o da sabbie con livelli e lenti di ghiaie ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua, in contesti di conoide alluvionale, canale fluviale e piana alluvionale intravalliva; da argille e limi, in contesti di piana inondabile; da alternanze di sabbie, limi ed argille, in contesti di piana deltizia; da sabbie prevalenti passanti ad argille e limi e localmente a sabbie ghiaiose, in contesti di piana litorale. Al tetto l'unità presenta localmente un suolo calcareo poco sviluppato di colore grigio-giallastro.

4 LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI

L’assetto geomorfologico del territorio in esame è quello tipicamente caratteristico delle pianure e nella fattispecie della Bassa Pianura Padana, ove il retaggio delle divagazioni dei paleo corpi idrici, ampiamente protrattesi nel tempo, è rappresentato da deposizioni granulari sia sepolte che superficiali. Queste ultime si conformano quindi come dossi che normalmente presentano modesto rilievo e forme arrotondate pure spiccano sui terreni circostanti.

Per il territorio di studio si rilevano anche dossi particolarmente rilevati e/o dalle forme meno arrotondate. Le divagazioni dei paleo corpi idrici non hanno generato la pianura solo dal punto di vista geologico e deposizionale ma hanno avuto notevole importanza anche nella definizione dei luoghi di insediamento e delle forme degli abitati che infatti nella larga maggioranza dei casi sono sorti lungo i dossi in immediata continuità dei corsi idrici. In seguito, è risultato particolarmente comodo trasformare tali dossi rilevati in assi viari, producendo importanti trasformazioni della morfologia tipica dei dossi (che naturalmente sono costituiti da paleo- argini naturali caratterizzati da forme arrotondate, spesso non sufficientemente continue e dal rilievo modesto, e dalla presenza centrale della “vena idraulica”, ovvero del corso idrico vero e proprio).

I dossi attualmente visibili rappresentano solamente l’ultima definizione del prolungato processo di divagazione dei fiumi e di edificazione della pianura. I principali corpi idrici del territorio dell’Unione dei Comuni:

- Po di Spina (Spinetico) o Padoa Vetere o Padoa Eridano, le cui definizioni deposizionali attraversano il Comune di Portomaggiore da Nord- Ovest a Sud- Est;
- Po di Primaro che, sia come definizione idraulica del Po Morto di Primaro che in seguito come definizione paleo deposizionale ed infine come attuale corpo idrico del Fiume Reno interessano il territorio del Comune di Argenta costituendone una sorta di spina dorsale che marca i confini verso Ovest col Comune di Ferrara e verso Sud con le Province di Bologna e di Ravenna.

Numerosi corpi idrici secondari costituiscono una fitta rete divagativa che si dipana fra i corpi principali sopra definiti, fra questi possono individuarsi i principali:

- il Sandolo/Persico: che unisce il Po Spinetico a Nord col Primaro a Sud; che con riferimenti attuali collega le frazioni di Runco (nel Comune di Portomaggiore) e Consandolo (nel Comune di Argenta) e origina una complessa rete di ulteriori corsi idraulici e di dossi;
- il “Sistema” Sabbiosola- Bandissolo- Benvignante (con riferimento agli attuali corpi idrici che ripercorrono ubicazioni passate), originato dallo stesso Sandolo/Persico, poco a Nord-Ovest di Consandolo. Trattasi di un complesso sistema divagativo che con direzione Sud-Est bypassava il corso del Primaro e si raccordava alle allora ben più estesi Valli del Mantello in corrispondenza dell’attuale abitato di Menate (nel Comune di Argenta) o, meglio, poco a Nord di tale abitato. Anche in tal caso si rileva una fitta rete paleo-divagativa e dossi non particolarmente rilevati, che in pratica interessano i soli abitati di Bando e La Fiorana. Altre divagazioni paleo idriche pur fitte rivestono importanza minore.

Nell’immagine di seguito riportata si possono osservare i corpi idrici primari e secondari precedentemente descritti, il territorio mostrato dall’immagine risulta essere quello dell’Unione Valli e Delizie, unione di comuni che comprende i territori di Portomaggiore ed Argenta.

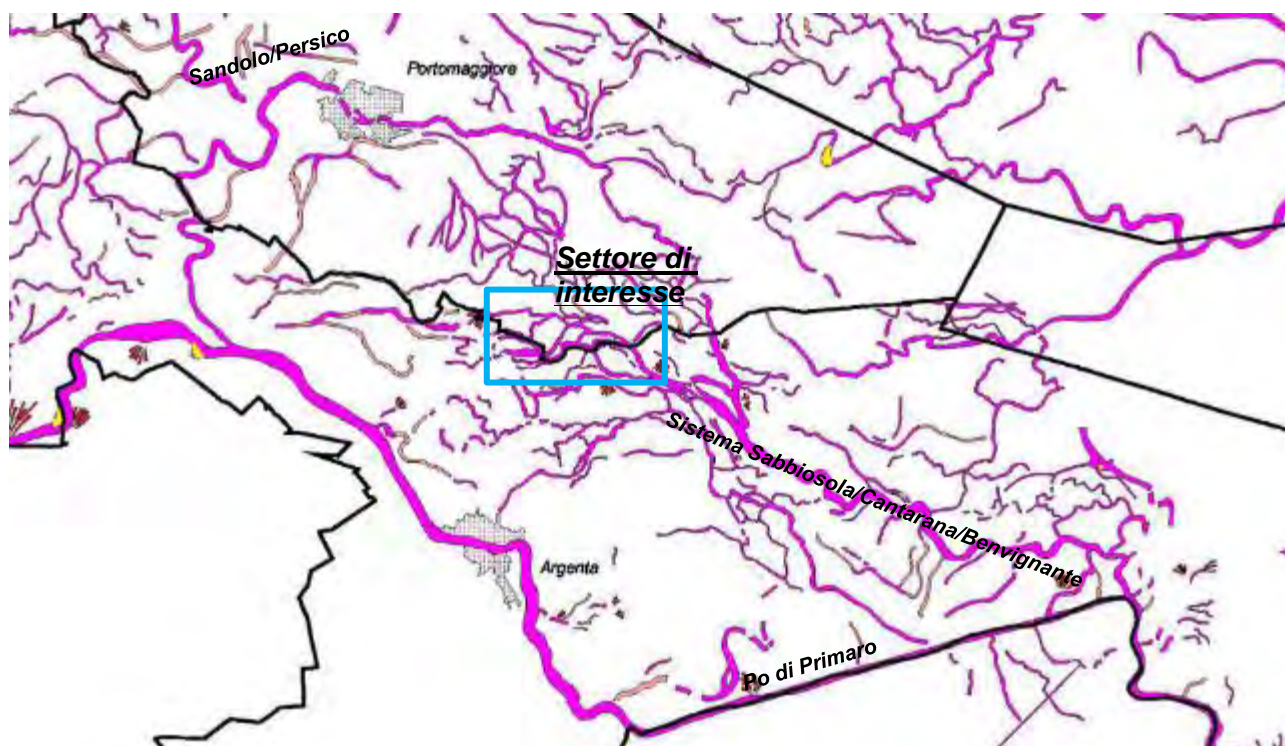


Fig. 4.1 – Stralcio in scala libera della Carta Geomorfologica della Provincia di Ferrara – tratta da “Quadro Conoscitivo Diagnostico, Sicurezza del territorio” del Piano Urbanistico Generale (PUG) dell’unione Valli e Delizie (territorio in esame evidenziato in azzurro)

Fra le forme del territorio evidenti ed importanti, oltre ai paleoalvei/dossi vi sono i con di esondazione/di rotta fluviale che si originavano all’esterno dei meandri dei paleo corsi idrici durante le piene più importanti. I paleo alvei erano infatti caratterizzati da argini naturali modestamente rilevati, il sormonto e/o la rotta di tali argini era quindi una fattispecie che poteva ripetersi ad ogni alluvione. Gli eventi di rotta potevano costituire ulteriore occasione di divagazione dello stesso corpo idrico. I corpi idrici principali hanno originato con di rotta di dimensioni anche non trascurabili e con spessori delle deposizioni granulari (in senso lato) anche più che metriche. Infatti a carico di queste deposizioni di maggior dimensione si sono avute anche in epoca recente operazioni di estrazione delle risorse Sabbiose/Sabbioso- Limose. A monte di Argenta si può ricordare la rotta della Bocca del Leone (da cui il toponimo dell’omonima frazione). Ampi ed estesi ventagli di rotta, che possono essere anche coalescenti ed originare estese superfici a deposizione granulari e a geometria complessa sono riconoscibili anche poco a Sud del comune di Portomaggiore in relazione al corso del Sandolo/Persico o della sua complessa rete divagativa; anche se in questi casi le deposizioni denotano spessori ridotti rispetto agli esempi del Primaro di cui sopra.

Di seguito si riporta una sezione tracciata a partire dal territorio di Boccaleone sino ad arrivare al territorio di Bando; quindi, passante per il settore di studio, inoltre attraversa il dosso fluviale del Po di Primaro. Sono chiaramente visibili le strutture tipiche di argine naturale (sabbioso) ed i materiali di piana alluvionale/interdigitazioni di materiali argilloso, limosi e sabbiosi. In merito all’area di interesse, la litologia appare evidentemente caratterizzata da argille prevalenti, originatesi dalle divagazioni dei corsi d’acqua e dalla formazione di aree di ristagno idrico interfluviale.

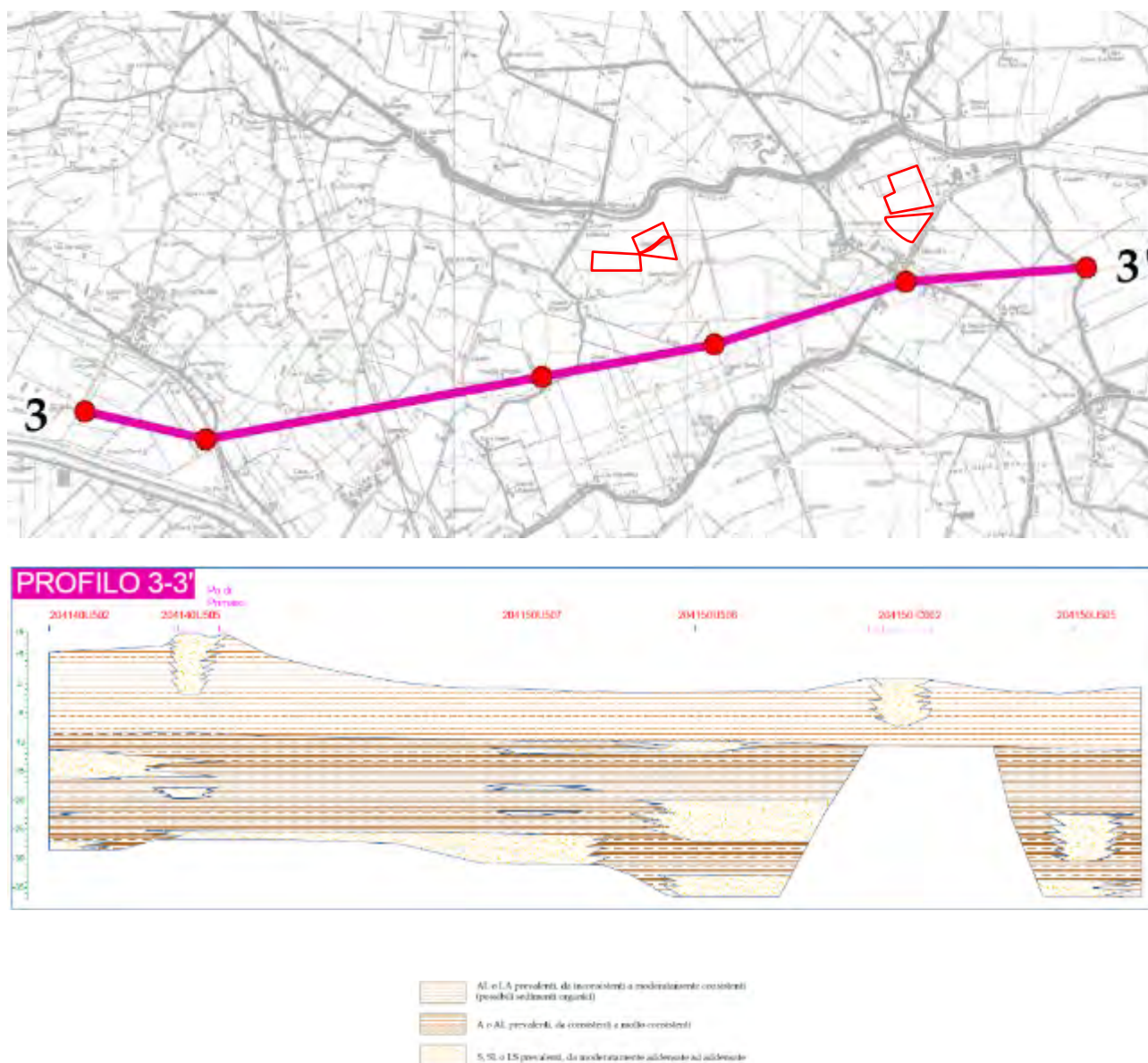


Fig. 4.2 – Traccia e sezione stratigrafica

Oltre alle naturali divagazioni dei paleo corsi idrici, si debbono registrare anche rilevanti modifiche antropiche ai corsi degli stessi fiumi ed anche “drammatiche” trasformazioni all’assetto complessivo del territorio che hanno registrato la sostanziale eliminazione dei grandi bacini (Valli) ‘endoreici’ d’acqua dolce o salmastra originariamente presenti.

La presenza di queste valli endoreiche era legata alla difficoltà dei fiumi appenninici di trovare uno sbocco a mare, questa ampia fascia di territorio vedeva infatti un complicatissimo assetto idraulico, fortemente condizionato non solo dal regime torrentizio dei corsi idrici appenninici ma anche dallo “strano” corso del Primaro che, puntando decisamente a Sud da Ferrara si spingeva sino all’attuale frazione di Traghetto per poi virare bruscamente verso Est ovvero verso il mare (ampiamente meandreggiando). Il Primaro era caratterizzato da un dosso molto rilevato motivo per cui le acque dei torrenti appenninici non potevano essere recapitate all’interno dello stesso ed

“andavano a sbattere” contro il suo dosso ed allo stesso tempo non potevano nemmeno defluire verso mare. Tali situazioni morfologiche determinavano ampie zone vallive interne di acqua dolce, estinte solamente a seguito della regolarizzazione del Fiume Reno (fine ‘700-primi ‘800), le quali hanno lasciato ampie testimonianze sul territorio riscontrabili principalmente attraverso le tessiture e litologie a carattere fine limoso-argilloso ed organico.

Alla seguente Fig. 4.3 si riporta in formato grafico il dettaglio di quanto descritto. Si può osservare per l’area oggetto del presente studio, una ricca e complicata situazione geomorfologica, con numerosi paleoalvei e depositi di rotta e tracimazione, in particolar modo in corrispondenza del settore ove si prevede la realizzazione che campo agrivoltaico si registra la presenza di paleoalvei di certa e incerta ubicazione.

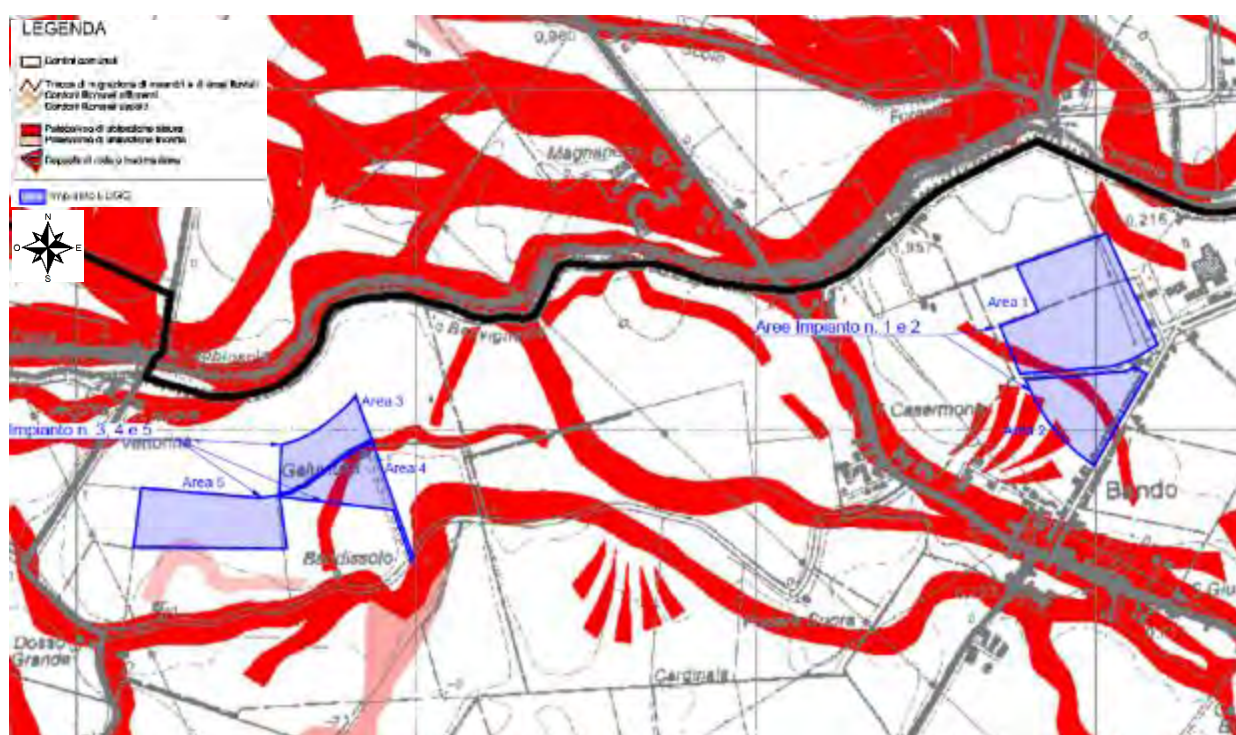


Fig. 4.3 –Carta Geomorfologica (v. Tav.04) – Quadro conoscitivo diagnostico, Piano Urbanistico Generale (PUG) Unione dei comuni Valli e Delizie

5 ASSETTO IDROGEOLOGICO E IDROLOGICO LOCALE

5.1 CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

L’acquifero Regionale risulta suddiviso in tre grandi gruppi acquiferi (mostrati in Figura 5.1 e 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.

| Unità di sottosuolo | | Unità affioranti | | | | | ETA* (milioni di anni) | SCALA CRONOSTRATIGRAFICA (milioni di anni) | |
|---------------------|---------------------|-------------------|------------------------------------|--|---------|-------|------------------------------------|---|--------------------------|
| Gruppi Acquiferi | Complessi acquiferi | | | | | | | | |
| A | A0 | POST TETTONICO | SUPERSINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO | SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE | AES8 | ~0,12 | PLEISTOCENE SUPERIORE - OLOCENE | 0,125 | |
| | A1 | | | | AES 7 | | | | |
| | A2 | | | | AES 3/6 | | | | |
| | A3 | | | | AES2 /5 | | | | |
| | A4 | | | | AES1 /4 | | | | |
| B | | SIN TETTONICO | SUPERSINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO | SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE | | -0,45 | PLEISTOCENE MEDIO | | |
| | | POST TETTONICO | | | | | | | |
| C | | SIN TETTONICO | SUPERSINTEMA QUATERNARIO MARINO | SISTEMA QUATERNARIO MARINO SUPERIORE | | -0,80 | | 0,94 | |
| | | POST TETTONICO | | SISTEMA QUATERNARIO MARINO MEDIO | | | | | |
| | | SIN TETTONICO | | SISTEMA DI COSTABISSARA | | | | | |
| | | POST TETTONICO | | | | | | | |
| | | SIN TETTONICO | | SISTEMA DEL TORRENTE STORONE | | -1,0 | | | PLEISTOCENE INFERIORE |
| | | POST TETTONICO | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | 1,72 | PLIOCENE SUPERIORE | |

Fig. 5.1 – 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 idrostatigrafiche 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 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 in ambiente marino; infatti, 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.

Il settore di studio è caratterizzato da soggiacenze piuttosto limitate; infatti, si è in presenza dell’acquifero superficiale già a partire da pochi metri al di sotto del piano campagna. Nel dettaglio per il settore in esame è stata rinvenuta la falda ad una profondità compresa tra -0,80 (Area Ovest) e -3,00 (area Est) m da p.c. La direzione di deflusso delle acque superficiali, come si vedrà nella seguente Fig. 5.2, è decisamente governata dal corso del Fiume Reno che scorre al confine Ovest-Sud Ovest del territorio in esame.

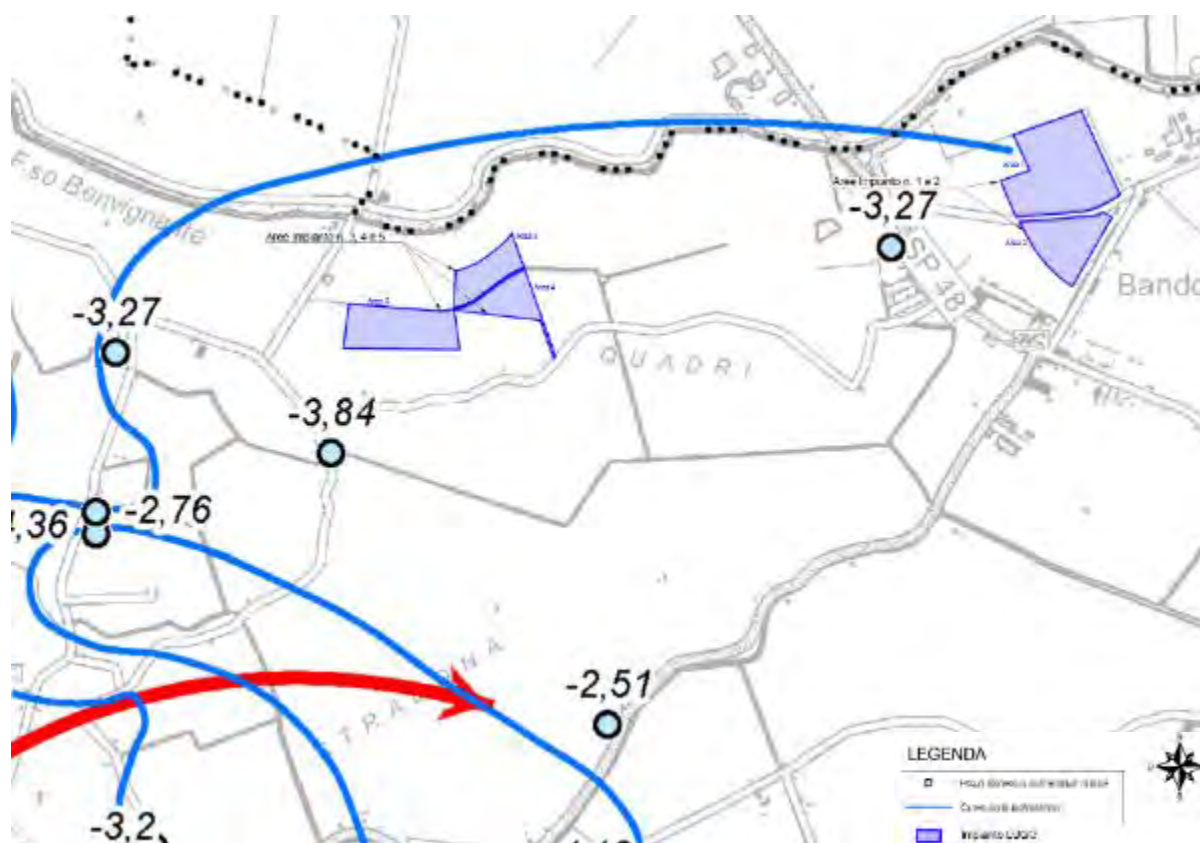


Fig. 5.2 – Carta delle isofreatiche (v. Tav.05) – Quadro conoscitivo diagnostico, Piano Urbanistico Generale (PUG) Unione dei comuni Valli e Delizie

5.2 CARATTERISTI IDROLOGICI ED IDRAULICI

Per i territori in esame la Pericolosità Idrogeologica è riconducibile sostanzialmente alla sola Pericolosità Idraulica. L’attuale assetto del territorio, direttamente legato all’evoluzione naturale ed in seguito antropica del reticolo idraulico naturale ed alle importanti opere di bonifica, costituisce particolare elemento di pericolosità complessa e differenziata. L’esteso reticolo

idraulico realizzato dalle opere di bonifica svolge azione promiscua di drenaggio/sgrondo e di alimentazione irrigua la cui gestione è suddivisa su tre competenze territoriali di bonifica: Consorzio di Bonifica Ferrarese, Renana e della Romagna Occidentale.

Il territorio in esame, nel dettaglio, rientra interamente nella competenza idraulica del Consorzio della Bonifica Ferrarese, la quale denota peculiarità che la differenziano dalle altre zone idrauliche. La parte del ferrarese è rappresentata dalle terre “basse” e dai territori delle bonificazioni di vari periodi storici fra i quali si annoverano le bonificazioni più recenti (Valli del Mezzano), che interessano una porzione del territorio di Argenta. La dinamica di funzionamento del reticolo di bonifica prevede che le acque vengano sollevate meccanicamente ed immesse in collettori principali che, essendo ubicati a quote più elevate, possono recapitare a mare. Tutto ciò avviene tramite un complesso sistema di sollevamenti idraulici (idrovoce) e chiuse che regolano il sistema. Il sistema è altamente gerarchizzato ed a completo controllo antropico e deve temperare esigenze contrastanti quali appunto lo sgrondo a mare e l'alimentazione idrica (dai corsi idrici naturali) per funzione irrigua. Sono normalmente presenti diversi livelli idrometrici e quindi i sollevamenti possono essere molteplici e di entità differenziata. La parte del ferrarese è normalmente caratterizzata da numerose idrovoce solitamente di piccole/medie dimensioni e di altrettanto numerose piccole e medie chiuse e paratoie. Sottendono a tutto ciò pochi grandi impianti di sollevamento presenti sul territorio dell'Unione dei comuni, soprattutto nelle porzioni più orientali, che costituiscono l'ultimo sollevamento e cacciata a mare. Il reticolo dei canali di bonifica è ampio e ramificato a partire dalle piccole scoline agricole che caratterizzano/caratterizzavano (perlomeno sino a pochi anni fa) le campagne. Dalle scoline si passa ai fossi, agli scoli, ai canali ed infine ai grandi canali circondari.

Il maggior elemento di pericolosità idraulica, derivante dalla gestione di questi reticoli di bonifica, è legato alle possibilità di alluvionamento “dal basso”. Questa è la situazione tipica quando il sistema complessivo di allontanamento/sollevamento delle acque non riesce a far fronte allo scolo delle acque di precipitazione. Altro elemento di massimo aggravio è costituito dai cambiamenti delle modalità di precipitazione registrati negli ultimi anni, ampiamente variate nei valori dei singoli eventi e nelle distribuzioni degli stessi eventi.

Da non sottovalutare anche il pericolo da alluvionamento “dall'alto”, pericolo connesso alla stabilità delle strutture arginali. Si tratta di un'eventualità da ricondursi ad eventi estremi e rari di crollo e/o sormonto delle difese arginali, eventi che hanno colpito da vicino il territorio in esame nella primavera 2023 (Alluvioni Romagnole). Tali eventi fanno emergere le fragilità intrinseche delle strutture arginali, connesse alla loro realizzazione ormai lontana nel tempo; si ricorda che alcune arginature presentano quote molto elevate e sezioni particolarmente limitate. Inoltre, talune (ad esempio la rettificazione del Reno) sono state realizzate a fine '700. Questi caratteri determinano importanti fragilità localizzate, che, nel complesso, devono essere attentamente considerate. Infatti, ove l'arginatura denoti elementi di Pericolosità lo sono anche i territori circostanti e tutto ciò che nel tempo vi si è costruito, in molti casi nelle immediate o immediatissime vicinanze del corso idrico, la densificazione abitativa e produttiva dei nostri territori ha visto infatti pericolosamente avvicinarsi abitazioni e aree industriali agli argini stessi.

Dall'analisi del Piano di Gestione del Rischio di Alluvione (PGRA,) Il ciclo 2021-2027 aggiornati a Giugno 2022, le aree in esame ricadono sia all'interno del bacino idrografico principale e secondario del Fiume Po, sia del Fiume Reno; la consultazione delle cartografie riportate in stralcio alle immagini seguenti, mostra quanto segue:

Distretto Fiume Po (v. Fig. 5.3, Fig. 5.4 e Fig. 5.5):

- reticolo principale: classe di pericolo P1, alluvioni rare; bassa probabilità di accadimento; tempo di ritorno compreso fra 200 e 500 Anni, scarsa probabilità di alluvioni o di eventi estremi
- reticolo secondario di pianura: classe di pericolo P2, alluvioni poco frequenti; media probabilità di accadimento tempo di ritorno compreso fra 100 e 200 Anni. Mentre buona parte dell'area occupata dal settore “Aree 3, 4 e5” ricadono in P3 Alluvioni frequenti; elevata probabilità d'accadimento tempo di ritorno compreso fra 50 e 100 Anni.

Distretto Fiume Reno (v. Fig 5.6 e Fig. 5.7):

- reticolo principale: classe di pericolo P1, alluvioni rare; bassa probabilità di accadimento; tempo di ritorno compreso fra 200 e 500 Anni, scarsa probabilità di alluvioni o di eventi estremi;
- reticolo secondario di pianura: non rientrante nella classificazione.



Fig. 5.3 – Direttiva Alluvioni - Reticolo primario Fiume Po

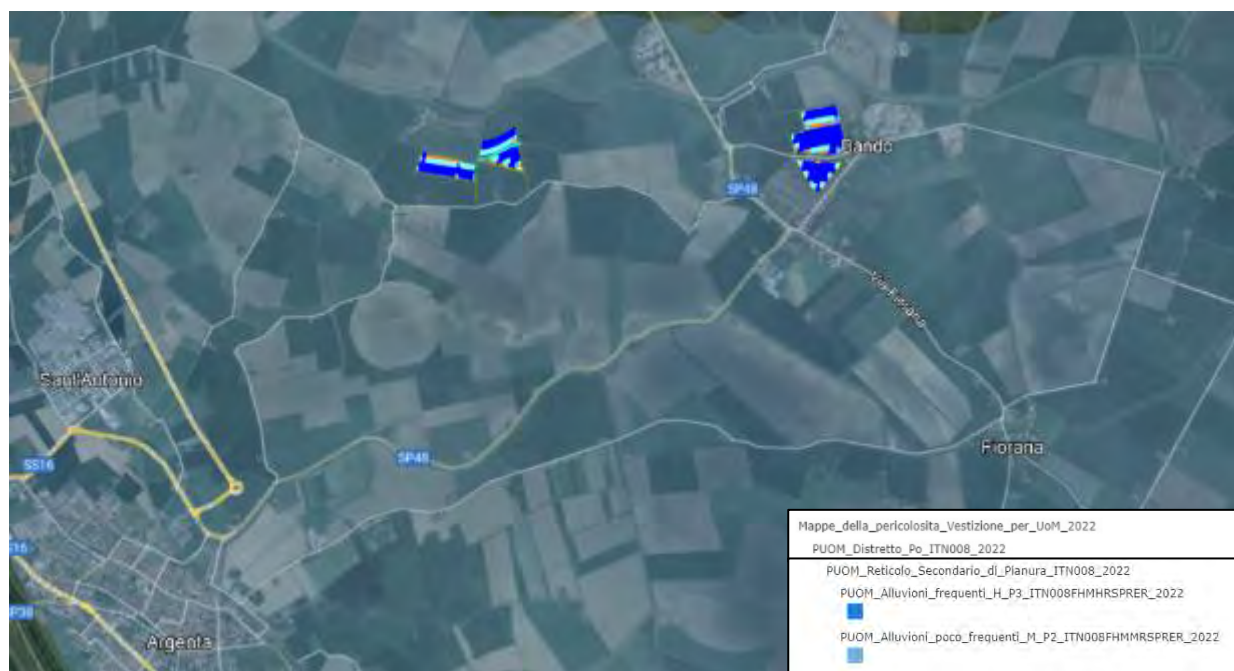


Fig. 5.4 – Direttiva Alluvioni - Reticolo secondario Fiume Po (aree P2)

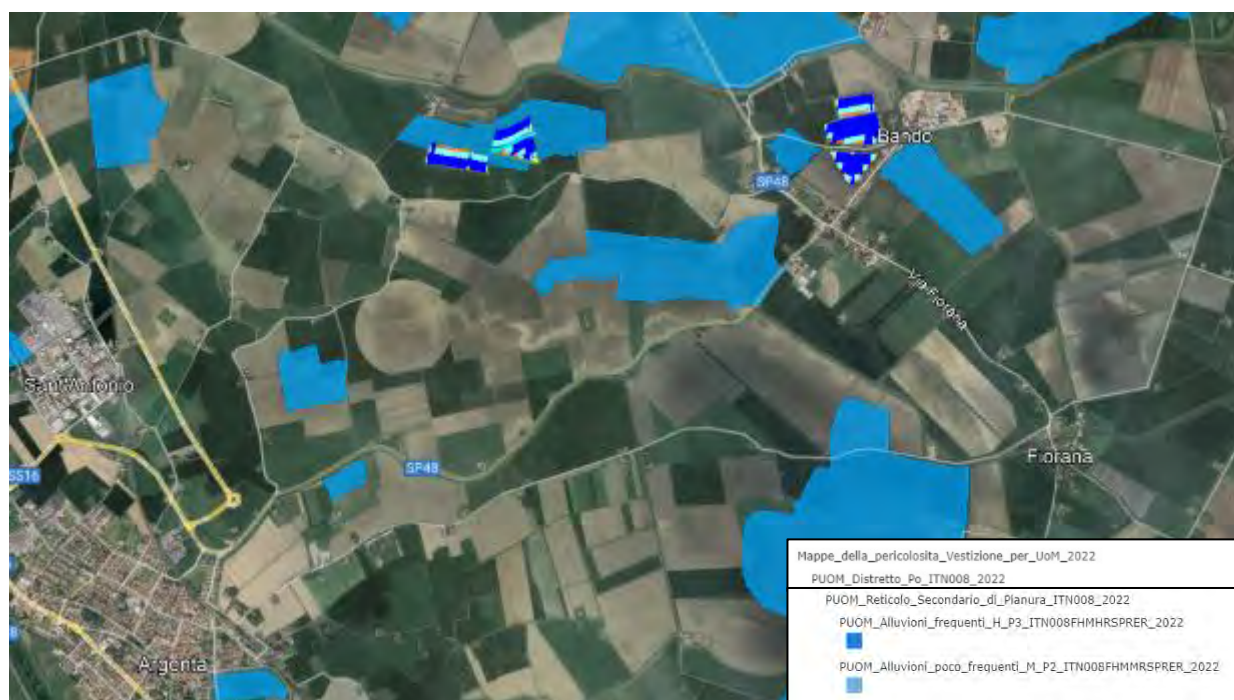


Fig. 5.5 – Direttiva Alluvioni - Reticolo secondario Fiume Po (aree P3)



Fig. 5.6 – Direttiva Alluvioni - Reticolo primario Fiume Reno

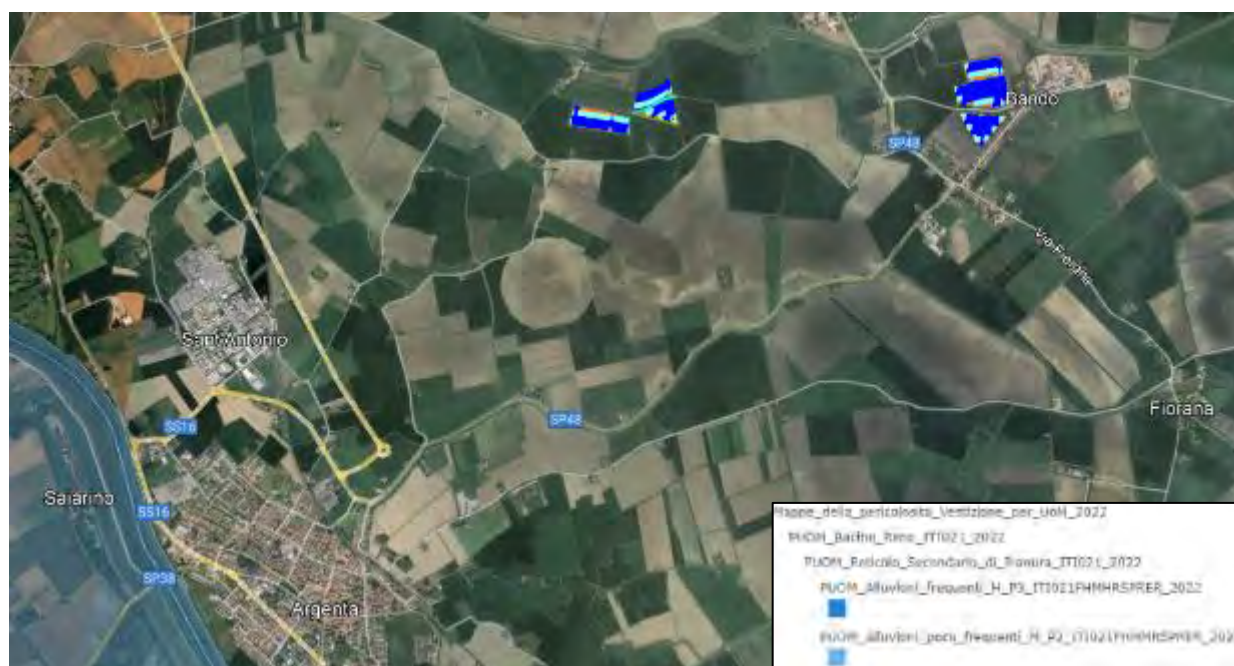


Fig. 5.7 – Direttiva Alluvioni - Reticolo secondario Fiume Reno

A completamento dell’analisi svolta, si riportano gli stralci della cartografia riportante la mappatura del rischio di alluvioni predisposta in attuazione della Direttiva 2007/60/CE e del D.lgs. 49/2010. Tale cartografia indica le potenziali conseguenze negative derivanti dalle alluvioni e prevedono 4 classi di rischio: R4 – Rischio molto elevato; R3 – Rischio elevato; R2 – Rischio medio; R1 – Rischio moderato o nullo.

Dalla consultazione della cartografia contenuta nel PGRA della Regione Emilia-Romagna, ambito territoriale del reticolo naturale principale, tavola 204 SE – Argenta, emerge che le aree

di futura realizzazione dell’impianto Fotovoltaico ricadono in area a rischio moderato o nullo R1, ad esclusione delle vie di comunicazione che ricadono in aree lineari a rischio medio R2.

Analogamente, per quanto riguarda il Reticolo Secondario di Pianura, tavola 204 SE – Argenta, le aree di interesse ricadono prevalentemente in ambito a rischio moderato o nullo R1.



Fig. 5.8 – Ambito territoriale: PGRA 204 SE – Argenta – Reticolo principale naturale (Mappa del rischio)

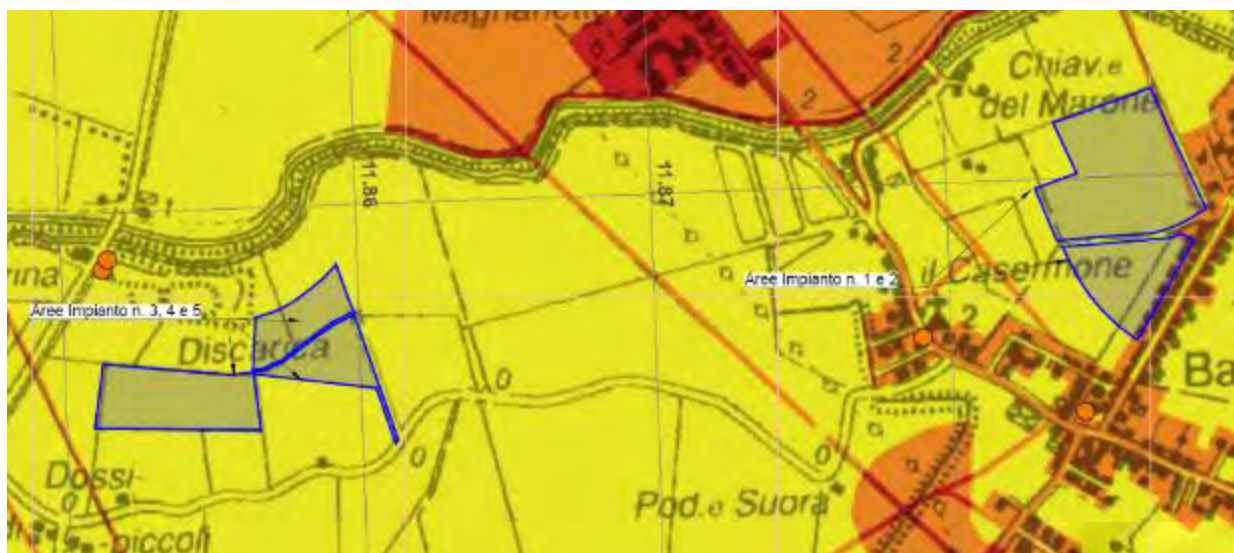


Fig. 5.9 – Ambito territoriale: PGRA 204 SE – Argenta – Reticolo secondario di pianura (Mappa del rischio)

6 STORIA SISMICA LOCALE

Il territorio dell'Emilia-Romagna è costituito dal versante padano dell'Appennino settentrionale e dalla Pianura Padana a sud del Po; il limite regionale, infatti, coincide per lunghi tratti con lo spartiacque appenninico verso sud e con il corso del Po verso nord. Pur essendo due ambienti geomorfologici ben distinguibili, l'Appennino e la Pianura Padana sono strettamente correlati. Il fronte della catena appenninica non coincide con il limite morfologico catena-pianura (margine appenninico –padano) ma è individuabile negli archi esterni delle Pieghe Emiliane e Ferraresi (Pieri & Groppi, 1981) sepolte dai sedimenti quaternari padani. 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.

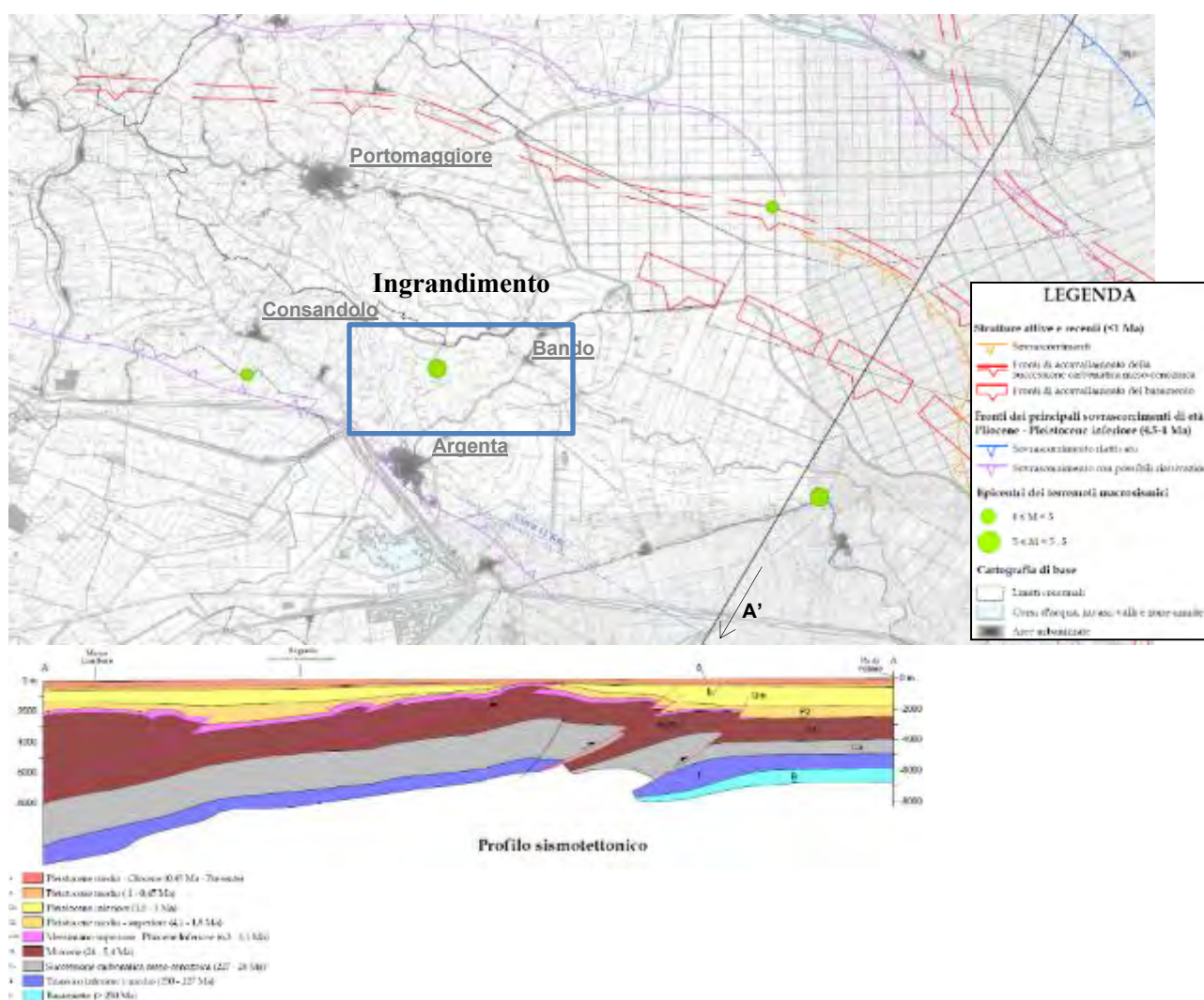


Fig. 6.1 – “Carta degli elementi sismotettonici” (v. Tav.06) Microzonazione sismica di I livello - Unione dei comuni Argenta, Migliarino, Ostellato, Portomaggiore e Voghiera

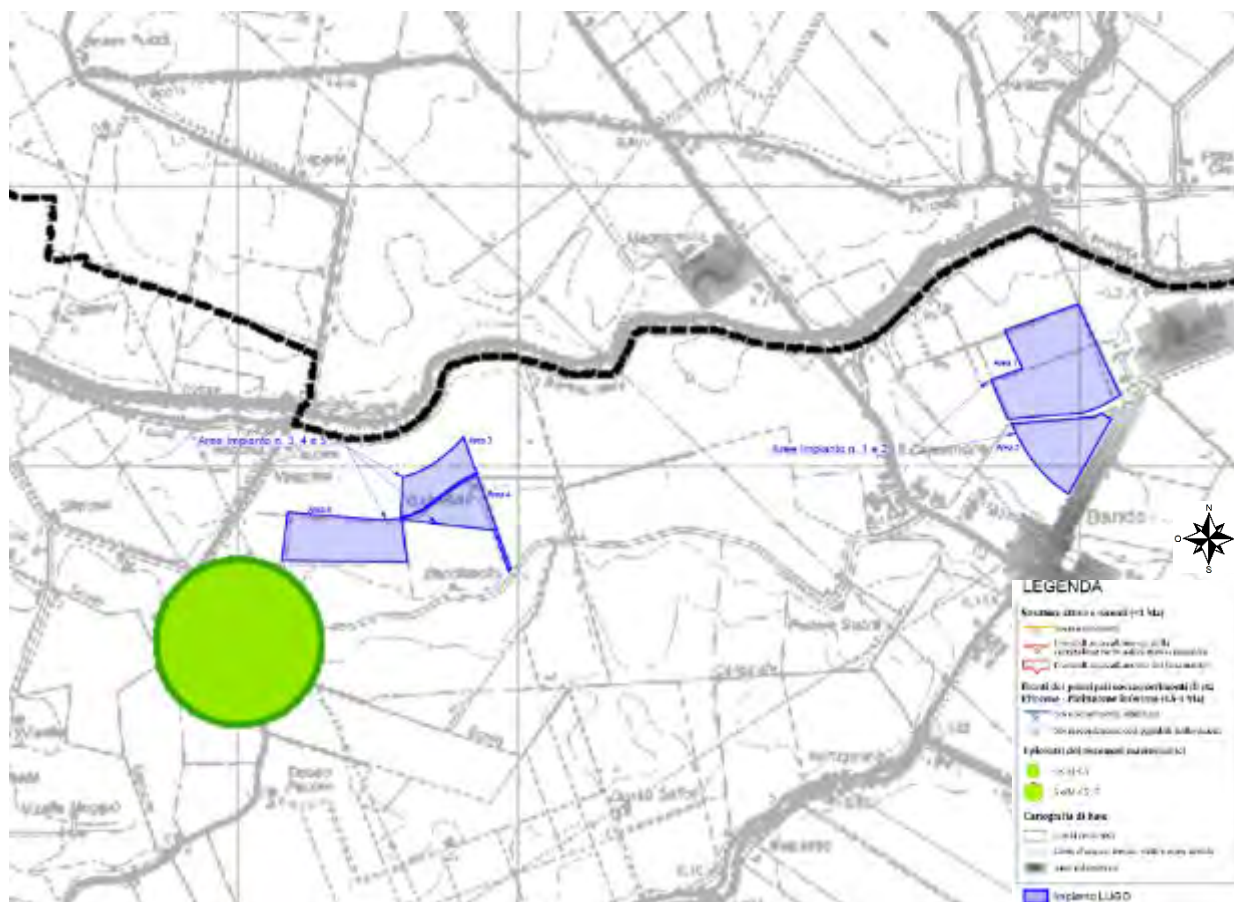


Fig. 6.1 – “Carta degli elementi sismotettonici” (v. Tav.06) Microzonazione sismica di I livello - Unione dei comuni Argenta, Migliarino, Ostellato, Portomaggiore e Voghiera - Ingrandimento

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 occorsi in epoca storica nel ferrarese sono stati il terremoto di Ferrara del 1346 e con una intensità stimata di magnitudo 5,81 della scala Richter; ed il terremoto dei Ferrara del 1570 con una intensità 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.

Come possibile osservare alla tabella riportata in Figura 7.2, tratta dal sito INGV, Argenta è stata colpita da due forti terremoti nel 1624 (Intensità VIII-IX, Mw 5.4) e nel 1898 (Intensità VII, Mw 5). In precedenza, anche il terremoto di Ferrara del 1570 aveva originato risentimenti non trascurabili. Nel 1956 si è avuto l’evento nominato Argenta (ML= 4,82; I= 7). La sequenza sismica di maggio (20 e 29) e giugno 2012 ha sensibilmente modificato la cognizione di sismicità dell’area della Bassa Pianura Padana/della Provincia di Ferrara che era ampiamente sottovalutata e che invece avrebbe dovuto suscitare maggior considerazione. Durante l’evento del 2012, soprattutto nel Comune di Argenta e in misura minore nel Comune di Portomaggiore si sono registrati danni soprattutto agli edifici delle chiese maggiori, danni che si sono sviluppati anche in presenza di accelerazioni molto ridotte rispetto a quelle epicentrali.



La Microzonazione Sismica del territorio dell'unione dei comuni "Valli e Delizie" (certificato dalla regione Emilia-Romagna con prot. PG/2018/0253239 del 10 aprile 2018), è stata redatta nel 2017 e successivamente integrata nel 2021 in seguito all'emanazione, successiva alla certificazione dello studio, della D.G.R 630 del 29/04/2019 "Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (Artt. 22 e 49, L.R. N. 24/2017)".

Dall'analisi della cartografia delle aree suscettibili di effetti locali riportata allo studio di microzonazione di I livello inserito all'interno del PSC in forma associata dell'unione dei comuni, si osservano aree caratterizzate da possibili depositi di spessore significativo immerse in falda (paleoalveo del Po di Primaro) e aree con depositi coesivi molto soffici. Entrambi i settori vengono indicati come soggetti ad analisi di III Livello.

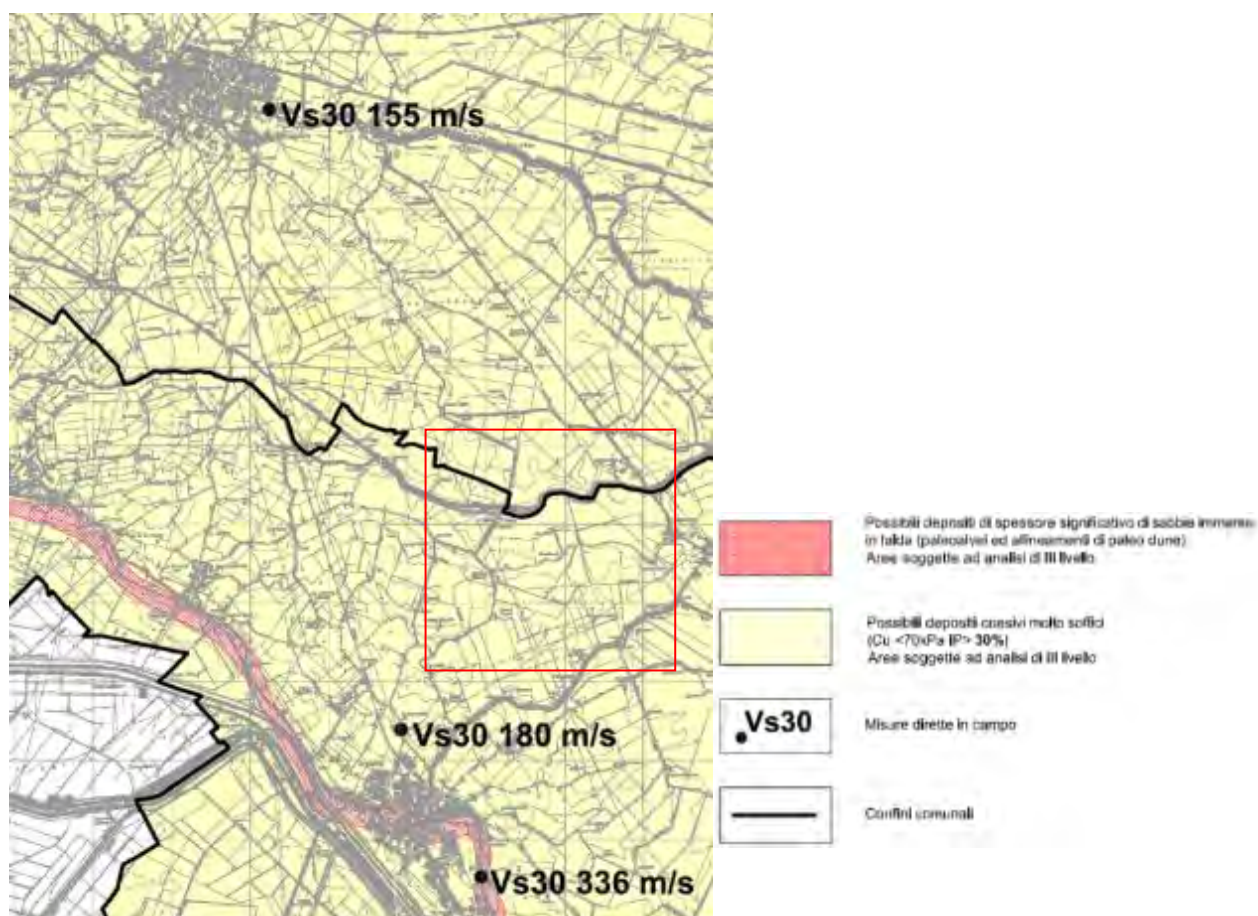


Fig. 6.3 – Cartografia delle aree suscettibili di effetti locali – PSC in forma associata (territorio in esame evidenziato in rosso)

L'area in esame ricade parzialmente in prossimità dell'abitato di Bando (Aree 1 e 2), a Nord-Est di Argenta. Dall'analisi delle informazioni emerse dalla microzonazione di III Livello (MSIII) per il comune di Argenta, emerge che l'area di progetto ricade in un ambito non coperto da studio di microzonazione di III livello di dettaglio. Ciò nonostante, da segnalare, come le aree prossime al campo agrivoltaico (Aree 1 e 2) si trovano in prossimità di un settore cartografato come “**ZSLQ – Zona di Suscettibilità per liquefazione**”. A tal proposito si veda lo stralcio della tavola 6a “Carta di microzonazione sismica Livello 3 – FA P.G.A.” riportato alla figura successiva.

Dall'analisi della medesima cartografia, è possibile stabilire come il settore di futura realizzazione del campo agrivoltaico (Aree 3, 4 e 5), non ricade all'interno di alcuno studio di Microzonazione sismica.

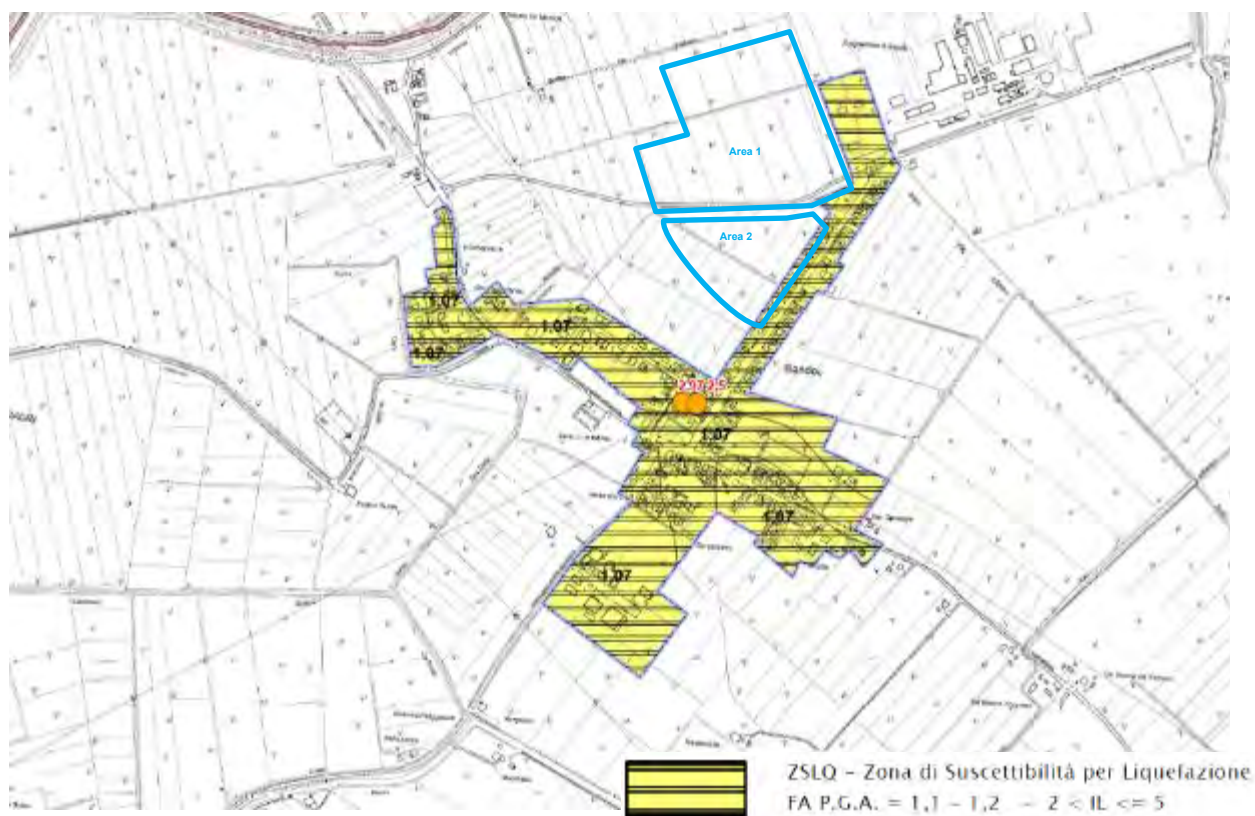


Fig. 6.4 – Carta di microzonazione sismica di III livello – FA P.G.A. – indicazione in rosso area Campo Agrivoltaico (Aree 1 e 2)

7 INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE

Le indagini si sono concentrate nelle aree dove si prevede la realizzazione dell’impianto fotovoltaico, sia in territorio comunale di Argenta sia di Portomaggiore, come meglio dettagliato alla Tavola 2.

| N. | Data di esecuzione | Tipologia di Indagine | Scopo |
|--|--------------------|-----------------------|--|
| PROVE PENETROMETRICHE CON PIEZOCONO | | | |
| 4 | 23/11/2024 | 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> |
| 2 | 23/11/2024 | 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> |
| PROVE SISMICHE | | | |
| 2 | 15/11/2024 | HVSR | <p>Il metodo HVSR si basa sull’analisi del rapporto spettrale tra le componenti orizzontale (H) e verticale (V) del rumore sismico registrato in un sito</p> |

Tabella 7-1 – Indagini condotte in sito

7.1 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.

7.1.1 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Le prove penetrometriche sono state eseguite con penetrometro modello TG63-200 della Ditta “PAGANI Geotechnical Equipment”, motorizzato e cingolato.

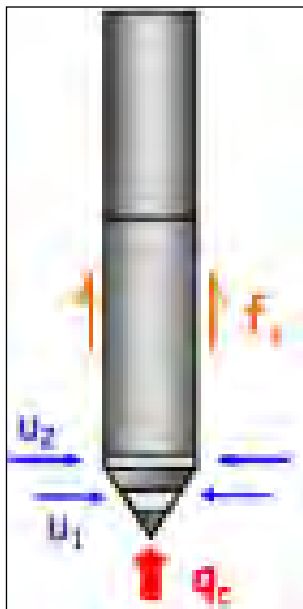


Fig. 7.1 – Schema punta CPTU



Fig. 7.2 – Penetrometro TG63-200

Nella tabella seguente si riportano le caratteristiche del penetrometro utilizzato.

| Pesi e dimensioni | | |
|--|--------------------------------------|-------------------|
| H (mm) | 1520 | |
| L (mm) | 2450 | |
| P (mm) | 1120 | |
| Peso (kg) | 1140 | |
| Dati tecnici | | |
| Motore | Tipo | Diesel 2 cil. |
| | Potenza | 18 (13.5) - 3600 |
| | Raffreddamento | Acqua |
| Traslazione | Cingolato a trasmissione idrostatica | Cingolato Gommato |
| | Velocità di traslazione (km/h) | 0 ÷ 2 |
| | Pendenza Max % | 25 |
| Pompa Idraulica | Numero di Pompe | 2 |
| | Max. pressione operativa (bar) | 315 |
| Stabilizzatori | Numero | 3 |
| | Tipo | Idraulico |
| CPT | | |
| Max pressione operativa (bar) | 240 | |
| Forza di infissione (kN) | 200 | |
| Forza di estrazione (kN) | 205 | |
| Velocità di infissione senza carico (cm/sec) | 0 ÷ 10 | |
| Velocità di estrazione senza carico (cm/sec) | 0 ÷ 7.5 | |
| Corsa (mm) | 1250 | |
| ANCORAGGIO | | |
| Motori idraulici con riduttore | 4 | |
| Coppia [kgm] | 160 | |
| Sistema di ancoraggio | Aste elicoidali composte | |
| Aste elicoidali Ø x L (mm) | 100 x 750 | |

Tabella 7-2 – Caratteristiche tecniche del penetrometro Pagani

7.1.2 RISULTATI DELLE PROVE

I dati acquisiti con la prova 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.

In particolare, i parametri geotecnici riportati sono:

- **M**: modulo edometrico (kg/cm^2)
- **Es**: Modulo di elasticità longitudinale o modulo di Young (kg/cm^2);
- **G₀**: Modulo di taglio massimo (kg/cm^2);
- **Su**: Coesione non drenata (kg/cm^2);
- **Dr**: Densità relativa (%);
- ϕ : Angolo d'attrito interno ($^\circ$);
- γ' : Peso di Volume (t/m^3).

Per maggiori dettagli si vedano i report in Allegato 1.

➤ AREE 1 E 2 – BANDO

| N | litologia | M (kg/cm^2) | Es (kg/cm^2) | G ₀ (kg/cm^2) | Su (kg/cm^2) | Dr (%) | ϕ ($^\circ$) | Y' (t/m^3) |
|---|---|---------------------------|----------------------------|--|----------------------------|-----------|------------------------|--------------------------|
| 1 | Da – 0,00 a – 9,10 metri dal p.c. | | | | | | | |
| | Argilla e argilla limosa intervallata da livelli centimetrici di torba e/o argilla organica | 33 | 114 | 176 | 0,32 | - | - | 1,55 |
| 2 | Da – 9,10 a – 13,50 metri dal p.c. | | | | | | | |
| | Sabbia e sabbia limosa | 581 | 503 | 611 | - | 43,8 | 37,6 | 1,76 |
| 3 | Da – 13,50 a – 16,60 metri dal p.c. | | | | | | | |
| | Argilla e argilla limosa | 111 | 424 | 457 | 0,83 | - | - | 1,69 |
| 4 | Da – 16,60 a – 20,00 metri dal p.c. | | | | | | | |
| | Sabbia e sabbia limosa | 582 | 575 | 708 | - | 37,8 | 36,2 | 1,76 |

Tabella 7-3 – Prova penetrometrica CPTU 01 – 20 m

| N | litologia | M (kg/cm ²) | E _s (kg/cm ²) | G ₀ (kg/cm ²) | Su (kg/cm ²) | Dr (%) | φ (°) | Y' (t/m ³) |
|---|--|----------------------------|---|---|-----------------------------|-----------|----------|---------------------------|
| 1 | Da – 0,00 a – 9,40 metri dal p.c. | | | | | | | |
| | Argilla e argilla limosa | 31 | 104 | 188 | 0,29 | - | - | 1,58 |
| 2 | Da – 9,40 a – 13,70 metri dal p.c. | | | | | | | |
| | Sabbia e sabbia limosa | 556 | 459 | 573 | - | 38,6 | 36,5 | 1,74 |
| 3 | Da – 13,70 a – 17,50 metri dal p.c. | | | | | | | |
| | Argilla e argilla limosa | 176 | 507 | 645 | 1,08 | - | - | 1,80 |
| 4 | Da – 17,50 a – 27,00 metri dal p.c. | | | | | | | |
| | Sabbia limosa e limo sabbioso intervallata da lenti millimetriche di limo argilloso e argille limose | 643 | 740 | 897 | - | 38,9 | 36,5 | 1,82 |
| 5 | Da – 27,00 a – 28,70 metri dal p.c. | | | | | | | |
| | Argilla e argilla limosa | 170 | - | 921 | 1,23 | - | - | 1,83 |
| 6 | Da – 28,70 a – 29,70 metri dal p.c. | | | | | | | |
| | Sabbia limosa e limo sabbioso | 1046 | 1227 | 1473 | - | 38,7 | 36,5 | 1,94 |
| 7 | Da – 29,70 a – 30,00 metri dal p.c. | | | | | | | |
| | Argilla e argilla limosa | 138 | - | 1030 | 1,33 | - | - | 1,86 |

Tabella 7-4 – Prova penetrometrica SCPTU 01 – 30 m

➤ **AREE 3, 4 E 25 – ARGENTA**

| N | litologia | M (kg/cm ²) | E _s (kg/cm ²) | G ₀ (kg/cm ²) | Su (kg/cm ²) | Dr (%) | φ (°) | Y' (t/m ³) |
|---|---|----------------------------|---|---|-----------------------------|-----------|----------|---------------------------|
| 1 | Da – 0,00 a – 9,00 metri dal p.c. | | | | | | | |
| | Argilla e argilla limosa intervallata da livelli centimetrici di torba e/o argilla organica | 71 | 140 | 176 | 0,45 | - | - | 1,58 |
| 2 | Da – 9,00 a – 9,70 metri dal p.c. | | | | | | | |
| | Sabbia limosa e limo sabbioso | 435 | 568 | 662 | - | 44,1 | 37,8 | 1,86 |
| 3 | Da – 9,70 a – 16,50 metri dal p.c. | | | | | | | |
| | Argilla e argilla limosa | 167 | - | 576 | 0,97 | - | - | 1,81 |

Tabella 7-5 – Prova penetrometrica CPTU 02 – 16,50 m

| N | litologia | M (kg/cm ²) | E _s (kg/cm ²) | G ₀ (kg/cm ²) | Su (kg/cm ²) | Dr (%) | φ (°) | Y' (t/m ³) |
|---|---|----------------------------|---|---|-----------------------------|-----------|----------|---------------------------|
| 1 | Da – 0,00 a – 8,60 metri dal p.c. | | | | | | | |
| | Argilla e argilla limosa intervallata da livelli centimetrici di torba e/o argilla organica | 29 | 114 | 156 | 0,23 | - | - | 1,59 |
| 2 | Da – 8,60 a – 9,00 metri dal p.c. | | | | | | | |
| | Sabbia e sabbia limosa | 457 | 419 | 521 | - | 44,8 | 37,9 | 1,76 |
| 3 | Da – 9,00 a – 16,80 metri dal p.c. | | | | | | | |
| | Argilla e argilla limosa | 151 | - | 567 | 0,88 | - | - | 1,81 |

Tabella 7-6 – Prova penetrometrica CPTU 03 – 16,80 m

| N | litologia | M (kg/cm ²) | E _s (kg/cm ²) | G ₀ (kg/cm ²) | Su (kg/cm ²) | Dr (%) | φ (°) | Y' (t/m ³) |
|---|------------------------------------|----------------------------|---|---|-----------------------------|-----------|----------|---------------------------|
| 1 | Da – 0,00 a – 8,70 metri dal p.c. | | | | | | | |
| | Argilla e argilla limosa | 32 | 113 | 143 | 0,25 | - | - | 1,56 |
| 2 | Da – 8,70 a – 9,60 metri dal p.c. | | | | | | | |
| | Sabbia limosa e limo sabbioso | 458 | 492 | 588 | - | 40,9 | 37,0 | 1,83 |
| 3 | Da – 9,60 a – 15,76 metri dal p.c. | | | | | | | |
| | Argilla e argilla limosa | 204 | 425 | 594 | 1,05 | - | - | 1,83 |

Tabella 7-7 – Prova penetrometrica CPTU 04 – 15,76 m

| N | litologia | M (kg/cm ²) | E _s (kg/cm ²) | G ₀ (kg/cm ²) | Su (kg/cm ²) | Dr (%) | φ (°) | Y' (t/m ³) |
|---|-------------------------------------|----------------------------|---|---|-----------------------------|-----------|----------|---------------------------|
| 1 | Da – 0,00 a – 1,00 metri dal p.c. | | | | | | | |
| | Argilla e argilla limosa | 101 | 295 | 391 | 0,67 | - | - | 1,73 |
| 2 | Da – 1,00 a – 22,10 metri dal p.c. | | | | | | | |
| | Sabbia limosa e limo sabbioso | 681 | 732 | 902 | - | 34,6 | 35,4 | 1,84 |
| 3 | Da – 22,10 a – 24,30 metri dal p.c. | | | | | | | |
| | Argilla e argilla limosa | 58 | - | 547 | 0,74 | - | - | 1,71 |
| 4 | Da – 24,30 a – 28,00 metri dal p.c. | | | | | | | |
| | Sabbia e sabbia limosa | 1098 | 1003 | 1208 | - | 53,0 | 39,5 | 1,91 |
| 5 | Da – 28,00 a – 30,00 metri dal p.c. | | | | | | | |
| | Argilla e argilla limosa | 103 | - | 822 | 1,1 | - | - | 1,81 |

Tabella 7-8 – Prova penetrometrica SCPTU 02 – 30 m

7.2 LA MISURA A STAZIONE SINGOLA HVSR

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) consiste nel misurare direttamente, sfruttando il rumore di fondo ambientale (microtremori), le frequenze di risonanza degli edifici e dei terreni costituenti il sottosuolo, allo scopo di stimare gli effetti di sito e la vulnerabilità sismica dell'opera. Per rumore ambientale di fondo s'intende l'insieme delle vibrazioni che si propagano nel terreno dovute sia a fenomeni naturali, moto ondoso, perturbazioni atmosferiche, ecc., sia all'azione antropica, traffico veicolare, macchinari, ecc... Si è riconosciuto, a partire dagli anni Settanta, che i microtremori tendono a eccitare le frequenze naturali di oscillazione dei terreni, permettendone l'individuazione. In pratica ciò che viene misurato sono, in certo intervallo di frequenze, solitamente 0,1-100 Hz, le velocità dei microtremori lungo il piano orizzontale e verticale (H e V) e il rapporto fra le due componenti (H/V). I valori di massimo locale (picchi positivi) di H/V ai quali corrispondono minimi locali di V individuano le frequenze di risonanza degli strati di terreno lungo la verticale di misura. Più elevato è il valore del rapporto H/V maggiore è il contrasto di impedenza sismica e quindi la variazione di velocità delle onde S fra livelli stratigrafici contigui. La tecnica HVSR richiede l'utilizzo di un velocimetro triassiale, cioè di un sismometro a stazione singola in grado di registrare i microtremori lungo le due direzioni orizzontali (X, Y) e lungo quella verticale (Z), in un ampio intervallo di frequenze (0.1-100 Hz) e per una durata sufficientemente lunga (mediamente 10-20 minuti). Il moto indotto nel terreno viene misurato in termini di velocità attraverso tre velocimetri, uno per ogni direzione di misura (X, Y e Z), secondo il passo di campionamento impostato dall'operatore. Le misure registrate vengono poi elaborate e restituite graficamente in forma di spettri H/V (rapporto H/V in funzione della frequenza, dove H è la media delle misure lungo X e Y) e spettri V (componente verticale del moto in funzione della frequenza). Attraverso la tecnica HVSR è possibile:

- valutare in maniera quantitativa gli effetti di sito (risposta sismica locale e suscettibilità alla liquefazione del terreno);
- ricavare il profilo delle velocità delle onde S con la profondità e calcolare il parametro V_{s30} ;
- analizzare la vulnerabilità sismica degli edifici, esistenti o in progetto.

7.2.1 STRUMENTAZIONE E METODOLOGIA DI INDAGINE

L'indagine HVSR (v. All.02) è consistita nella registrazione continua dei microtremori. L'acquisizione è avvenuta a 300 hz. Per l'indagine si è utilizzato un sismografo triassiale prodotto della SARA Electronics Instruments modello SR04 GeoBOX. Lo strumento consiste in una terna di geofoni disposti nelle tre direzioni convenzionalmente chiamate N, E, le orizzontali e Z la verticale, i geofoni orientati nelle direzioni N ed E sono geofoni a componente orizzontale mentre quello in direzione Z ha componente verticale; la frequenza centrale dei geofoni è 4,5 Hz. L'acquisizione viene governata da PC con apposito software dedicato.

Le caratteristiche salienti sono le seguenti:

- convertitore analogico digitale a 24 Bit con 144db di dinamica;
- frequenza di campionamento selezionabile;
- alimentazione a batteria interna;
- case monoblocco in alluminio IP66;
- terna sensori velocimetrici da 4,5 Hz;

- comunicazione seriale sr232.

Le indagini sono state svolte in corrispondenza dell’Impianto Agrivoltaico e della Stazione RTN, come mostrato all’immagine successiva.



Fig. 7.3 – Ubicazione prove HVSR

7.2.2 RISULTATI DELL'INDAGINE

L'indagine ha permesso di valutare la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (m/s) ed individuare alcuni picchi indice di frequenze alle quali i siti in esame potrebbero entrare in risonanza in caso di evento sismico.

Di seguito si riporta la documentazione elaborata delle prove condotte ed i risultati ottenuti.

➤ Prova HVSR – (Aree 1-2)

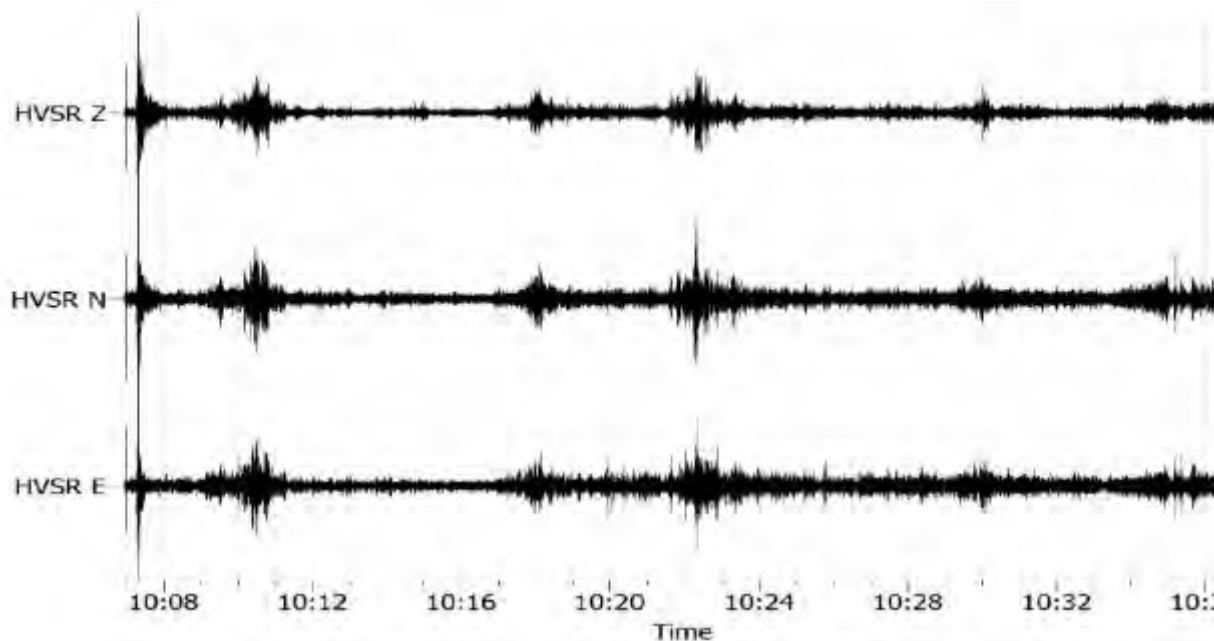


Fig. 7.4 – Tracciati sismici prova HVSR 1

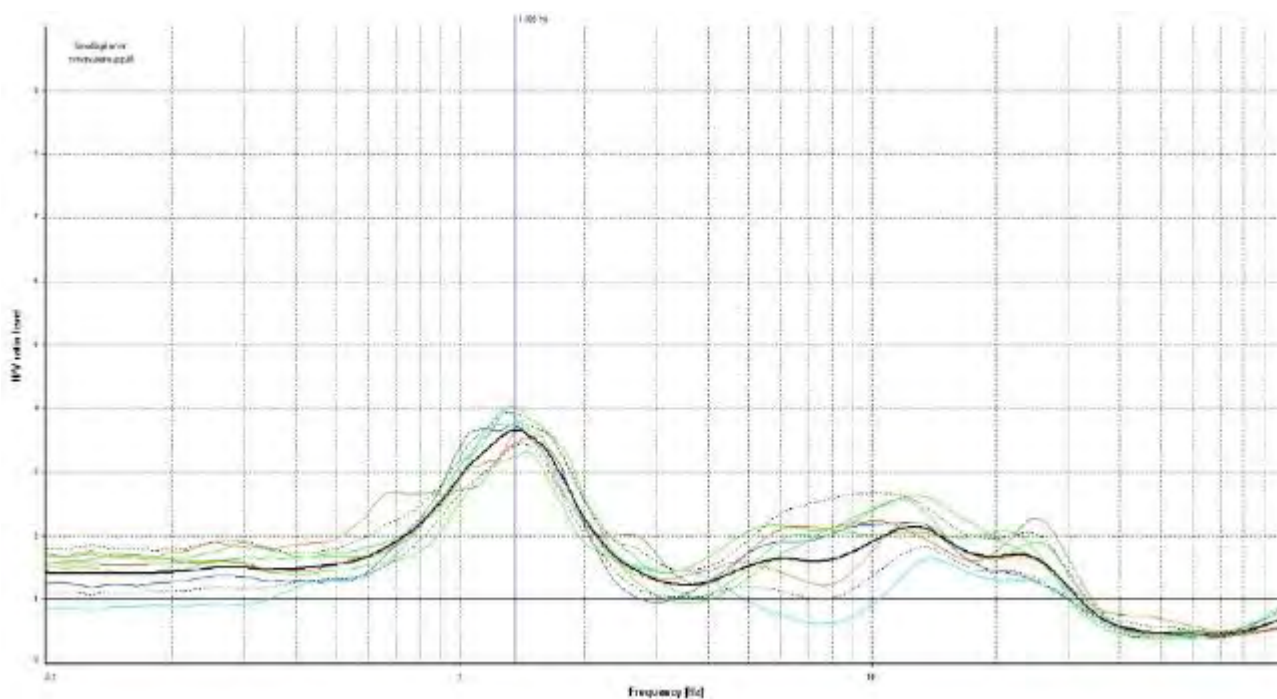


Fig. 7.5 – Curva del rapporto H/V prova HVSR 1

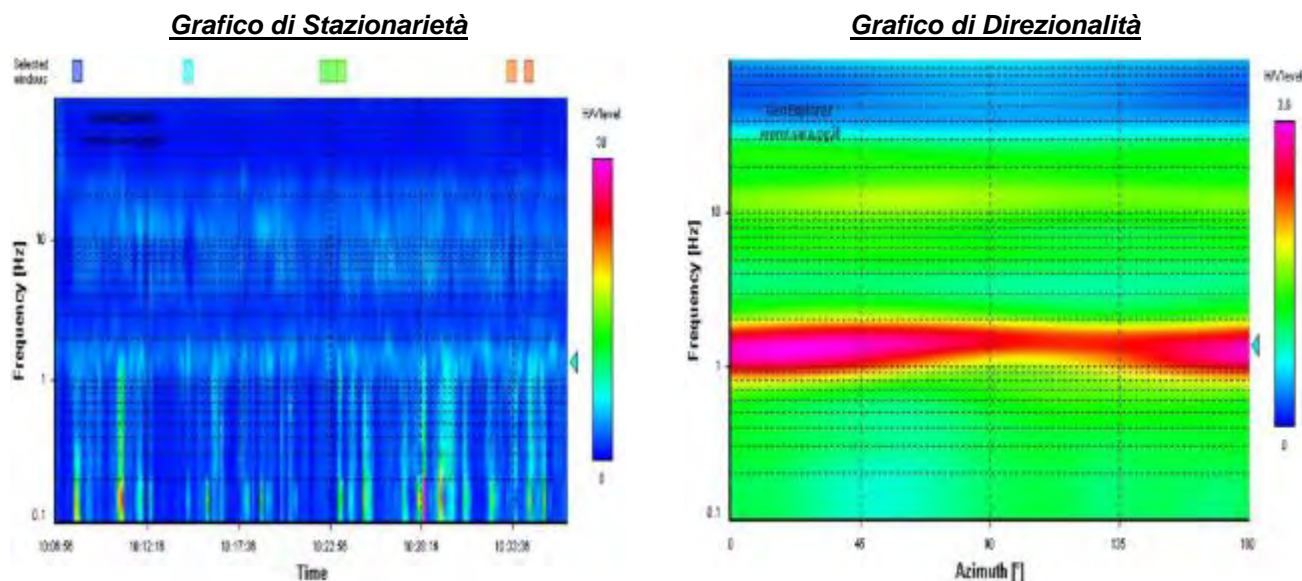


Fig. 7.6 – Grafici di stazionarietà e direzionalità prova HVSR 1

| Criteri | Picco f0 |
|--------------------|-------------------|
| Criterio 1 | OK |
| Criterio 2 | OK |
| Criterio 3 | OK |
| Criterio 4 | OK |
| Criterio 5 | OK |
| Criterio 6 | OK |
| Criterio 7 | OK |
| Parametri | Valore |
| Finestra temporale | 20 s |
| Frequenza massima | 100 Hz |
| Numero di Campioni | 40 |
| f0 | 1,36 (1,35; 1,37) |
| A0 | 3,66 (3,55; 3,99) |

Tabella 7-9 – Criteri di ammissibilità curva HV

Per la prova HVSR 1 si è individuato un picco alla frequenza f0 di 1,36 Hz e A0 3,66. Si evidenzia inoltre un picco meno evidente alla frequenza di 13,23 Hz e ampiezza 2.

L'analisi dell'indagine ha permesso di verificare la seguente successione della velocità delle onde sismiche.

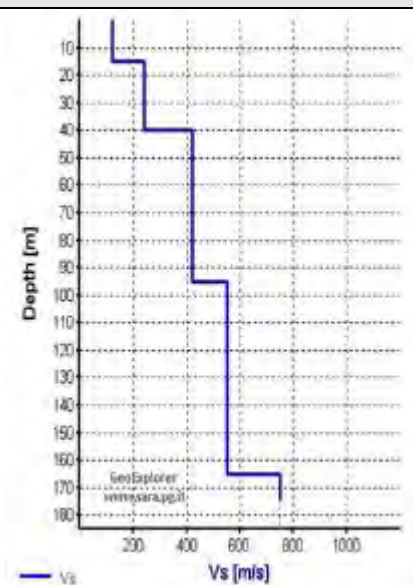
| Tab. 7.10 – Analisi del profilo delle velocità delle onde sismiche e VS _{eq} | | | | |
|---|----------------|--------------|----------|--|
| Strato | Profondità (m) | Spessore (m) | Vs (m/s) |  |
| Strato1 | 15,0 | -15,0 | 120 | |
| Strato 2 | 25,0 | -40,0 | 240 | |
| Strato 3 | 55,0 | -95,0 | 420 | |
| Strato 4 | 70,0 | -165,0 | 550 | |
| Strato 5 | / | ∞ | 750 | |
| V _{Seq} | 160 m/s | | | |

Tabella 7-10 – Analisi del profilo delle velocità delle onde sismiche e V_{Seq}

➤ **Prova HVSR – (Aree 3-4-5)**

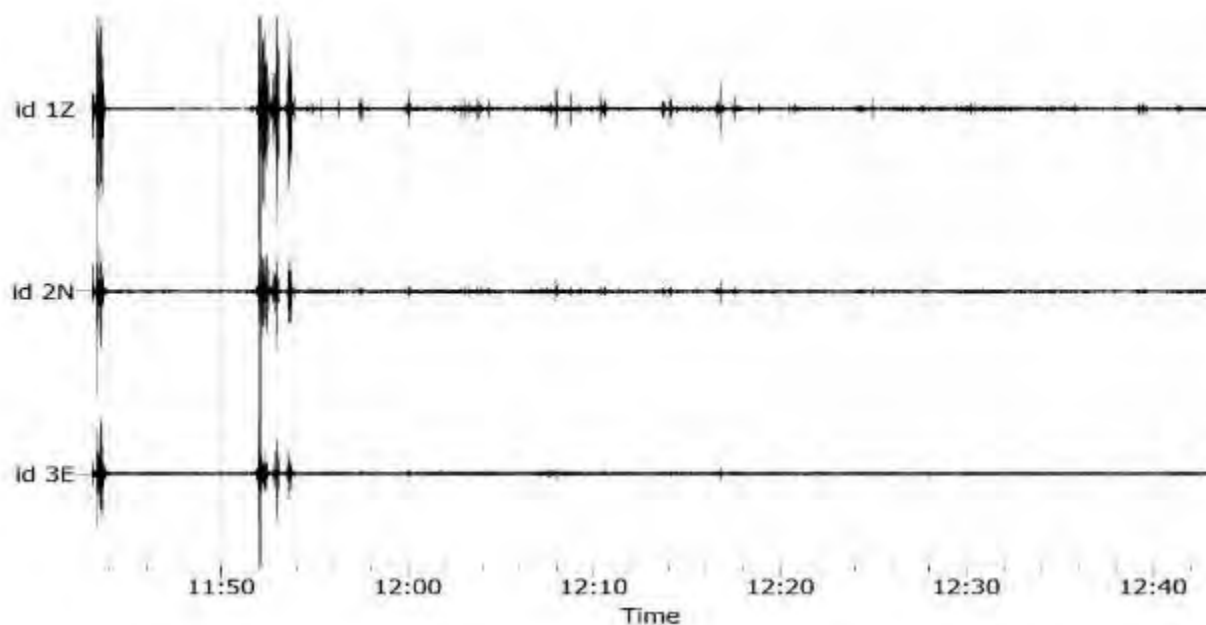


Fig. 7.7 – Tracciati sismici prova HVSR 2

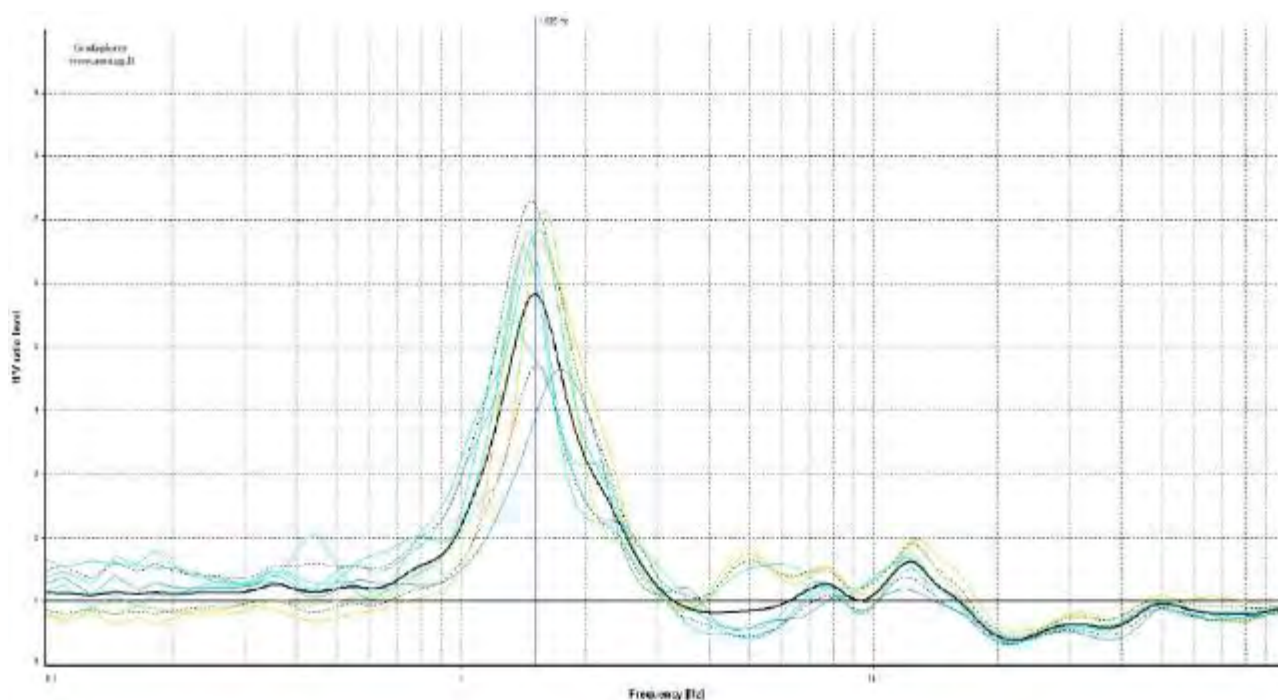


Fig. 7.8 – Curva del rapporto H/V prova HVSR 2

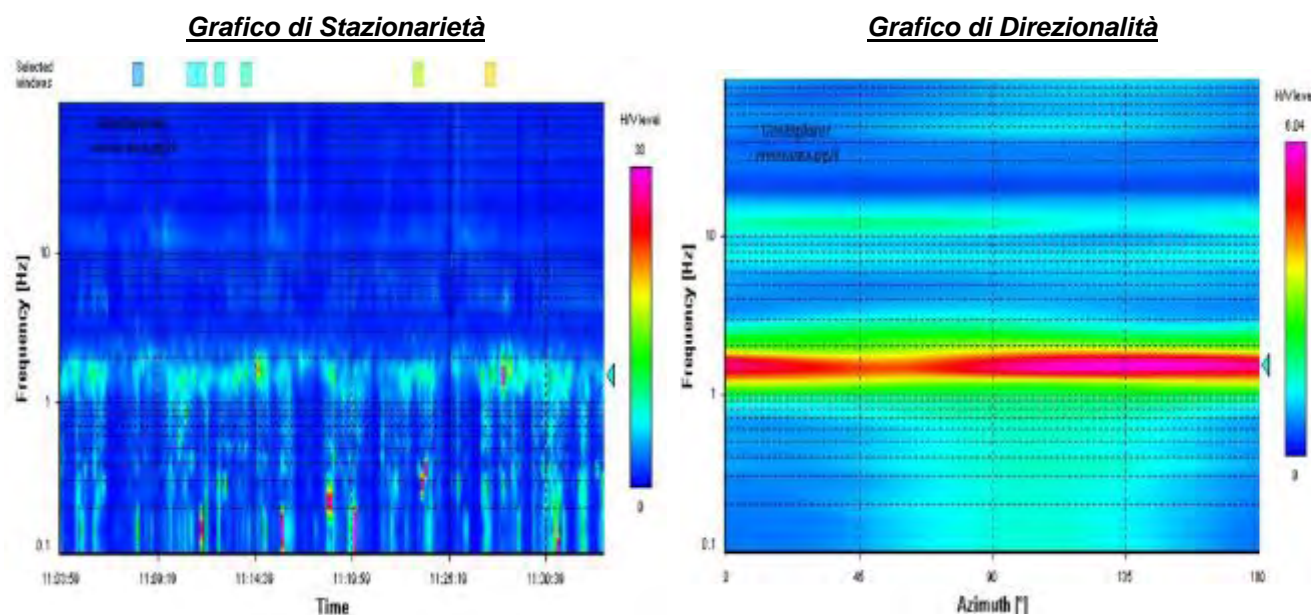


Fig. 7.9 – Grafici di stazionarietà e direzionalità prova HVSR 1

| Criteri | Picco f0 |
|--------------------|-------------------|
| Criterio 1 | OK |
| Criterio 2 | OK |
| Criterio 3 | OK |
| Criterio 4 | OK |
| Criterio 5 | OK |
| Criterio 6 | OK |
| Criterio 7 | OK |
| Parametri | Valore |
| Finestra temporale | 20 s |
| Frequenza massima | 100 Hz |
| Numero di Campioni | 40 |
| f0 | 1,52 (1,51; 1,53) |
| A0 | 5,83 (4,53; 7,12) |

Tabella 7-11 – Criteri di ammissibilità curva HV

Per la prova HVSR 2 si è individuato un picco alla frequenza f0 di 1,52 Hz e A0 5,83.

L'analisi dell'indagine ha permesso di verificare la seguente successione della velocità delle onde sismiche.

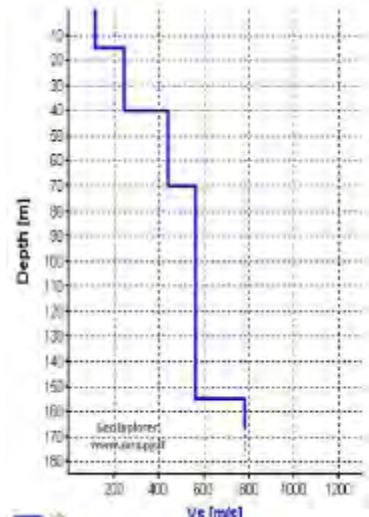
| Strato | Profondità (m) | Spessore (m) | Vs (m/s) | Profilo verticale di velocità delle Vs |
|------------------|----------------|--------------|----------|---|
| Strato1 | 15,0 | -15,0 | 115 |  |
| Strato 2 | 25,0 | -40,0 | 245 | |
| Strato 3 | 30,0 | -70,0 | 440 | |
| Strato 4 | 85,0 | -155,0 | 560 | |
| Strato 5 | / | ∞ | 780 | |
| V _{Seq} | 157 m/s | | | |

Tabella 7-12 – Analisi del profilo delle velocità delle onde sismiche e V_{Seq}

8 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.

8.1 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 Argenta risulta classificato con codice ISTAT 38001e come zona a rischio sismico di seconda categoria (Zona 2), zona, attribuita a comuni ad alta sismicità, mentre l’area del comune di Portomaggiore ISTAT 38019è classificata come zona a rischio sismico di terza categoria (Zona 3).

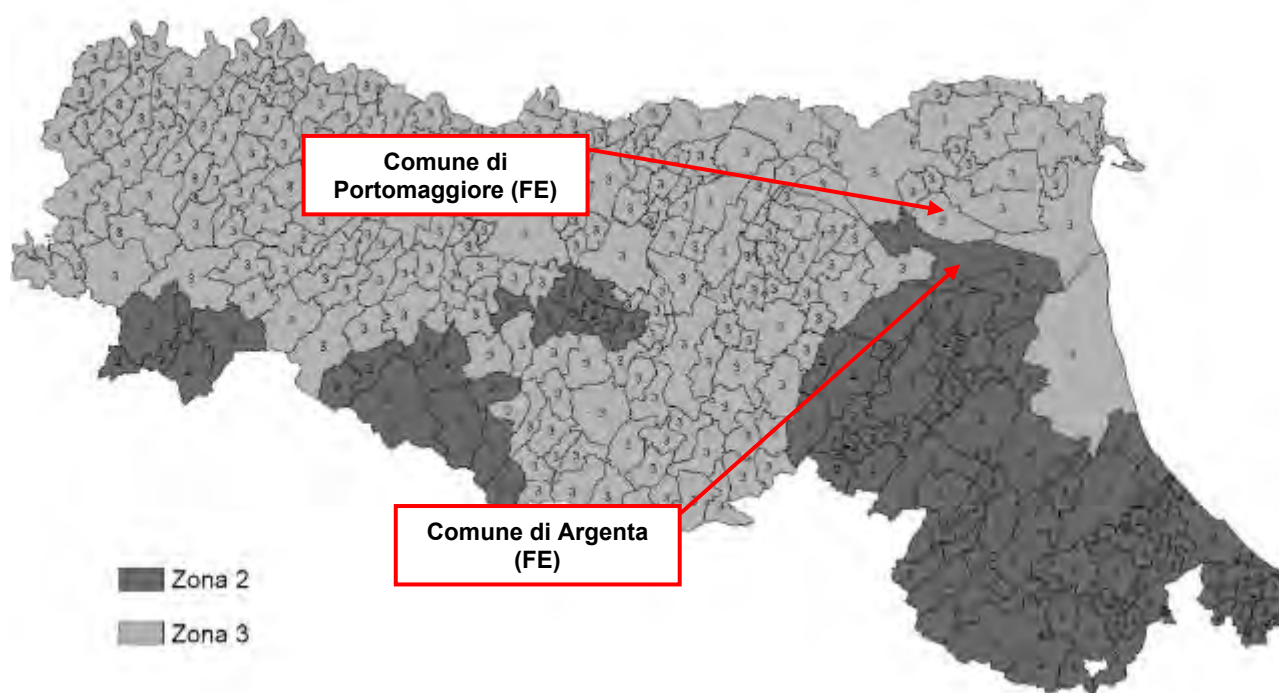


Fig. 8.1 - Classificazione Sismica dei comuni dell'Emilia-Romagna, DGR n. 1164 del 23 luglio 2018

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.

Le coordinate baricentrali delle due aree di studio sono:

Impianto Agrivoltaico (Aree 1, 2): ED50: Long. 11,886160 - Lat. 44,649573

Impianto Agrivoltaico (Aree 3, 4, 5): ED50: Long. 11,856192 - Lat. 44,645925

Individuate le coordinate, in funzione del periodo di ritorno come disposto dalle NTC18, si determinano i parametri:

- **a_g**: accelerazione orizzontale massima al sito;
- **F₀**: 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.

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

| Aree 1 e 2 | | | | Aree 3, 4 e 5 | | | |
|--|--------------|--------------|----------------|--|--------------|--------------|----------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> Ricerca per coordinate LONGITUDINE: 11,00045 LATITUDINE: 44,64927 <input checked="" type="checkbox"/> Ricerca per nome Regione: Emilia-Romagna Provincia: Ferrara Comune: Argenta | | | | <input checked="" type="checkbox"/> Ricerca per coordinate LONGITUDINE: 11,55815 LATITUDINE: 44,64927 <input checked="" type="checkbox"/> Ricerca per nome Regione: Emilia-Romagna Provincia: Ferrara Comune: Argenta | | | |
| T_R [anni] | a_g [g] | F_0 [-] | T_C^* [s] | T_R [anni] | a_g [g] | F_0 [-] | T_C^* [s] |
| 30 | 0,043 | 2,502 | 0,261 | 30 | 0,043 | 2,493 | 0,261 |
| 50 | 0,054 | 2,483 | 0,274 | 50 | 0,055 | 2,478 | 0,274 |
| 72 | 0,064 | 2,479 | 0,283 | 72 | 0,066 | 2,474 | 0,283 |
| 101 | 0,077 | 2,537 | 0,270 | 101 | 0,079 | 2,543 | 0,270 |
| 140 | 0,091 | 2,570 | 0,269 | 140 | 0,093 | 2,568 | 0,270 |
| 201 | 0,108 | 2,580 | 0,271 | 201 | 0,109 | 2,580 | 0,271 |
| 475 | 0,154 | 2,587 | 0,273 | 475 | 0,156 | 2,587 | 0,274 |
| 975 | 0,206 | 2,529 | 0,280 | 975 | 0,208 | 2,527 | 0,281 |
| 2475 | 0,294 | 2,440 | 0,293 | 2475 | 0,296 | 2,440 | 0,294 |

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:

- Aree 1, 2 $a_g = 0,154$ g.
- Aree 3, 4, 5 $a_g = 0,156$ g.

8.2 MAGNITUDO DI RIFERIMENTO

L’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) ha mappato il territorio nazionale in zone sismogenetiche e, 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).

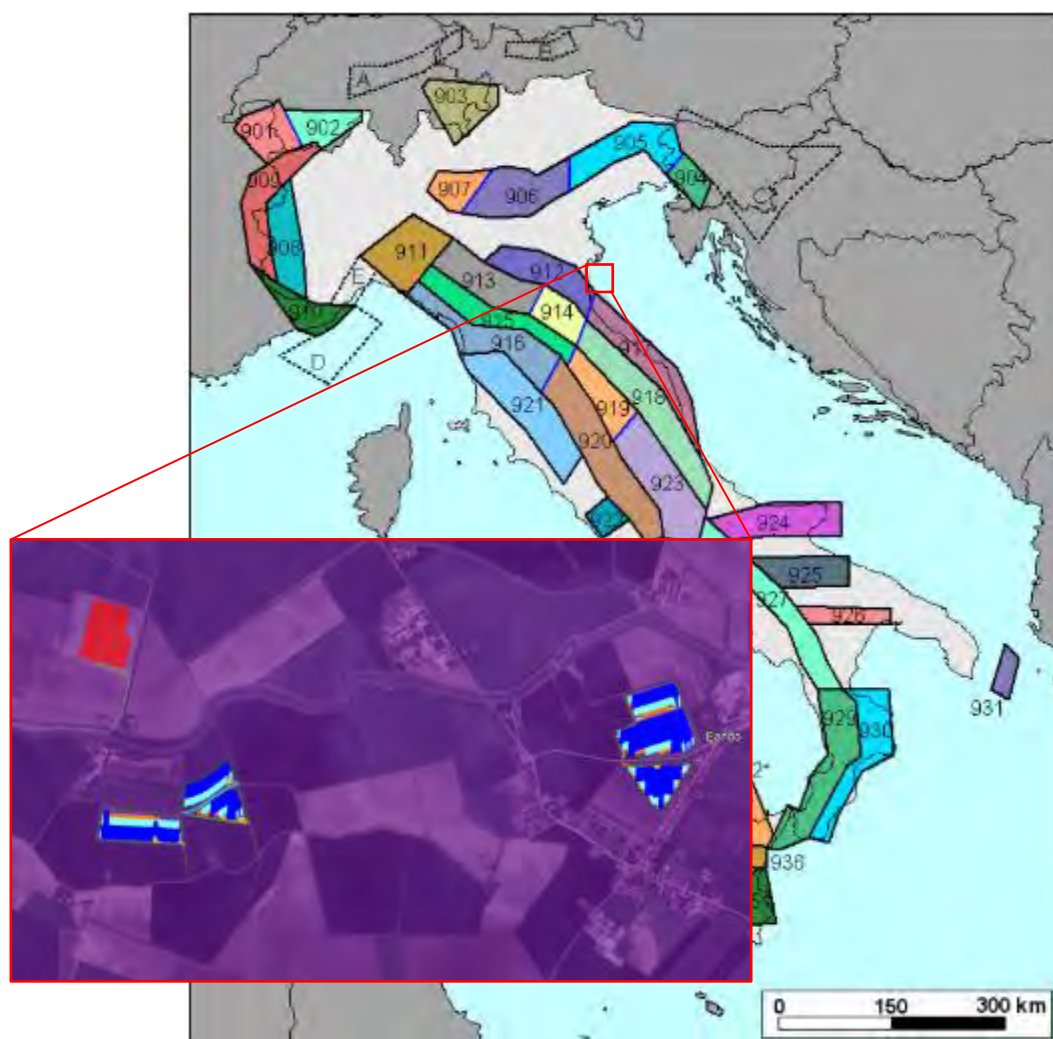


Fig. 8.2 – Zonizzazione sismogenetica ZS9 - Gruppo di lavoro per la redazione di pericolosità sismica (OPCM n. 3274) Istituto

Come si evince dalla figura, l’area in esame rientra interamente nella zona sismogenetica 912 che coincide con l’area geologica denominata “Dorsale Ferrarese”. I caratteri che contraddistinguono la zona 912 sono riportati nella seguente Fig. 9.3

| 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. 8.3 – 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 $Mw_{max} = 6,14$.

8.3 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 (RSL) si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3 delle NTC 2018. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio V_s . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_s per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2 delle NTC 2018.

Le norme di riferimento (NTC 2018) definiscono la risposta sismica locale (S) di un sito attraverso la stima di due parametri:

- Categoria di Sottosuolo;
- Condizione Topografica.

8.3.1 CATEGORIE SISMICHE DI SOTTOSUOLO

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:

Dove:

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

Per 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.

| 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 |
| D | <i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s. | 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> | --- |

Tabella 8-1 – Categorie di sottosuolo secondo il D.M. 17/01/2018 (Tabella 3.2.II)

Per le aree di indagine sono state condotte n.2 prove HVSR e n.2 prova SCPTU, distribuite sulla superficie del futuro impianto fotovoltaico. Grazie a tali prove è stato possibile definire la categoria di suolo a cui appartiene il territorio in esame:

➤ **Aree 1, 2**

Dall’elaborazione dei dati registrati è emersa una **V_{s,30} compresa tra 153,03 m/s (SCPTU 01 - v. All.3) e 160 m/s (HVSR_1)** 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*”.

➤ **Aree 3, 4, 5**

Dall’elaborazione dei dati registrati è emersa una **V_{s,30} compresa tra 131,70 m/s (SCPTU 02 - v. All.3) e 157 m/s (HVSR_2)** 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*”.

8.3.2 PARAMETRI E COEFFICIENTI SISMICI DETERMINATI IN BASE AL D.M. 17/01/2018

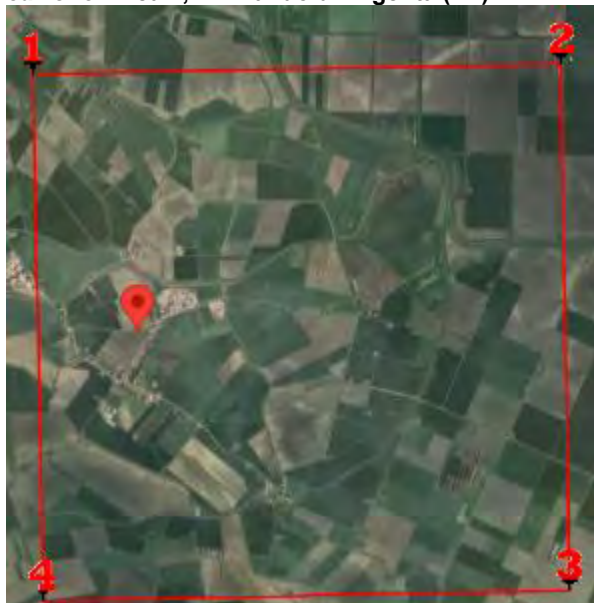
In base alle norme tecniche per le costruzioni, contenute nel D.M. 17/01/18, si devono definire i parametri sismici in funzione delle coordinate geografiche del sito e della classe d'uso della costruzione. La sicurezza e le prestazioni di un'opera o di una parte di essa devono essere valutate in relazione 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.

| 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.I | <i>Si veda paragrafo precedente</i> |
| Categoria topografica | Categoria T1 | Tabella 3.2.III <i>Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$</i> | È funzione delle caratteristiche della superficie topografica |

Tabella 8-2 – Parametri per la determinazione dei coefficienti sismici.

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.

Ubicazione: Area 1, 2 – Bando di Argenta (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 | 0.042 | 2.506 | 0.261 |
| Danno (SLD) | 50 | 0.054 | 2.486 | 0.275 |
| Salvaguardia vita (SLV) | 475 | 0.154 | 2.587 | 0.273 |
| Prevenzione collasso (SLC) | 975 | 0.206 | 2.530 | 0.280 |
| Periodo di riferimento per l'azione sismica: | 50 | | | |

I valori Tr , a_g , T_c^* si ricavano in base 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

Cal. Sottosuolo: D

Cal. Topografica: T1

| | SLO | SLD | SLV | SLC |
|---------------------------------|------|------|------|------|
| SS Amplificazione stratigrafica | 1,80 | 1,80 | 1,80 | 1,62 |
| CC Coeff. funz categoria | 2,45 | 2,39 | 2,39 | 2,36 |
| 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 | 0.015 | 0.019 | 0.066 | 0.093 |
| kv | 0.008 | 0.010 | 0.033 | 0.047 |
| Amax [m/s²] | 0.748 | 0.953 | 2.714 | 3.267 |
| Beta | 0.200 | 0.200 | 0.240 | 0.280 |

Ubicazione: Area 3, 4, 5 – Argenta (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] | Fo | T_c^* [s] |
|--|-----------|-----------|-------|-------------|
| Operatività (SLO) | 30 | 0.044 | 2.492 | 0.261 |
| Danno (SLD) | 50 | 0.055 | 2.477 | 0.274 |
| Salvaguardia vita (SLV) | 475 | 0.156 | 2.587 | 0.274 |
| Prevenzione collasso (SLC) | 975 | 0.208 | 2.527 | 0.281 |
| Periodo di riferimento per l'azione sismica: | 50 | | | |

I valori T_r , a_g , T_c^* si ricavano in base 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

Cal. Sottosuolo D

Cal. Topografica T1

| | SLO | SLD | SLV | SLC |
|---------------------------------|------|------|------|------|
| SS Amplificazione stratigrafica | 1,80 | 1,80 | 1,79 | 1,61 |
| CC Coeff. funz categoria | 2,45 | 2,39 | 2,39 | 2,36 |
| 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 | 0.016 | 0.020 | 0.067 | 0.094 |
| kV | 0.006 | 0.010 | 0.034 | 0.047 |
| Amax [m/s²] | 0.768 | 0.979 | 2.738 | 3.287 |
| Beta | 0.200 | 0.200 | 0.240 | 0.280 |

9 VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE

9.1 GENERALITA' 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 sottofalda, 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.

9.2 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;
- D.M. 17/01/2018 (NTC18);
- DGR 2193/2015 aggiornata dalla DGR 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:

- accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
- profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal p.c., per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- 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;
- 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 $U_c > 3,5$ ”.

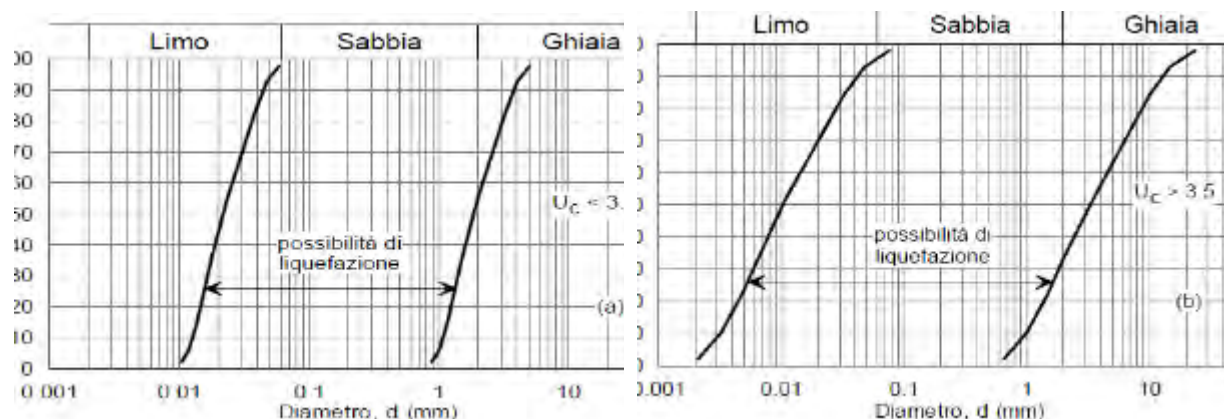


Fig. 9.1 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione
(Figura 7.11.1 (a) e (b) del D.M. 17/01/2018)

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 p.c.;
- $ag < 0,15g$ e al contempo lo strato granulare da verificare soddisfi almeno una delle seguenti condizioni:

- contenuto di argilla superiore al 20% con indice di plasticità > 10 ;
- contenuto di limo superiore al 35% e resistenza $N1(60) > 20$;

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:

$$F_L(z) = \frac{CRR_{M=7.5; \sigma'_v=1atm}}{CSR} \cdot MSF \cdot K_\sigma \quad (\text{DGR Emilia Romagna 21/12/2015 n.2193 e n.630 del 29/04/2019 e n.564 26/04/2021})$$

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 $\sigma'_v = 1 \text{ atm}$;
- 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:

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

- $a_{max,s}$ 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).

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 .

9.2.1 ANALISI DEL POTENZIALE 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;
- 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 564/2021, ed in particolare facendo riferimento ai valori contenuti nella seguente tabella dell'allegato A2:

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. 9.2 – Tabella dei fattori di amplificazione Pianura 2

Nel caso in esame, essendo i valori di Vs30 ricavati dalle prove in sito compresi tra 131,1 e 160,0 m/s, 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 564/2021 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:

$$\text{Area 1, 2} - a_{\max} = 1,7 \cdot 0,154 = 0,2618g = 2,56 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Area 3, 4, 5} - a_{\max} = 1,7 \cdot 0,156 = 0,2652g = 2,60 \text{ m/s}^2$$

➤ 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.

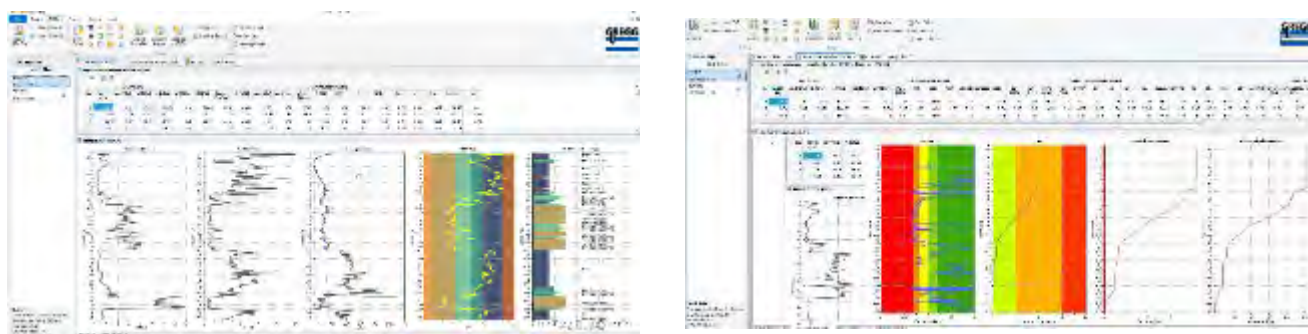


Fig. 9.3 –Esempi di schermate tratta dal software Cliq

➤ 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 564/2021 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):

- $F(z) = 0$ per $F_L \geq 1.2$
- $F(z) = 2 \cdot 10^6 \cdot \exp(-18.427 \cdot F_L)$ per $1.2 > F_L > 0.95$
- $F(z) = 1 - F_L$ per $F_L \leq 0.95$

Per poter valutare la potenza degli effetti, la DGR 564/2021 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. 9.4 – Scala del Potenziale di Liquefazione (Sonmez, 2003)

Nell’immagine seguente si riportano i risultati ottenuti dalle elaborazioni eseguite mediante il software C-Liq (v. All.4).

➤ Area 1, 2

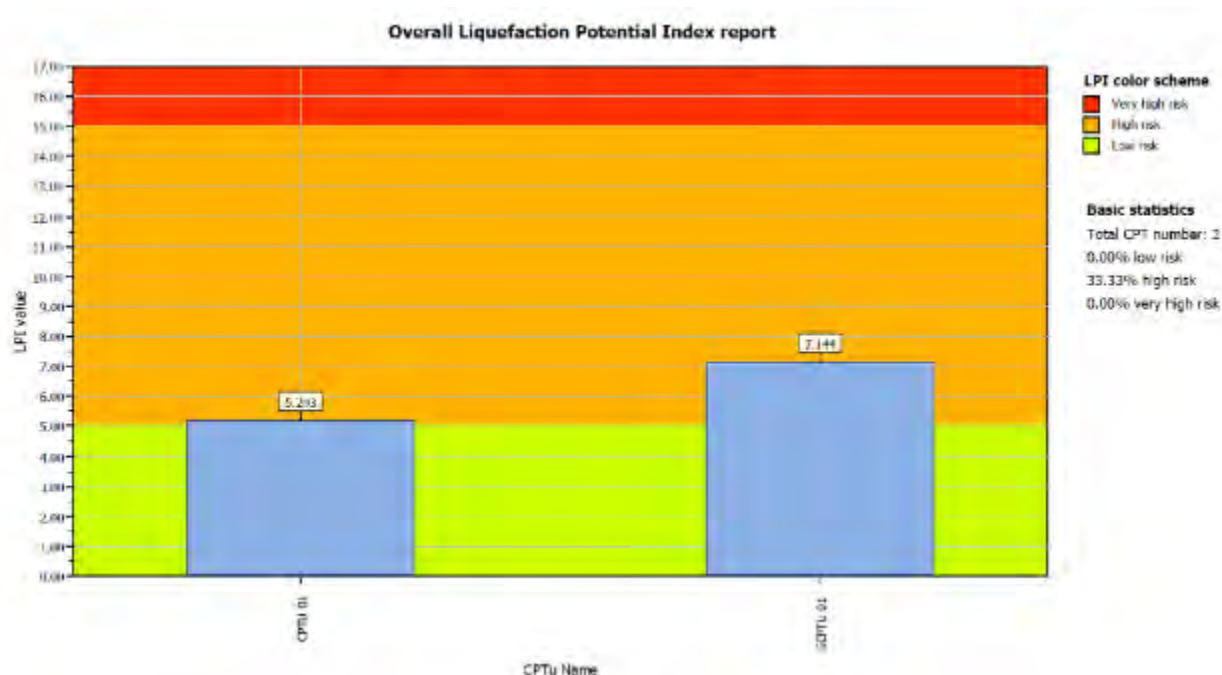


Fig. 9.5 – Indice del potenziale di Liquefazione calcolato

Dall’elaborazione dei risultati delle prove penetrometriche eseguite nell’area 1 e 2, utilizzando i valori di accelerazione massima calcolati in precedenza, il sito risulta caratterizzato da un potenziale di liquefazione Alto.

Al fine di analizzare tale criticità, rilevata in corrispondenza delle suddette prove penetrometriche, si è provveduto ad eseguire la valutazione degli effetti sismici di sito mediante approccio non semplificato (terzo livello di approfondimento), come previsto dalle NTC 2018.

➤ Area 3, 4 e 5

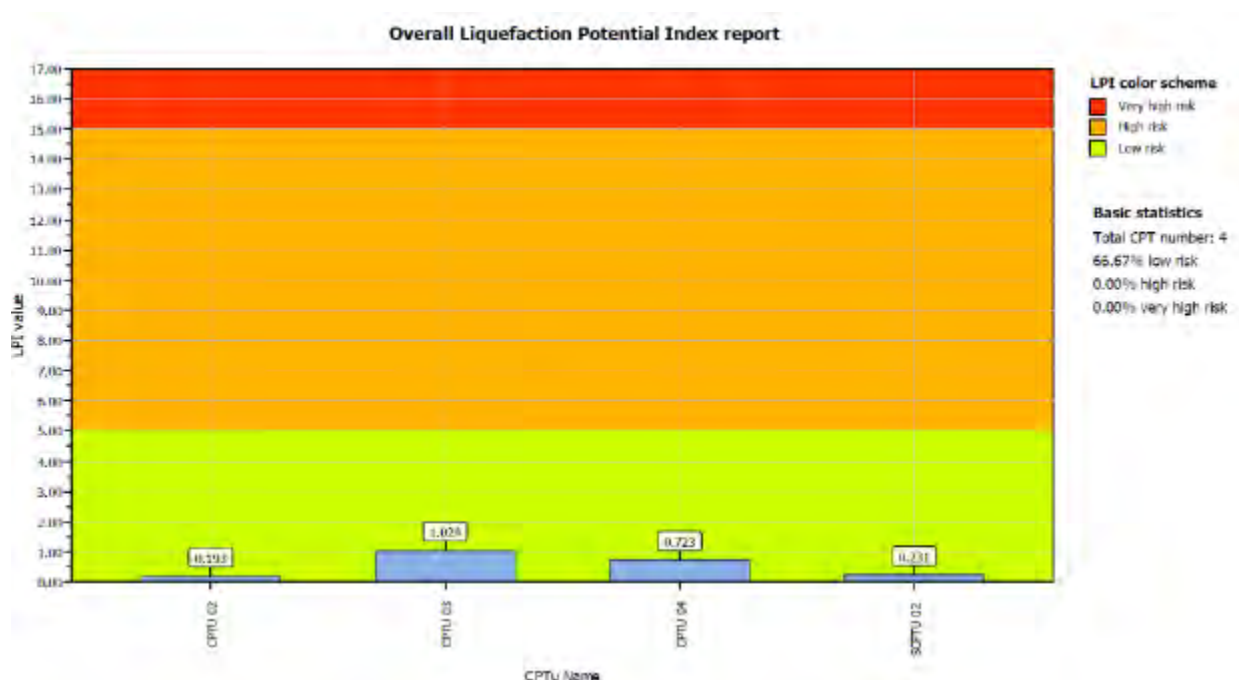


Fig. 9.6 – Indice del potenziale di Liquefazione calcolato

Dall’elaborazione dei risultati delle prove penetrometriche eseguite nell’area 3, 4 e 5, utilizzando i valori di accelerazione massima calcolati in precedenza, il sito risulta caratterizzato da un **POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE COMPRESO TRA NULLO E BASSO ($0 < IL < 2$)**.

10 ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

10.1 PREMESSA

Nel presente capitolo è stata condotta la valutazione degli effetti sismici di sito (Risposta Sismica Locale), l'analisi è stata eseguita mediante approccio non semplificato (terzo livello di approfondimento) come previsto dalle NTC 2018 per il settore dell'impianto fotovoltaico definito come “Area 1 e 2” – Prove penetrometriche SCPTU 01 e CPTU 01.

E' stato utilizzato il software LSR 2D, il cui schema di analisi adottato è quello lineare equivalente nel dominio del tempo e le equazioni del moto vengono assemblate mediante il metodo degli elementi finiti nell'ipotesi di materiale viscoelastico in tensioni totali. Il deposito viene discretizzato in una mesh di elementi di forma triangolare o quadrangolare, consentendo una efficace modellazione della variazione geometrica del contatto deposito-basamento, così come delle irregolarità della superficie topografica e dei contatti stratigrafici.

Il software consente anche la modellazione 2D ma nel caso in esame, l'assetto geometrico dei corpi sedimentari, ha permesso l'utilizzo di una configurazione 1D. Si è proceduto quindi:

- definizione del modello geotecnico del sottosuolo attraverso indagini dirette e indirette;
- Selezione di n. 14 accelerogrammi di input (7 per ogni stato limite elaborato) rappresentativi del moto sismico atteso su sito di riferimento rigido affiorante (sottosuolo di categoria A); mediante la selezione tramite software Rexel
- Calcolo del moto atteso al sito (spettro di risposta in accelerazione dell'oscillatore armonico tipo a un grado di libertà SDOF). Lo spettro finale è pertanto una media degli spettri di risposta ottenuti a partire dai 7 accelerogrammi di input sopraccitati.

10.2 DEFINIZIONE DEL MODELLO DI SOTTOSUOLO

L'area oggetto di studio rientra nel settore meridionale del grande bacino subsidente padano. Esso è costituito principalmente da sedimenti Olocenici di piana alluvionale, a cui segue in profondità una coltre di sedimenti incoerenti di età Pliocenica e Quaternaria con depositi riferibili a vari ambienti deposizionali.

Le prove eseguite confermano il quadro geologico accennato in precedenza. Di seguito si riporta la tabella, contenente le caratteristiche meccaniche dei singoli strati, utilizzato per il presente elaborato:

| Strato | S [m] | ρ [Kg/m ³] | Vs [m/s] | Curva decadimento |
|------------|-------|-----------------------------|----------|---------------------------|
| Strato (1) | 9.00 | 1800.00 | 120.00 | Idriss (1990), Clay |
| Strato (2) | 5.00 | 1800.00 | 180.00 | Sand Seed & Idriss (1970) |
| Strato (3) | 3.50 | 1800.00 | 150.00 | Idriss (1990), Clay |
| Strato (4) | 10.00 | 1800.00 | 220.00 | Sand Seed & Idriss (1970) |
| Strato (5) | 2.00 | 1800.00 | 185.00 | Idriss (1990), Clay |
| Strato (6) | 4.00 | 1800.00 | 260.00 | Sand Seed & Idriss (1970) |
| Strato (7) | 30.00 | 1900.00 | 240.00 | Idriss (1990), Clay |
| Strato (8) | 30.00 | 1900.00 | 280.00 | Idriss (1990), Clay |
| Strato (9) | 9.00 | 1800.00 | 120.00 | Idriss (1990), Clay |

dove:

- S = spessore del singolo strato;
- ρ = densità di massa del singolo strato;
- V_s = velocità di propagazione delle onde di taglio del singolo strato;

Nelle figure seguenti sono riportate le curve di smorzamento impiegate:

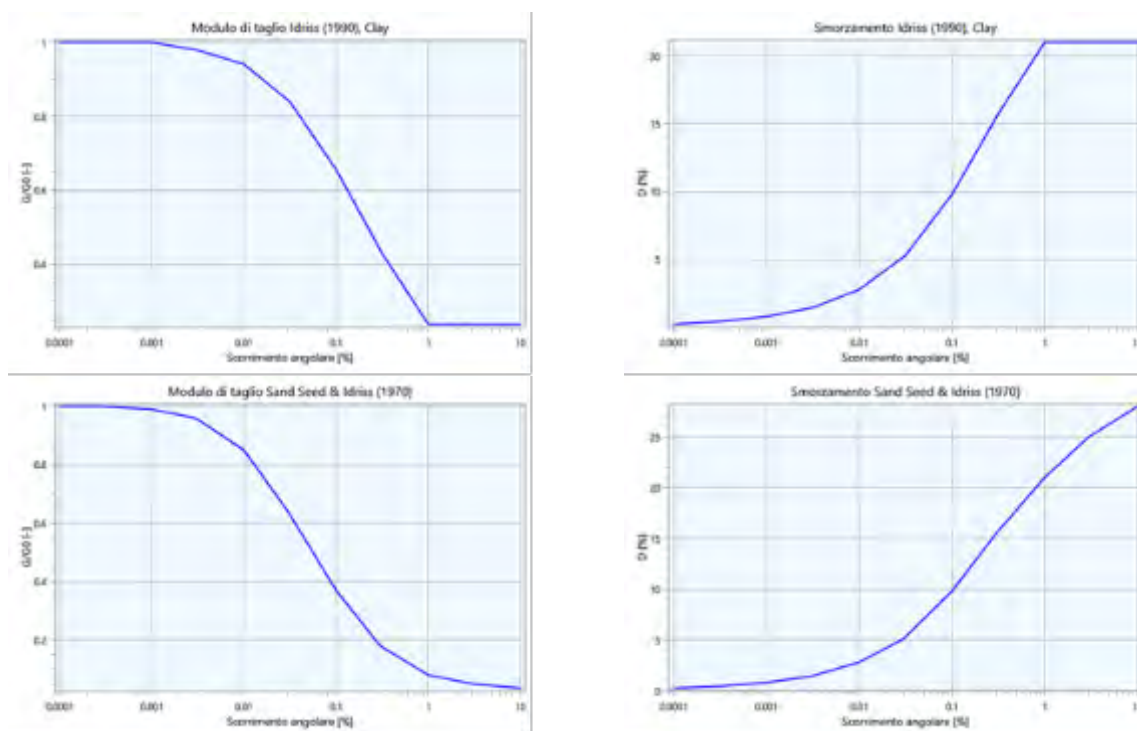


Fig. 10.1 – Curve di decadimento del modulo e di smorzamento utilizzate

10.3 CALCOLO DEL MOTO ATTESO IN SUPERFICIE

Come accennato in premessa per il calcolo delle accelerazioni attese in superficie è stato utilizzato il software LSR 2D applicandolo al modello di sottosuolo precedentemente descritto. Il moto atteso in superficie è stato calcolato a partire da N. 7 accelerogrammi reali di input (per ogni stato limite considerato) riferiti a un sito in roccia (sito di riferimento rigido orizzontale di categoria A) e scalati alla pericolosità sismica di base del sito in esame. Sono stati analizzati gli stati limiti SLV ed SLD. Di seguito le immagini degli spettri di input per ogni stato limite considerato:

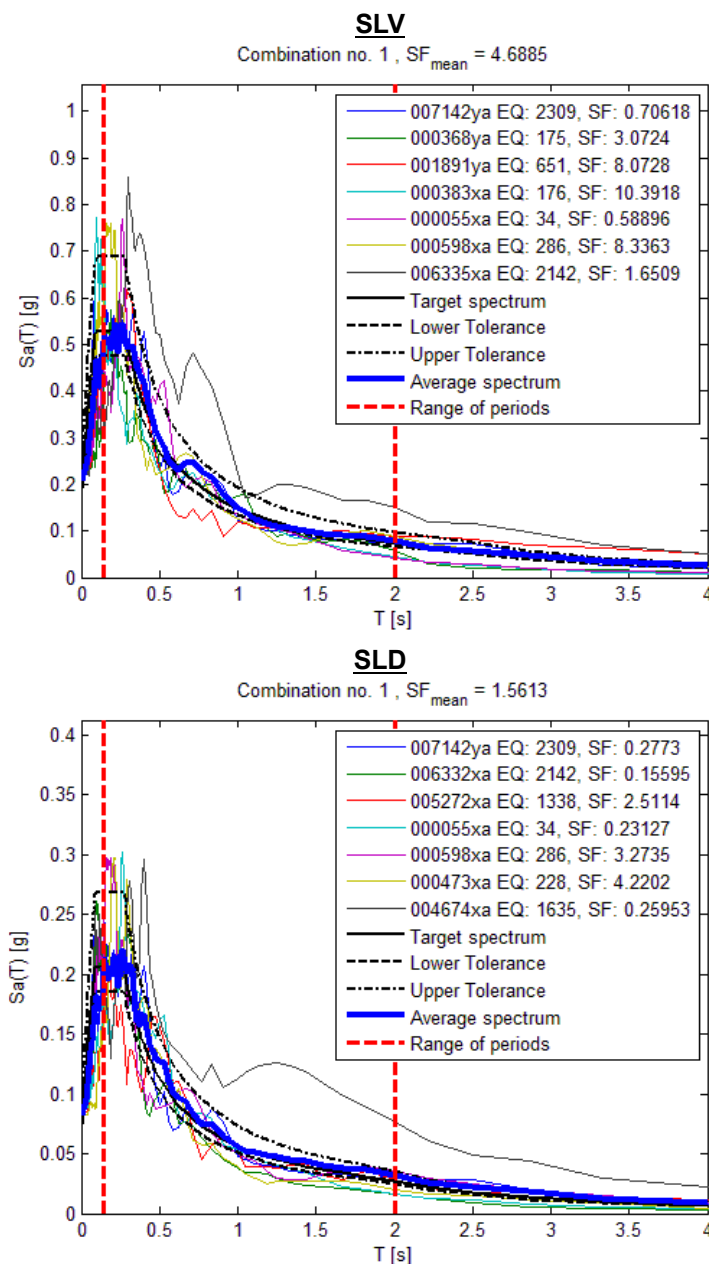


Fig. 10.2 – Spettri di input relativi terremoti utilizzati

10.4 MODELLO DI CALCOLO FEM

Il modello di calcolo agli elementi finiti da utilizzare per lo studio della problematica in esame viene di seguito descritto. Per ogni analisi, nel caso più generale, è necessario specificare due componenti di sollecitazione. In particolare, vi sono, per ogni condizione, un accelerogramma di in direzione X (Orizzontale), ed uno in direzione Z (Verticale). Ad ogni analisi corrispondono una serie di condizioni di carico. Per ognuna di esse vengono specificate due componenti di accelerazione di input in outcrop. In tabella vengono riportate le condizioni di carico relative al caso in esame:

| SLV | | SLD | |
|------------|------------------|------------|------------------|
| Condizione | Accelerogramma X | Condizione | Accelerogramma X |
| CDC (1) | ACC (1) | CDC (1) | ACC (8) |
| CDC (2) | ACC (2) | CDC (2) | ACC (9) |
| CDC (3) | ACC (3) | CDC (3) | ACC (10) |
| CDC (4) | ACC (4) | CDC (4) | ACC (11) |
| CDC (5) | ACC (5) | CDC (5) | ACC (12) |
| CDC (6) | ACC (6) | CDC (6) | ACC (13) |
| CDC (7) | ACC (7) | CDC (7) | ACC (14) |

Tabella 10-1 – Condizioni di Carico

Il modello FEM viene ottenuto mediante una discretizzazione con elementi finiti piani a tre o a quattro nodi del dominio. Il passo ed i rapporti di infittimento della mesh in corrispondenza dei punti di controllo sono dati di input e possono variare a seconda del caso. Il passo della mesh deve soddisfare la seguente relazione:

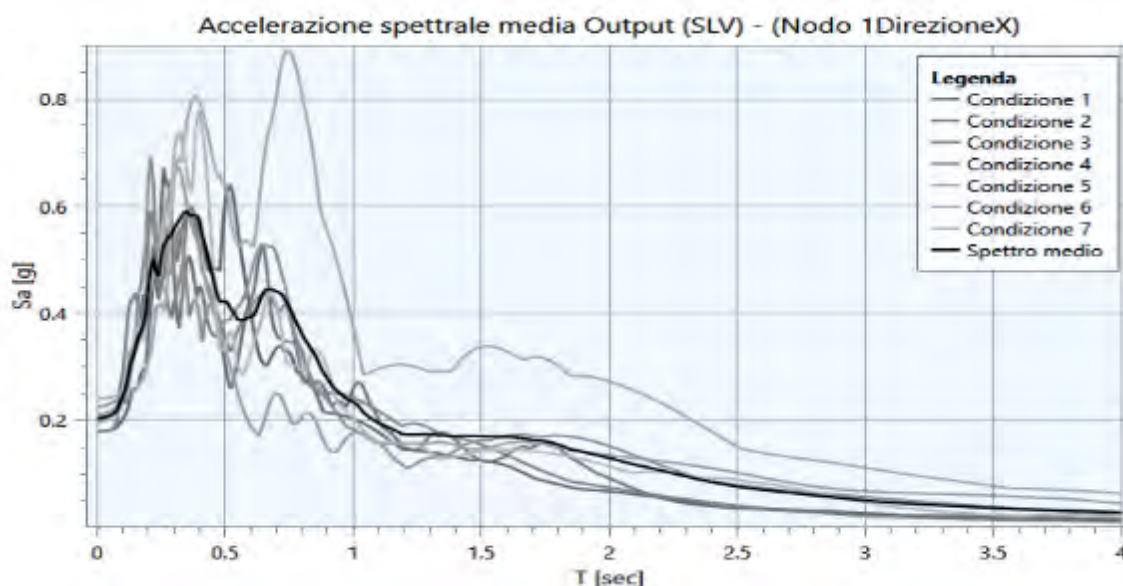
$$p \leq \frac{V_{s,min}}{8 f_{max}}$$

dove:

- p = passo della mesh;
- $V_{s,min}$ = velocità delle onde di taglio minima presente nel modello;
- f_{max} = frequenza massima che si vuole analizzare;

10.4.1 MODELLO DI CALCOLO FEM

A partire dai 7 accelerogrammi di input, per il modello di sottosuolo utilizzato, sono stati ottenuti gli spettri di risposta in accelerazione attesi al sito (spettri di risposta dell'oscillatore armonico tipo a un solo grado di libertà SDOF). Le figure sottostanti riportano gli spettri ottenuti per lo stato limite SLV:



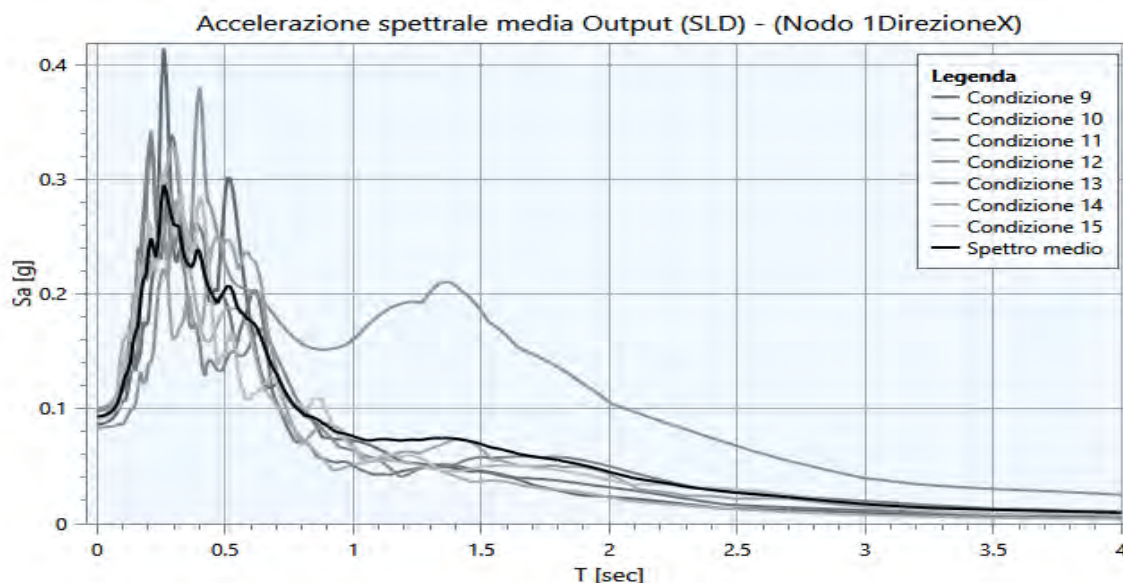


Fig. 10.3 – spettri di risposta in accelerazione attesi al sito

10.4.2 PARAMETRIZZAZIONE DELLO SPETTRO DERIVANTE DALLA RISPOSTA SISMICA

La parametrizzazione degli spettri di risposta ottenuti nei vari punti di controllo viene condotta mediante la procedura suggerita dagli “Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica” (GdL MS, 2008 – parti I e II – punto 2.5.4.3.1 pag 92). Partendo dallo spettro di risposta medio in accelerazione rappresentativo dei 7 accelerogrammi, tale procedura prevede:

- l’individuazione del periodo per il quale è massimo il valore dello spettro in accelerazione (T_A);
- il calcolo del valor medio dello spettro in accelerazione (S_A) nell’intorno tra $0.5 T_A$ - $1.5 T_A$;
- l’individuazione del periodo per il quale è massimo il valore dello spettro in pseudovelocità (T_V);
- il calcolo del valor medio dello spettro in pseudovelocità (S_V) nell’intorno tra $0.8 T_V$ - $1.2 T_V$;
- il calcolo del valore di $T_c = 2\pi \frac{S_V}{S_A}$;
- il calcolo del valore di $T_b = 1/3 T_c$;
- il calcolo del valore $T_d = 4 a_g + 1.6$ con a_g uguale al valore di accelerazione a T uguale a zero;
- l’applicazione delle equazioni riportate nelle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018) per la determinazione dei tratti dello spettro tra T_0 , T_b , T_c , T_d , T_4 .

Di seguito vengono riportati, per ogni analisi, i parametri degli spettri parametrizzati per i vari punti di controllo presenti nella sezione oggetto di studio.

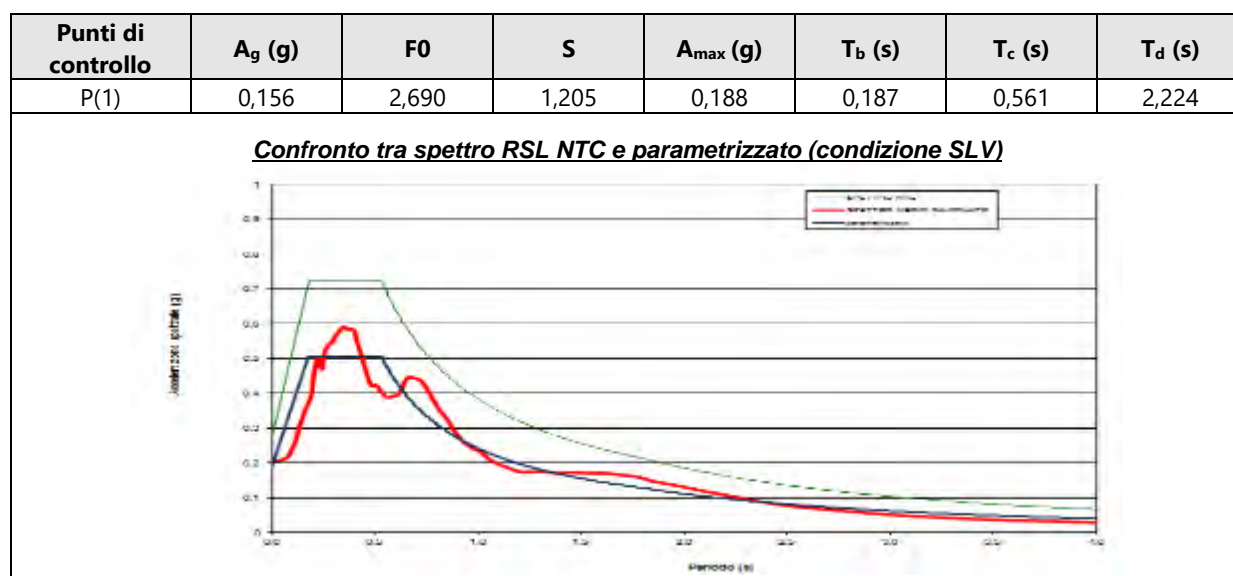


Tabella 10-2 – Parametri SLV

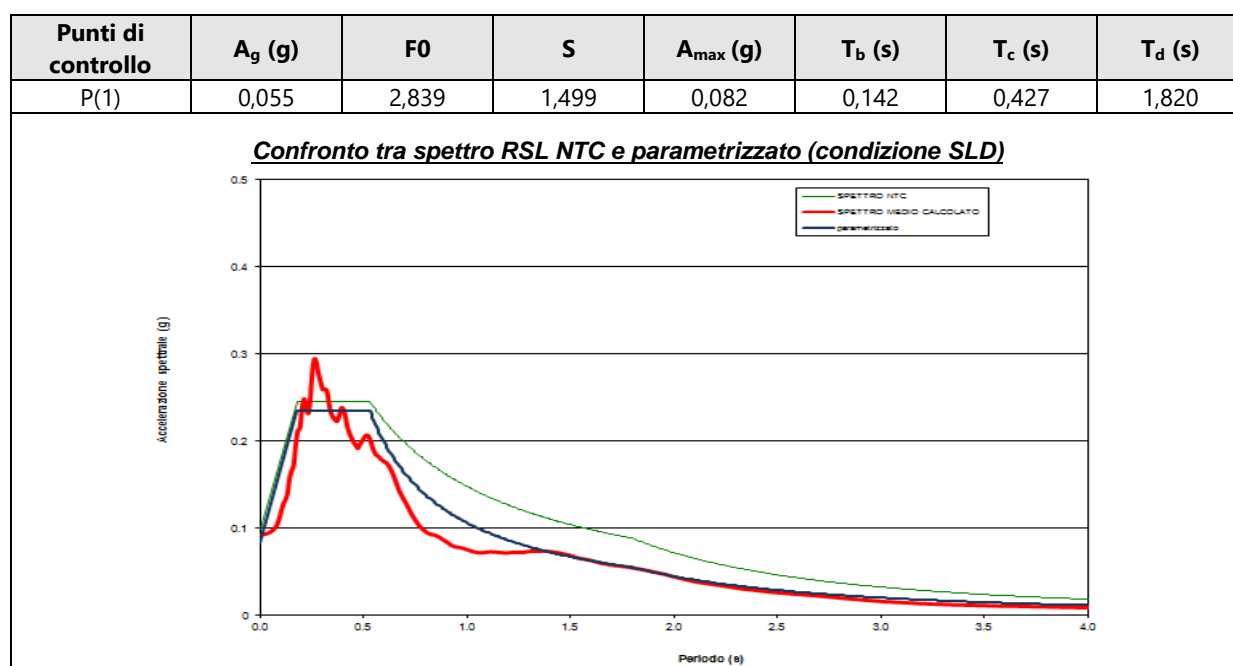


Tabella 10-3 – Parametri SLD

dove:

- A_g : accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F0$: valore massimo dello spettro in accelerazione orizzontale;
- S : coefficiente che tiene conto degli effetti di amplificazione (stratigrafici e/o topografici);
- A_{max} : punto di ancoraggio a $T=0$ dello spettro di output;
- T_b : periodo corrispondente all’inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante;
- T_c : periodo corrispondente all’inizio del tratto dello spettro a velocità costante;
- T_d : periodo corrispondente all’inizio del tratto dello spettro a spostamento costante.

10.5 VERIFICA POTENZIALE LIQUEFAZIONE AREA 1 E 2

In relazione all’analisi sismica esposta ai paragrafi precedenti, si è proceduto alla verifica del potenziale di liquefazione per l’area sottesa alle prove SCPTU 01 e CPTU 01 (Area 1 e 2) ubicate in località Bando di Argenta (FE). Nel dettaglio, sono stati adottati i valori di Accelerazione massima risultati dall’analisi di RSL esposti nelle tabelle precedenti.

Come si evince dalla figura successiva, il potenziale di liquefazione calcolato per le prove precedentemente menzionate, adottando i coefficienti di accelerazione massima ottenuti dall’analisi RSL precedentemente esposti, risulta rientrare entro valori caratteristici di “**POTENZIALE BASSO**” secondo la scala di Sonmez ($0 < IL < 2$) – si veda Scala del potenziale di Liquefazione (Sonmez, 2003) riportata alla figura 9.4 del precedente capitolo.

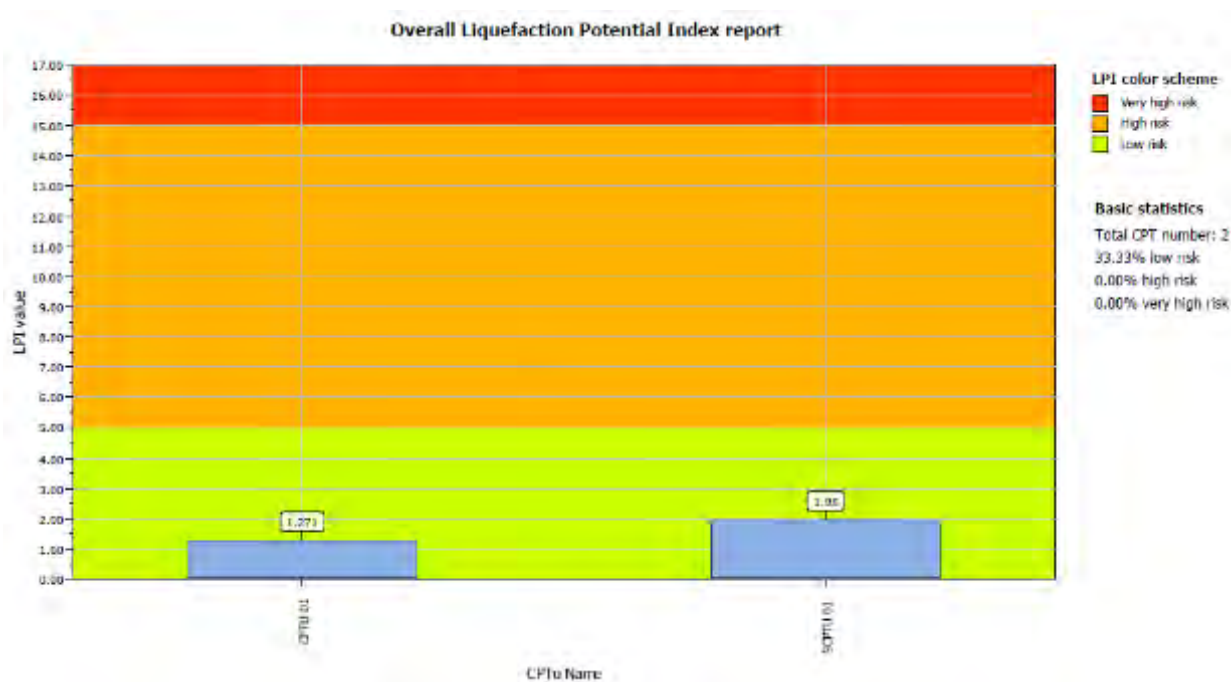


Fig. 10.4 – Indice del potenziale di Liquefazione calcolato da RSL (v. All.4)

11 MODELLO GEOLOGICO E PRIME CONSIDERAZIONI GEOTECNICHE

11.1 PREMESSA

L'esecuzione delle prove penetrometriche CPTU ed SCPTU ha permesso la definizione del modello geologico-stratigrafico di riferimento per il sito di studio.

A tal proposito, nel paragrafo successivo si riportano i caratteri litostratigrafici di dettaglio delle aree di interesse.

Infine, definito il modello geologico stratigrafico di riferimento, grazie all'interpretazione delle prove penetrometriche eseguite, è stato possibile fornire una indicazione sulle caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione.

11.2 MODELLO STRATIGRAFICO

In linea generale, l'indagine condotta ha permesso di confermare i caratteri stratigrafici e geologici già descritti a carattere generale ai capitoli introduttivi, individuando materiali appartenenti a cicli deposizionali propri di ambienti alluvionali.

Nel dettaglio l'indagine ha permesso di ricostruire la sequenza litostratigrafica locale sino ad una profondità massima compresa tra -20 m da p.c. e -30,0 m da p.c.

In relazione alla distanza che intercorre tra le Aree 1,2 e Aree 3,4,5, di seguito si descrivono i livelli di terreno principali, considerando separatamente i due settori di indagine.

➤ Sequenza stratigrafica – Area 1, 2

- **Primo livello (Orizzonte 1):** nel complesso questo livello presenta caratteri coesivi, con presenza di argille e argille limose, da segnalare come la coltre superficiale di natura agraria risulti piuttosto densa e compatta e a tratti debolmente limoso-sabbiosa. Questo primo orizzonte si spinge sino a profondità pari a circa -9,50 m da p.c.
- **Secondo livello (Orizzonte 2):** livello di terreno a carattere puramente granulare, costituito da sabbie da pulite a limose, presenta spessori omogenei sull'intera area di indagine, infatti la base si rileva tra -13,50 e -13,70 m da p.c.
- **Terzo livello (Orizzonte 3):** livello di terreno a prevalente carattere coesivo, costituito da argille e argille limose da consolidate a sovraconsolidate. Questo terzo livello di terreno è stato rilevato tra la base del precedente e -16,60 (CPTU01) e -17,50 (SCPTU01)
- **Quarto livello (Orizzonte 4):** costituito da materiali prevalentemente granulari sostenuti da componenti fini debolmente coesive, si tratta di Sabbie limose e limi sabbiosi a tratti sabbie pulite. Queste si rilevano intervallate da lenti millimetriche debolmente argilloso-limose. Questo quarto livello conclude la colonna stratigrafica in CPTU01 e si rileva sino a profondità massime di -27,0 m da p.c. in SCPTU01.
- **Quinto livello (Orizzonte 5):** Rilevato esclusivamente in SCPTU01, costituito da un'alternanza di materiali coesivi (argille e argille limose) e materiali granulari (sabbie limose e limi sabbiosi). Si presenta in banchi di spessore metrico e si rileva sino alla massima profondità di indagine raggiunta dalla prova penetrometrica SCPTU01.

In relazione alla ricostruzione litostratigrafica sopra riportata, al fine di comprendere al meglio i

rapporti tra i diversi orizzonti stratigrafici individuati, alla tavola 2 ed alla figura seguente è stata realizzata la rappresentazione grafica della sequenza litostratigrafica descritta.

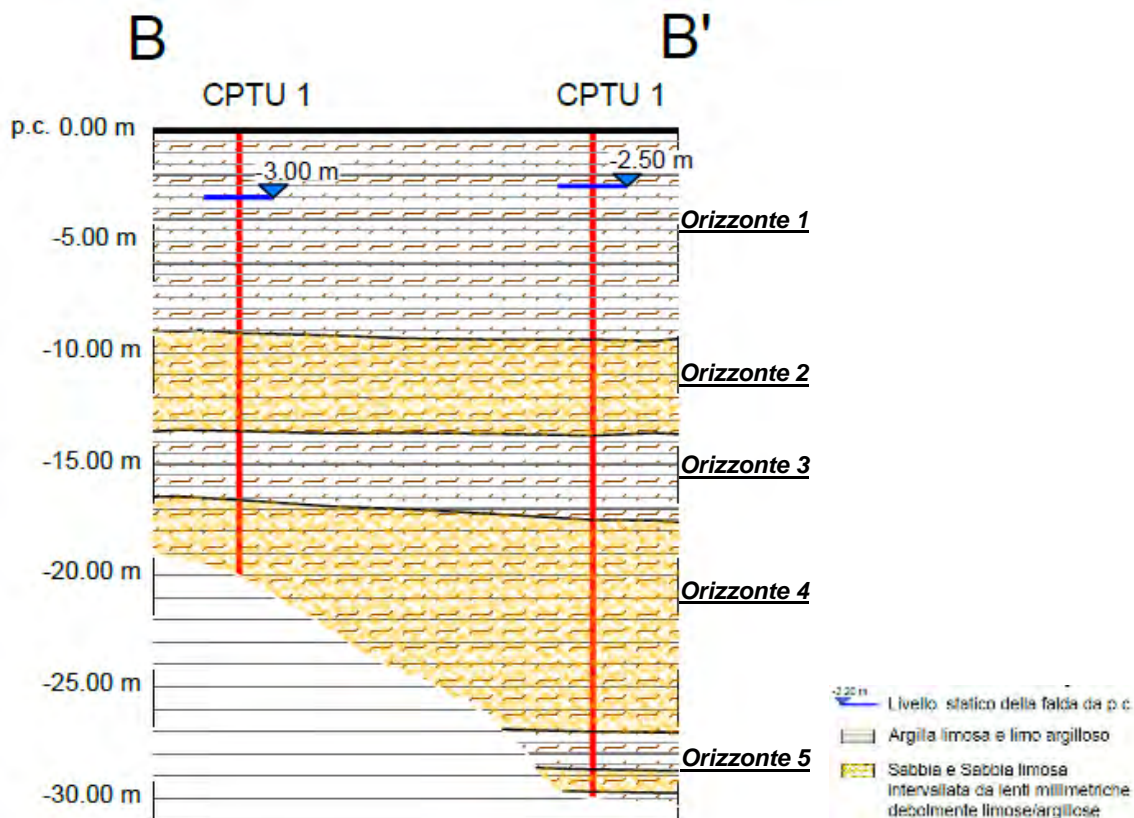


Fig. 11.1 – Stralcio sezione stratigrafica (v. Tav.2)

➤ **Sequenza stratigrafica – Area 3, 4, 5**

- **Primo livello (Orizzonte 1):** come per l'area 1, 2; nel complesso questo livello presenta caratteri coesivi, con presenza di argille e argille limose, da segnalare come la coltre superficiale di natura agraria risulti piuttosto densa e compatta e a tratti debolmente limoso-sabbiosa. Questo primo orizzonte si spinge sino a profondità pari a circa -8,50/-9,00 m da p.c.
- **Secondo livello (Orizzonte 2):** livello di terreno di spessore modesto, da pochi centimetri a circa 1,0 m. Costituito da sabbie limose e limi sabbiosi a tratti sabbie pulite. Questo livello si trova tra la base del precedente sino a profondità pari a circa -9,0 e -10,0 m da p.c.
- **Terzo livello (Orizzonte 3):** a carattere coesivo, costituito da argilla e argilla limosa, si presenta in spessori plurimetrici e costituisce il livello conclusivo della sequenza stratigrafica rinvenuta nelle prove CPTU, mentre in SCPTU02 si rileva sino a profondità pari a circa -19,20 m da p.c.
- **Quarto livello (Orizzonte 4):** rilevato esclusivamente in SCPTU02, costituito da

un’alternanza di materiali coesivi (argille e argille limose) e materiali granulari (sabbie limose e limi sabbiosi). I materiali coesivi costituiscono la porzione predominante di questo livello, il quale viene intervallato da livelli centimetrici a metrici di sabbie-sabbie limose.

In relazione alla ricostruzione litostratigrafica sopra riportata, al fine di comprendere al meglio i rapporti tra i diversi orizzonti stratigrafici individuati, alla tavola 2 ed alla figura seguente è stata realizzata la rappresentazione grafica della sequenza litostratigrafica descritta.

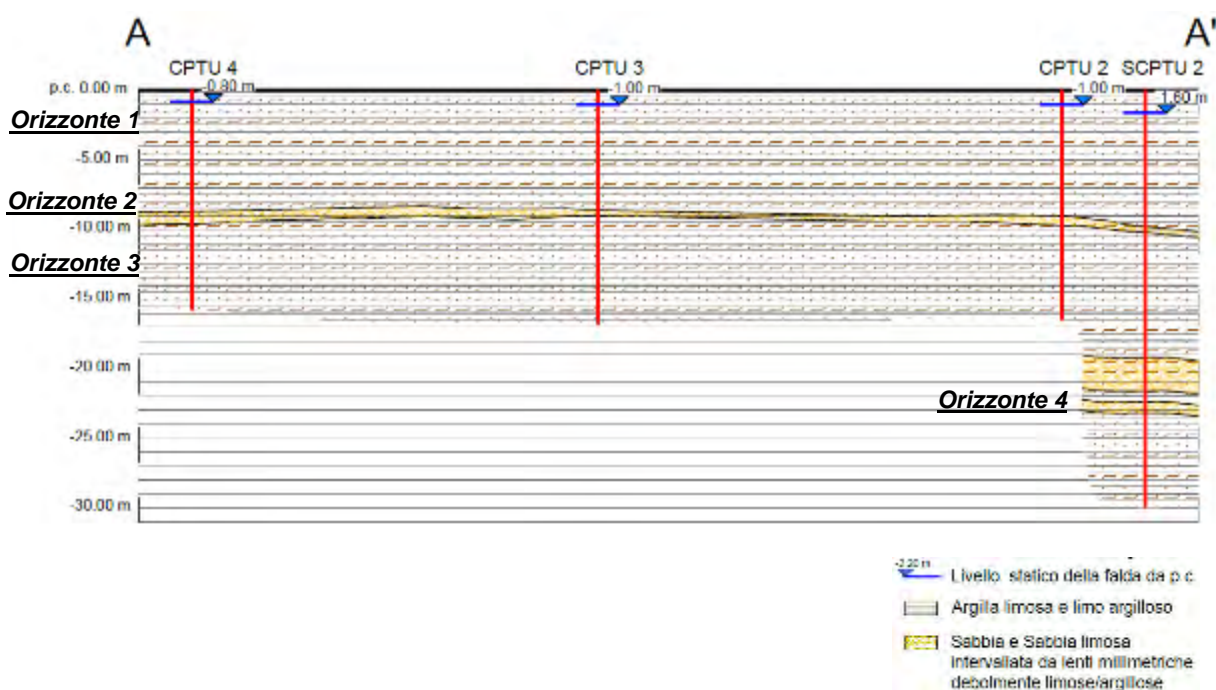


Fig. 11.2 – Stralcio sezione stratigrafica (v. Tav. 2)

11.3 CARATTERI IDROGEOLOGICI

Sulla base delle informazioni raccolte dalle prove penetrometriche condotte, è stato possibile valutare le quote piezometriche delle acque sotterranee delle aree di indagine. Alla tabella seguente si riepilogano le quote espresse in metri dal piano campagna locale.

| ID | Livello statico della falda da p.c. (m) |
|----------------------|---|
| Area 1, 2 | |
| CPTU01 | 3,00 |
| SCPTU01 | 2,50 |
| Area 3, 4 e 5 | |
| CPTU02 | 1,00 |
| CPTU03 | 1,00 |
| CPTU04 | 0,80 |
| SCPTU02 | 1,60 |

Tabella 11-1 – Livello falda

11.4 CARATTERI GEOTECNICI

Per la definizione dei parametri geotecnici caratteristici di riferimento si è adottata la suddivisione della sequenza stratigrafica locale in diversi orizzonti litotecnici. Per ogni orizzonte geotecnico sono stati individuati i valori caratteristici dei parametri geotecnici specifici delle litologie che compongono lo specifico orizzonte, i quali sono stati intesi come “stime ragionate e cautelative” definiti a partire dai risultati delle prove penetrometriche condotte in campo.

In via cautelativa, i caratteri geotecnici caratteristici degli orizzonti stratigrafici individuati, sono stati definiti come valori minimi e medi dei dati specifici di ogni orizzonte di terreno.

11.4.1 AREA 1, 2

Orizzonte 1: nel complesso questo livello presenta caratteri coesivi, con presenza di argille e argille limose, da segnalare come la coltre superficiale di natura agraria risulti piuttosto densa e compatta e a tratti debolmente limoso-sabbiosa. Questo primo orizzonte si spinge sino a profondità pari a circa -9,50 m da p.c.

| Parametro | M | Es | Go | Su | Dr | ϕ | γ |
|-----------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----|--------|------------------|
| U.M. | Kg/cm ² | Kg/cm ² | Kg/cm ² | Kg/cm ² | % | ° | t/m ³ |
| Media | 32 | 109 | 182 | 0,305 | | | 1,565 |
| Minimo | 31 | 104 | 176 | 0,29 | | | 1,55 |

Tabella 11-2 – Caratteri geotecnici Orizzonte 1

Orizzonte 2: livello di terreno a carattere puramente granulare, costituito da sabbie da pulite a limose, presenta spessori omogenei sull’intera area di indagine, infatti la base si rileva tra -13,50 e -13,70 m da p.c.

| Parametro | M | Es | Go | Su | Dr | φ | γ |
|-----------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------|-----------|------------------|
| U.M. | Kg/cm ² | Kg/cm ² | Kg/cm ² | Kg/cm ² | % | ° | t/m ³ |
| Media | 568,5 | 481 | 592 | | 41,2 | 37,05 | 1,75 |
| Minimo | 556 | 459 | 573 | | 38,6 | 36,5 | 1,74 |

Tabella 11-3 – Caratteri geotecnici Orizzonte 2

Orizzonte 3: livello di terreno a prevalente carattere coesivo, costituito da argille e argille limose da consolidate a sovraconsolidate. Questo terzo livello di terreno è stato rilevato tra la base del precedente e -16,60 (CPTU01) e -17,50 (SCPTU01)

| Parametro | M | Es | Go | Su | Dr | φ | γ |
|-----------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----|-----------|------------------|
| U.M. | Kg/cm ² | Kg/cm ² | Kg/cm ² | Kg/cm ² | % | ° | t/m ³ |
| Media | 143,5 | 465,5 | 551 | 0,955 | | | 1,745 |
| Minimo | 111 | 424 | 457 | 0,83 | | | 1,69 |

Tabella 11-4 – Caratteri geotecnici Orizzonte 3

Orizzonte 4: costituito da materiali prevalentemente granulari sostenuti da componenti fini debolmente coesive, si tratta di Sabbie limose e limi sabbiosi a tratti sabbie pulite. Queste si rilevano intervallate da lenti millimetriche debolmente argilloso-limose. Questo quarto livello conclude la colonna stratigrafica in CPTU01 e si rileva sino a profondità massime di -27,0 m da p.c. in SCPTU01.

| Parametro | M | Es | Go | Su | Dr | φ | γ |
|-----------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|-----------|------------------|
| U.M. | Kg/cm ² | Kg/cm ² | Kg/cm ² | Kg/cm ² | % | ° | t/m ³ |
| Media | 612,5 | 657,5 | 802,5 | | 38,35 | 36,35 | 1,79 |
| Minimo | 582 | 575 | 708 | | 37,8 | 36,2 | 1,76 |

Tabella 11-5 – Caratteri geotecnici Orizzonte 4

Orizzonte 5: Rilevato esclusivamente in SCPTU01, costituito da un’alternanza di materiali coesivi (argille e argille limose) e materiali granulari (sabbie limose e limi sabbiosi). Si presenta in banchi di spessore metrico e si rileva sino alla massima profondità di indagine raggiunta dalla prova penetrometrica SCPTU01.

| Parametro | M | Es | Go | Su | Dr | φ | γ |
|-----------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------|-----------|------------------|
| U.M. | Kg/cm ² | Kg/cm ² | Kg/cm ² | Kg/cm ² | % | ° | t/m ³ |
| Media | 451,33 | 1227 | 1141,3 | 1,28 | 38,7 | 36,5 | 1,877 |
| Minimo | 138 | 1227 | 921 | 1,23 | 38,7 | 36,5 | 1,83 |

Tabella 11-6 – Caratteri geotecnici Orizzonte 5

11.4.2 AREA 3, 4 e 5

Orizzonte 1: come per l'area 1, 2; nel complesso questo livello presenta caratteri coesivi, con presenza di argille e argille limose, da segnalare come la coltre superficiale di natura agraria risulti piuttosto densa e compatta e a tratti debolmente limoso-sabbiosa. Questo primo orizzonte si spinge sino a profondità pari a circa -8,50/-9,00 m da p.c.

| Parametro | M | Es | Go | Su | Dr | φ | γ |
|-----------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----|-----------|------------------|
| U.M. | Kg/cm ² | Kg/cm ² | Kg/cm ² | Kg/cm ² | % | ° | t/m ³ |
| Media | 58,25 | 165,5 | 216,5 | 0,4 | | | 1,615 |
| Minimo | 29 | 113 | 143 | 0,23 | | | 1,56 |

Tabella 11-7 – Caratteri geotecnici Orizzonte 1

Orizzonte 2: livello di terreno di spessore modesto, da pochi centimetri a circa 1,0 m. Costituito da sabbie limose e limi sabbiosi a tratti sabbie pulite. Questo livello si trova tra la base del precedente sino a profondità pari a circa -9,0 e -10,0 m da p.c.

| Parametro | M | Es | Go | Su | Dr | φ | γ |
|-----------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------|-----------|------------------|
| U.M. | Kg/cm ² | Kg/cm ² | Kg/cm ² | Kg/cm ² | % | ° | t/m ³ |
| Media | 507,75 | 552,75 | 668,25 | | 41,1 | 37,025 | 1,8225 |
| Minimo | 435 | 419 | 521 | | 34,6 | 35,4 | 1,76 |

Tabella 11-8 – Caratteri geotecnici Orizzonte 2

Orizzonte 3: a carattere coesivo, costituito da argilla e argilla limosa, si presenta in spessori plurimetrici e costituisce il livello conclusivo della sequenza stratigrafica rinvenuta nelle prove CPTU, mentre in SCPTU02 si rileva sino a profondità pari a circa -19,20 m da p.c.

| Parametro | M | Es | Go | Su | Dr | φ | γ |
|-----------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----|-----------|------------------|
| U.M. | Kg/cm ² | Kg/cm ² | Kg/cm ² | Kg/cm ² | % | ° | t/m ³ |
| Media | 145 | 425 | 571 | 0,91 | | | 1,79 |
| Minimo | 58 | 425 | 547 | 0,74 | | | 1,71 |

Tabella 11-9 – Caratteri geotecnici Orizzonte 3

Orizzonte 4: rilevato esclusivamente in SCPTU02, costituito da un'alternanza di materiali coesivi (argille e argille limose) e materiali granulari (sabbie limose e limi sabbiosi). I materiali coesivi costituiscono la porzione predominante di questo livello, il quale viene intervallato da livelli centimetrici a metrici di sabbie-sabbie limose.

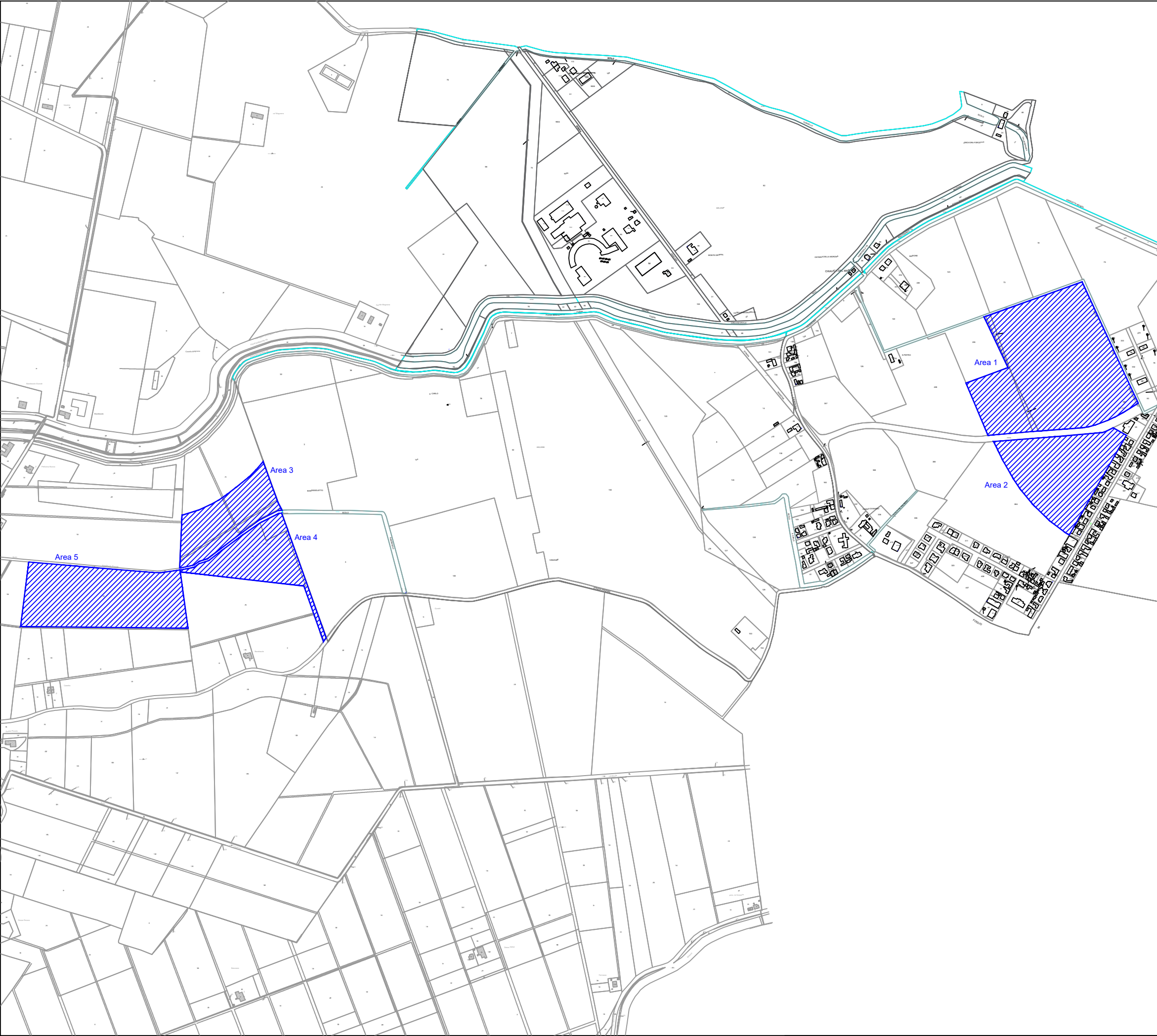
| Parametro | M | Es | Go | Su | Dr | φ | γ |
|-----------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----|-----------|------------------|
| U.M. | Kg/cm ² | Kg/cm ² | Kg/cm ² | Kg/cm ² | % | ° | t/m ³ |
| Media | 600,5 | 1003 | 1015 | 1,1 | 53 | 39,5 | 1,86 |
| Minimo | 103 | 1003 | 822 | 1,1 | 53 | 39,5 | 1,81 |

Tabella 11-10 – Caratteri geotecnici Orizzonte 4



of counsel
Studio Stefano Maglia
Consulenze Legali Ambientali

TAVOLE



LEGENDA

 Aree opere progettuali

AREA 1:
Foglio 75 Mappali 399, 400, 401, e 402

AREA 2:
Foglio 75 Mappale 664

AREA 3:
Foglio 73 Mappale 20

AREA 4:
Foglio 73 Mappali 3, 21 e 22

AREA 5:
Foglio 73 Mappale 64

COMMITTENTE
ENGIE ELICEO SRL

STUDIO DI PROGETTAZIONE
Dott.ssa Geol. Linda Collina
Via Felice Gioelli, 30 - 44122 Ferrara (FE)

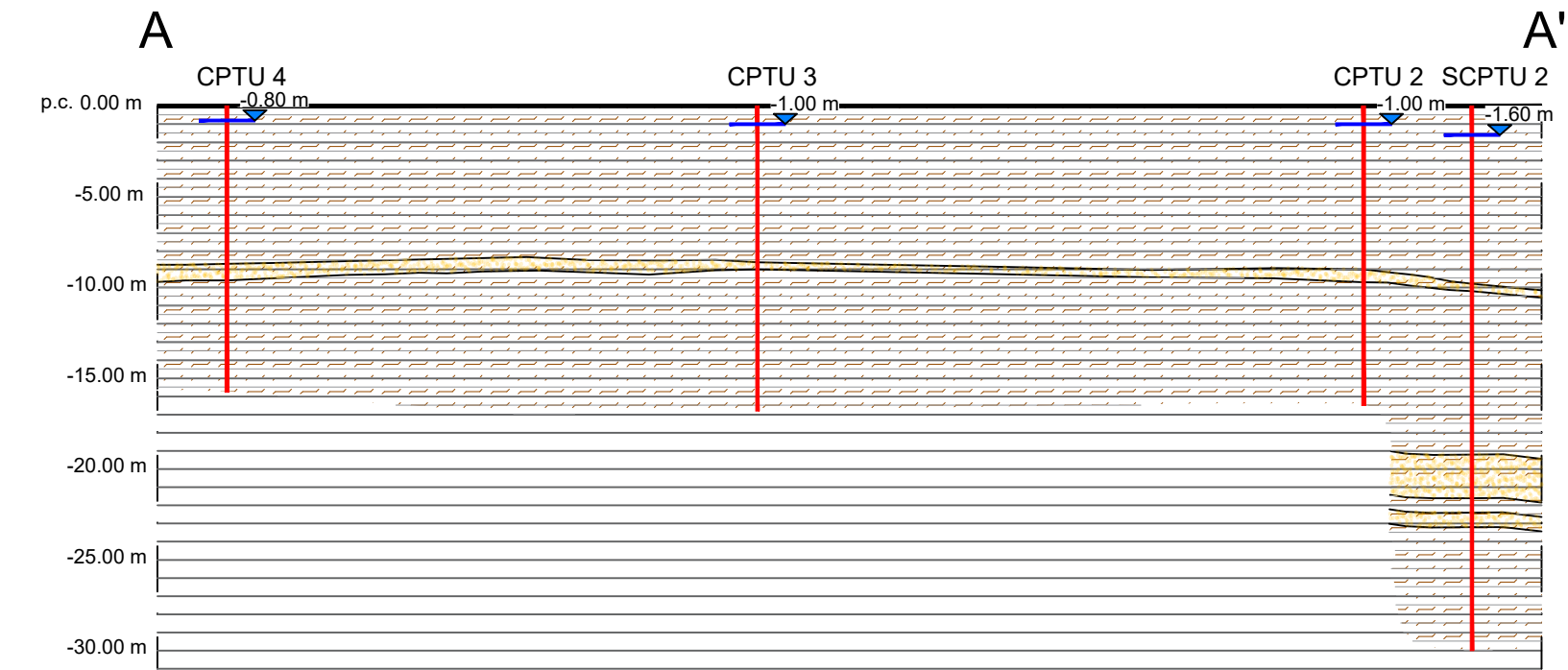


| | | | | | |
|--|--|-------------------------------|---------------------------|------|-------------------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| 0 | Febb.-25 | EMESSO PER ITER AUTORIZZATIVO | RC | DC | PL |
| REV. | DATE | DESCRIPTION | BY | CHD | APP. |
| REVISIONS | | | | | |
| Impianto Fotovoltaico "Lugo" da 23 MW con sezione dedicata a Tecnologia Agrivoltaica Avanzata e Opere Connesse | | | APPROVED FOR CONSTRUCTION | | |
| | | | DWG. REV. | DATE | |
| | | | SIGNATURE | | |
| | | | ORDER N° | | |
| PROGETTO DEFINITIVO IMPIANTO FOTOVOLTAICO E OPERE CONNESSE | | | SUPPLIER | | |
| | | | CONTRACT N° | | |
| OBJECT: | TAV. 1 Planimetria su cartografia catastale | | SUBPROJECT CODE: | | SCALE 1:10.000 |
| THIS DWG. SUPERSEDED BY | | | | | |
| THIS DWG. SUPERSEDES | | | | | |
| FWI DWG N° | | | | | |
| THIS DRAWING IS THE PROPERTY OF ENGIE ELICEO SRL AND IS LENT WITH-OUT CONSIDERATION OTHER THAN THE BORROWER'S AGREEMENT THAT IT SHALL NOT BE REPRODUCED COPIED LENT OR DISPOSED OF DIRECTLY OR INDIRECTLY. NOR USED FOR ANY PURPOSE OTHER THAN THAT FOR WHICH IT IS SPECIFICALLY FURNISHED THE APPARATUS SHOWN IN THE DRAWING IS COVERED BY PATENTS. | | | SHEET | | REV. 0 |
| | | | OF | | |
| CAD FILE NAME: A0 | | | | | |

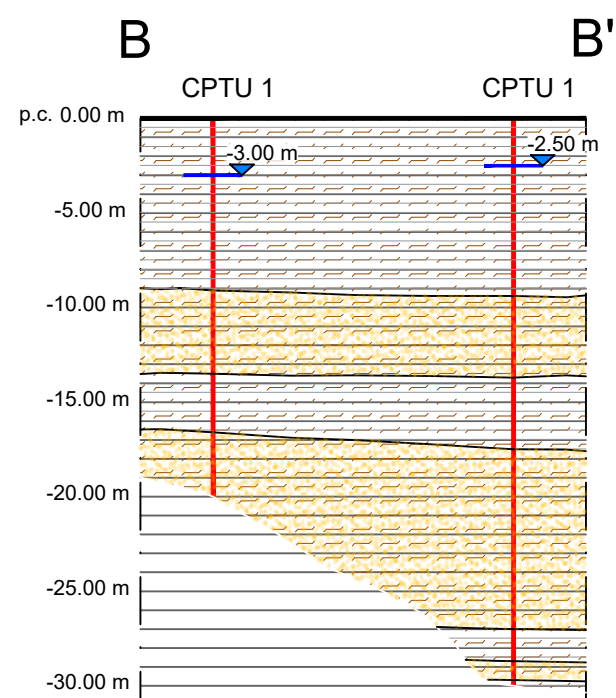
Stralcio Ortofoto ubicazione indagini eseguite e traccia sezione
scala 1:10.000



Sezione litostratigrafica A - A'
scala orizzontale 1:8.000
scala verticale 1:400



Sezione litostratigrafica B - B'
scala orizzontale 1:8.000
scala verticale 1:400



LEGENDA

- Prove penetrometriche CPTU
- Prove penetrometriche SCPTU
- Prova HVSR
- Tracce sezioni litostratigrafiche
- 2.20 m Livello statico della falda da p.c.
- Argilla limosa e limo argilloso
- Sabbia e Sabbia limosa intervallata da lenti millimetriche debolmente limose/argillose
- Impianto LUGO

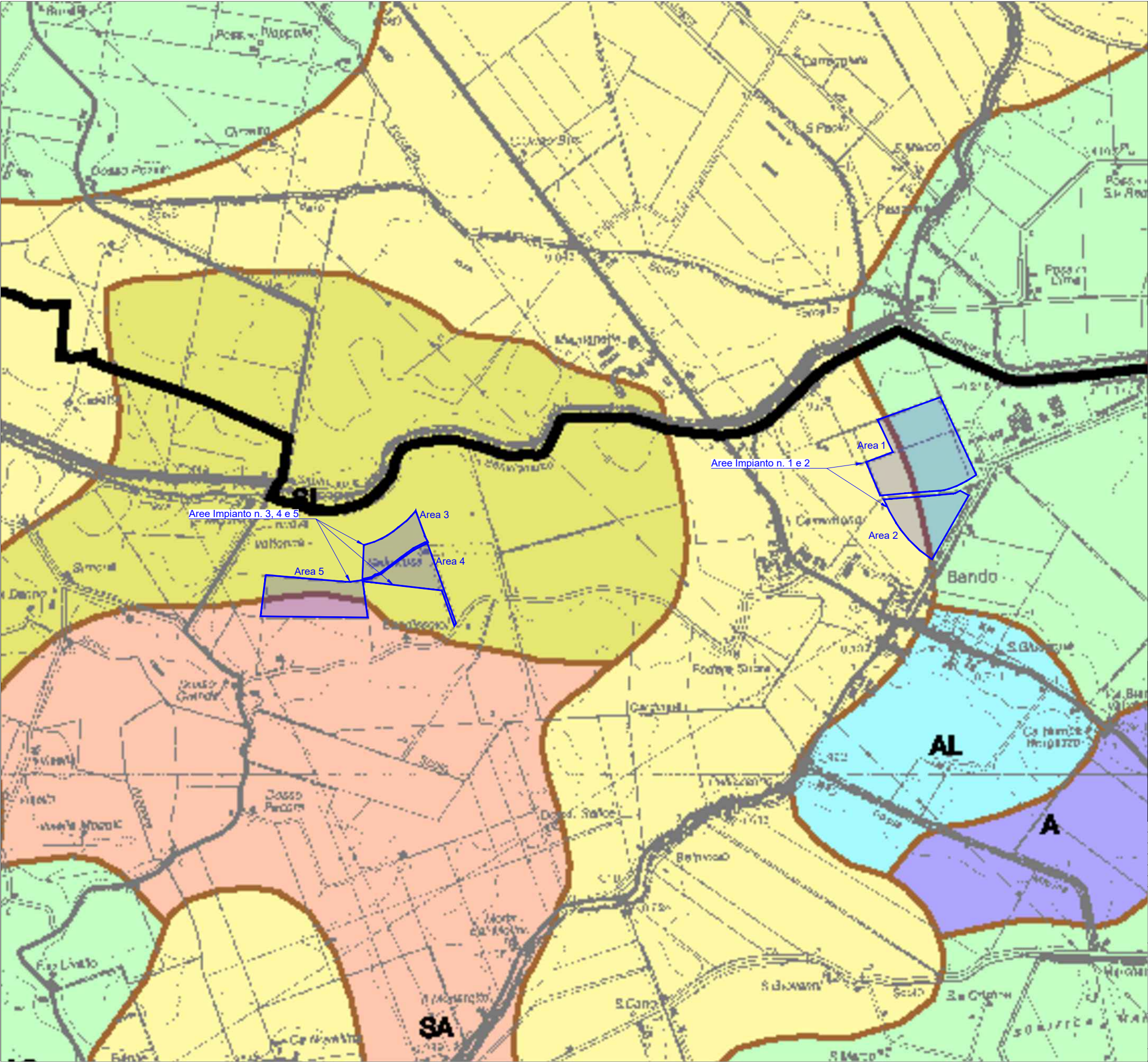


COMMITTENTE
ENGIE ELICEO SRL

STUDIO DI PROGETTAZIONE
Dott.ssa Geol. Linda Collina
Via Felice Gioelli, 30 - 44122 Ferrara (FE)



| | | | | | | | |
|--|--|-------------------------------|--|---------------------------|-----|-------|---|
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 0 | Febb.-25 | EMESSO PER ITER AUTORIZZATIVO | | RC | DC | PL | |
| REV. | DATE | DESCRIPTION | | BY | CHD | APP. | |
| REVISIONS | | | | | | | |
| Impianto Fotovoltaico "Lugo" da 23 MW con sezione dedicata a Tecnologia Agrivoltaica Avanzata e Opere Connesse | | | | APPROVED FOR CONSTRUCTION | | | |
| | | | | DWG. REV. | | DATE | |
| | | | | SIGNATURE | | | |
| | | | | ORDER N° | | | |
| PROGETTO DEFINITIVO IMPIANTO FOTOVOLTAICO E OPERE CONNESSE | | | | SUPPLIER | | | |
| | | | | CONTRACT N° | | | |
| | | | | SUBPROJECT CODE: | | | |
| | | | | THIS DWG. SUPERSEDED BY | | SCALE | |
| OBJECT: | TAV. 2 Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche e traccia sezione stratigrafica | | | 1:10.000 | | | |
| THIS DWG. SUPERSEDES | | | | | | | |
| THIS DRAWING IS THE PROPERTY OF ENGIE ELICEO SRL AND IS LENT WITH-OUT CONSIDERATION OTHER THAN THE BORROWER'S AGREEMENT THAT IT SHALL NOT BE REPRODUCED COPIED LENT OR DISPOSED OF DIRECTLY OR INDIRECTLY. NOR USED FOR ANY PURPOSE OTHER THAN THAT FOR WHICH IT IS SPECIFICALLY FURNISHED THE APPARATUS SHOWN IN THE DRAWING IS COVERED BY PATENTS. | | | | FWI DWG N° | | REV. | |
| | | | | SHEET | | OF | 0 |
| CAD FILE NAME: | | | | AO | | | |



LEGENDA

- Confini comunali
- A - Argilla
- AL - Argilla limosa
- ALS - Argilla limosa sabbiosa
- AS - Argilla sabbiosa
- L - Limo
- LA - Limo argilloso
- LS - Limo sabbioso
- S - Sabbia
- SA - Sabbia argillosa
- SL - sabbia limosa
- T - Torba
- Impianto LUGO



COMMITTENTE
ENGIE ELICEO SRL

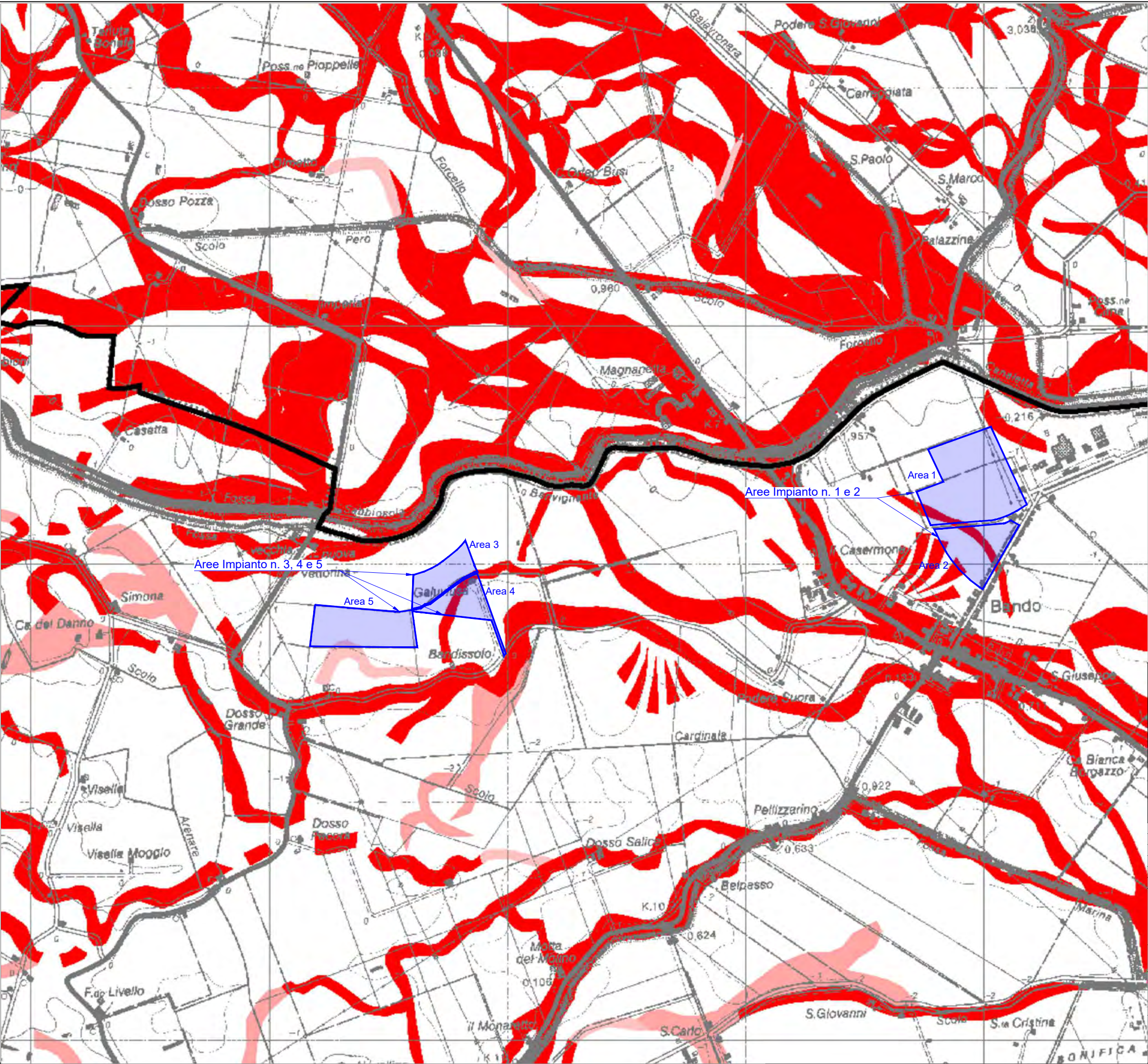
STUDIO DI PROGETTAZIONE
Dott.ssa Geol. Linda Collina
Via Felice Gioelli, 30 - 44122 Ferrara (FE)



| | | | | | |
|------|----------|-------------------------------|----|-----|------|
| | | | | | |
| 0 | Febb.-25 | EMESSO PER ITER AUTORIZZATIVO | RC | DC | PL |
| REV. | DATE | DESCRIPTION | BY | CHD | APP. |

| | | | | | |
|---|---|--|---------------------------|-------|---|
| REVISIONS | | | APPROVED FOR CONSTRUCTION | | |
| Impianto Fotovoltaico "Lugo" da 23 MW con sezione dedicata a Tecnologia Agrivoltaica Avanzata e Opere Connesse | | | DWG. REV. | DATE | |
| | | | SIGNATURE | | |
| | | | ORDER N° | | |
| PROGETTO DEFINITIVO IMPIANTO FOTOVOLTAICO E OPERE CONNESSE | | | SUPPLIER | | |
| | | | CONTRACT N° | | |
| OBJECT: | TAV. 3 Carta litologia di superficie | | SUBPROJECT CODE: | | |
| | | | THIS DWG. SUPERSEDED BY | SCALE | |
| | | | 1:16.000 | | |
| | | | THIS DWG. SUPERSEDES | | |
| THIS DRAWING IS THE PROPERTY OF ENGIE ELUGO SRL AND IS LENT WITH-OUT CONSIDERATION OTHER THAN THE BORROWER'S AGREEMENT THAT IT SHALL NOT BE REPRODUCED COPIED LENT OR DISPOSED OF DIRECTLY OR INDIRECTLY. NOR USED FOR ANY PURPOSE OTHER THAN THAT FOR WHICH IT IS SPECIFICALLY FURNISHED THE APPARATUS SHOWN IN THE DRAWING IS COVERED BY PATENTS. | | | FWI DWG N° | REV. | |
| | | | SHEET | OF | 0 |
| | | | CAD FILE NAME: | | |

THIS DRAWING IS THE PROPERTY OF ENGIE ELICEO SRL AND IS LENT WITH-OUT CONSIDERATION OTHER THAN THE BORROWER'S AGREEMENT THAT IT SHALL NOT BE REPRODUCED COPIED LENT OR DISPOSED OF DIRECTLY OR INDIRECTLY, NOR USED FOR ANY PURPOSE OTHER THAN THAT FOR WHICH IT IS SPECIFICALLY FURNISHED THE APPARATUS SHOWN IN THE DRAWING IS COVERED BY PATENTS.



LEGENDA

- Confini comunali
- Tracce di migrazione di meandri e di anse fluviali
- Cordoni litoranei affioranti
- Cordoni litoranei sepolti
- Paleoalveo di ubicazione sicura
- Paleoalveo di ubicazione incerta
- Depositi di rota e tracimazione
- Impianto LUGO



COMMITTENTE
ENGIE ELICEO SRL

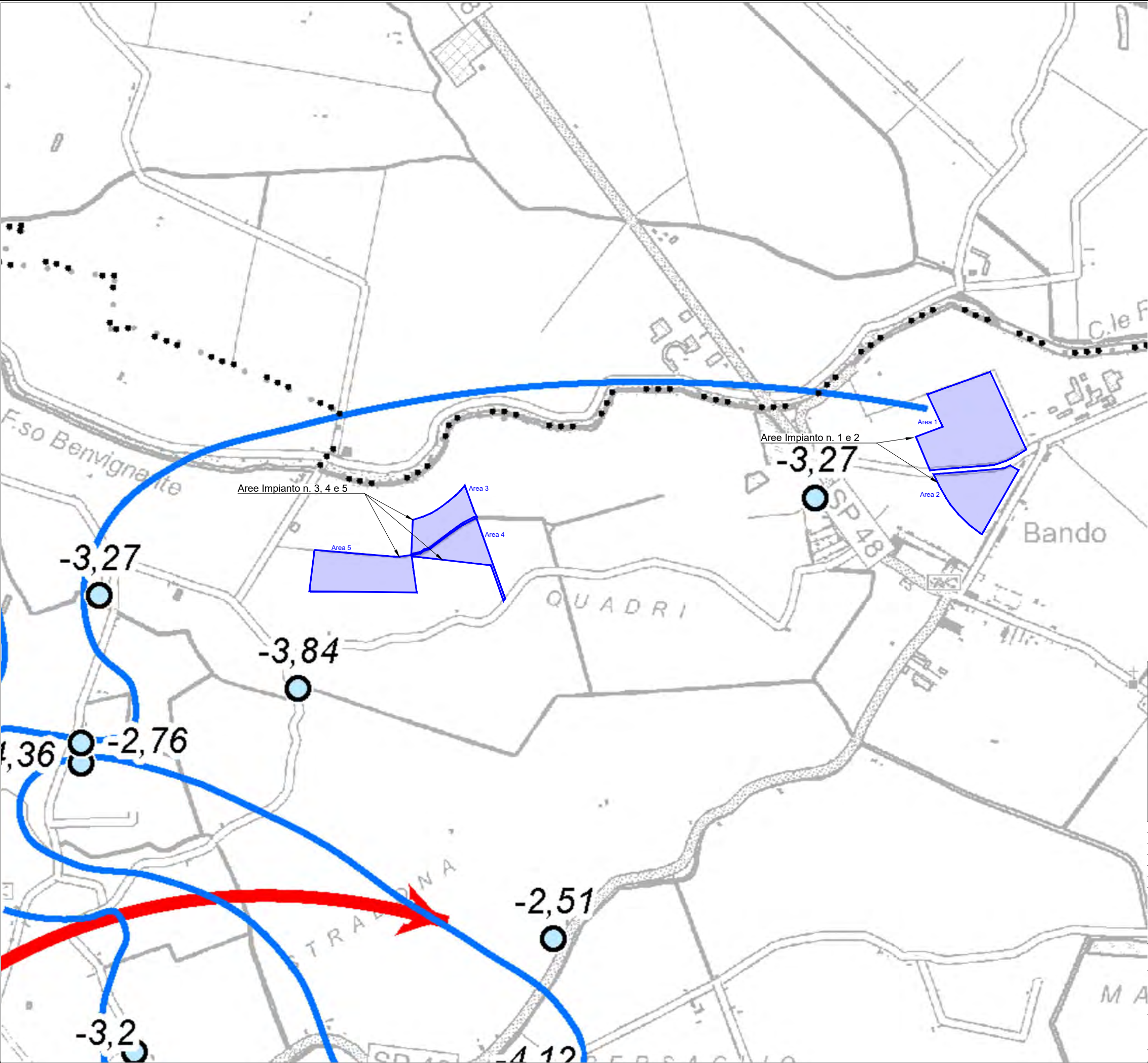
STUDIO DI PROGETTAZIONE
Dott.ssa Geol. Linda Collina
Via Felice Gioelli, 30 - 44122 Ferrara (FE)



| | | | | | |
|------|----------|-------------------------------|----|-----|------|
| 0 | Febb.-25 | EMESSO PER ITER AUTORIZZATIVO | RC | DC | PL |
| REV. | DATE | DESCRIPTION | BY | CHK | APP. |

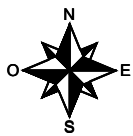
REVISIONS

| | | | |
|--|--|---------------------------|----------|
| Impianto Fotovoltaico "Lugo" da 23 MW con sezione dedicata a Tecnologia Agrivoltaica Avanzata e Opere Connesse | | APPROVED FOR CONSTRUCTION | |
| PROGETTO DEFINITIVO IMPIANTO FOTOVOLTAICO E OPERE CONNESSE | | DWG. REV. | DATE |
| TAV. 4 Carta geomorfologica | | SIGNATURE | |
| OBJECT: | | ORDER N° | |
| | | SUPPLIER | |
| | | CONTRACT N° | |
| | | SUBPROJECT CODE: | |
| | | THIS DWG. SUPERSEDED BY | SCALE |
| | | THIS DWG. SUPERSEDES | 1:16.000 |
| | | FW DWG N° | REV. |
| | | SHEET | OF |
| CAD FILE NAME: | | | A0 |



LEGENDA

- Pozzi Isofreatici con relative misure
- Curve delle Isofreatiche
- Impianto LUGO



COMMITTENTE
ENGIE ELICEO SRL

STUDIO DI PROGETTAZIONE
Dott.ssa Geol. Linda Collina
Via Felice Gioelli, 30 - 44122 Ferrara (FE)

SGI INGEGNERIA S.r.L.

| | | | | | |
|------|----------|-------------------------------|----|-----|------|
| | | | | | |
| 0 | Febb.-25 | EMESSO PER ITER AUTORIZZATIVO | RC | DC | PL |
| REV. | DATE | DESCRIPTION | BY | CHD | APP. |

Impianto Fotovoltaico "Lugo" da 23 MW con sezione dedicata a Tecnologia Agrivoltaica Avanzata e Opere Connesse

PROGETTO DEFINITIVO IMPIANTO FOTOVOLTAICO E OPERE CONNESSE

OBJECT:
TAV. 5
Carta idrogeologica

APPROVED FOR CONSTRUCTION

DWG. REV. DATE

SIGNATURE

ORDER N°

SUPPLIER

CONTRACT N°

SUBPROJECT CODE:

THIS DWG. SUPERSEDED BY SCALE

THIS DWG. SUPERSEDES 1:16.000

FW DWG N°

SHEET OF 0

THIS DRAWING IS THE PROPERTY OF ENGIE ELICEO SRL AND IS LENT WITH-OUT CONSIDERATION OTHER THAN THE BORROWER'S AGREEMENT THAT IT SHALL NOT BE REPRODUCED COPIED LENT OR DISPOSED OF DIRECTLY OR INDIRECTLY, NOR USED FOR ANY PURPOSE OTHER THAN THAT FOR WHICH IT IS SPECIFICALLY FURNISHED THE APPARATUS SHOWN IN THE DRAWING IS COVERED BY PATENTS.

CAD FILE NAME:

A0

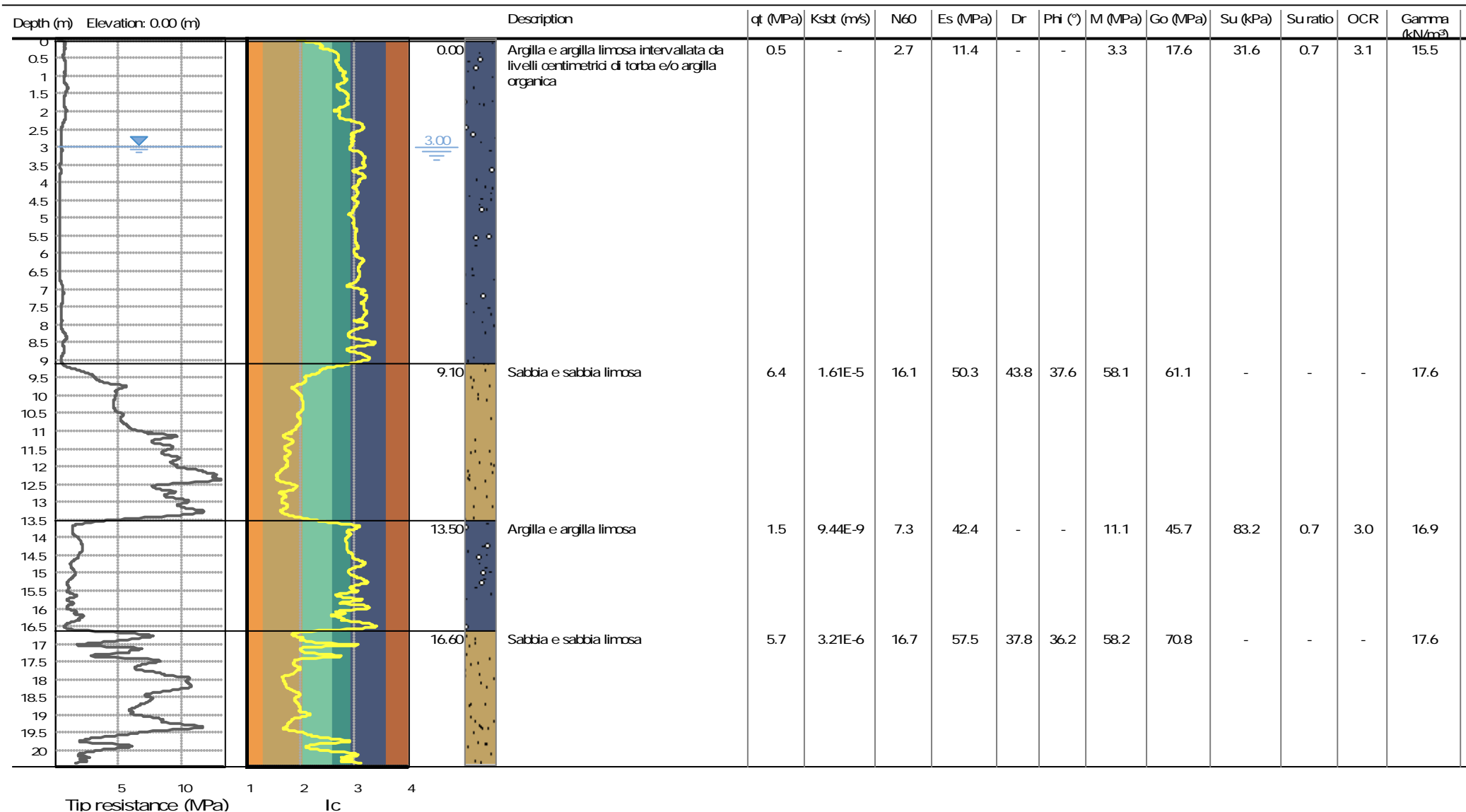
ALLEGATO 1

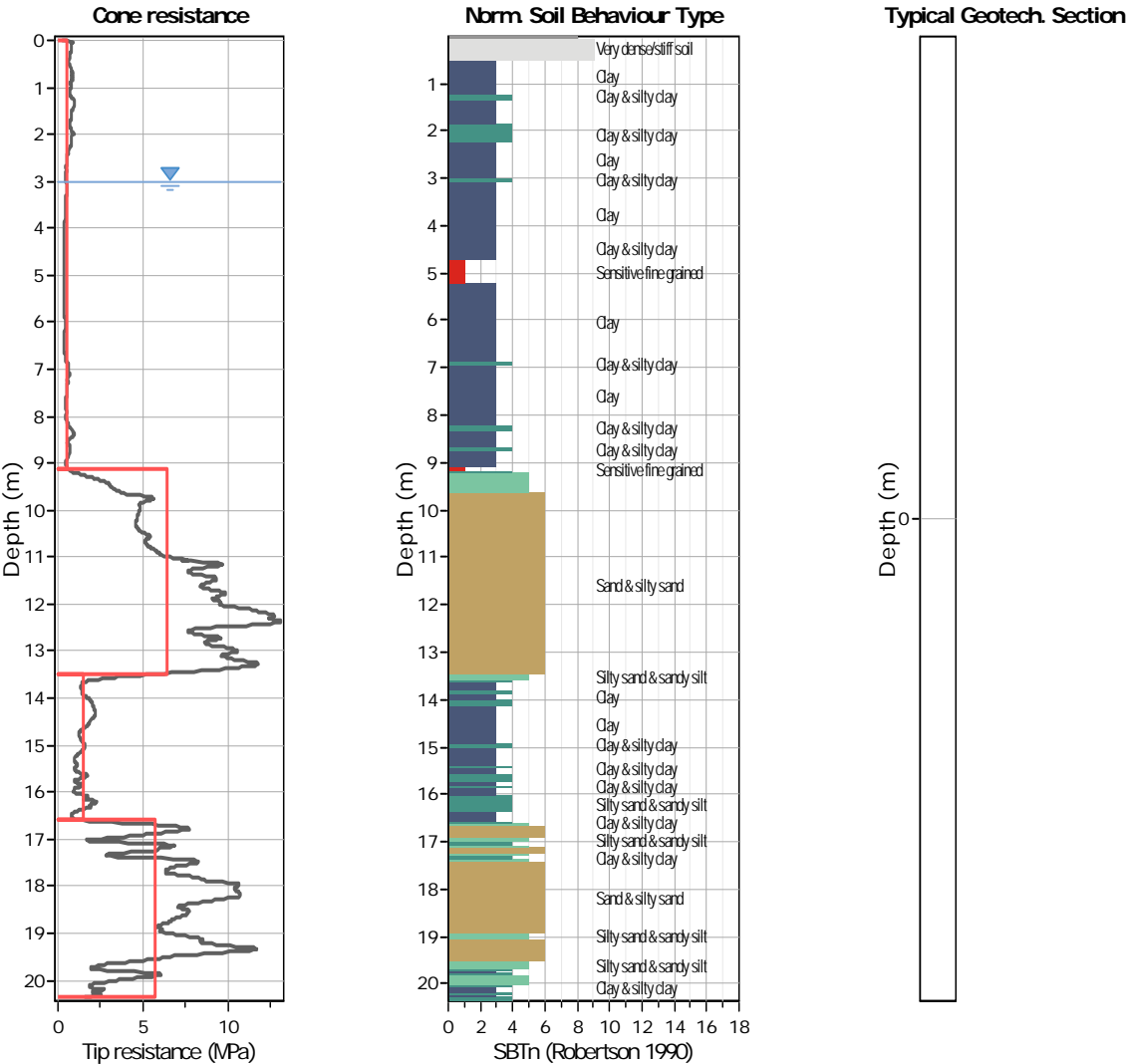
Project: Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica

Location: Fotovoltaico Bando di Argenta (FE)

CPT: CPTU 01

Total depth: 20.36 m





Tabular results

| | | |
|--|--|----------------------------------|
| ::: Layer No: 1 ::: | | |
| Code: 1 | Start depth: 0.00 (m), End depth: 9.10 (m) | |
| Description: Argilla e argilla limosa intervallata da livelli centimetrici di torba e/o argilla organica | | |
| Basic results | Estimation results | |
| Total cone resistance: 0.53 ±0.18 MPa | Permeability: 0.00E+00 ±4.06E-07 m/s | Constrained Mod.: 3.26 ±4.05 MPa |
| Sleeve friction: 10.15 ±19.63 kPa | N60: 2.69 ±0.79 blows | Go: 17.58 ±5.43 MPa |
| SBT _n : 3 | Es: 11.42 ±1.00 MPa | Su: 31.64 ±14.09 kPa |
| SBT _n description: Clay | Dr (%): 0.00 ±0.00 | Su ratio: 0.68 ±1.96 |
| | φ (degrees): 0.00 ±0.00 ° | O.C.R.: 3.13 ±9.05 |
| | Unit weight: 15.45 ±1.33 kN/m³ | |

.: Layer No: 2 .:

Code: 2 **Start depth:** 9.10 (m), **End depth:** 13.50 (m)**Description:** Sabbia e sabbia limosa**Basic results**

Total cone resistance: 6.41 ±3.16 MPa

Sleeve friction: 28.77 ±12.85 kPa

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

Permeability: 1.61E-05 ±4.23E-05 m/s

N60: 16.12 ±5.83 blows

Es: 50.27 ±11.77 MPa

Dr (%): 43.84 ±8.73

φ (degrees): 37.65 ±2.08 °

Unit weight: 17.57 ±0.89 kN/m³

Constrained Mod.: 58.07 ±18.60 MPa

Go: 61.12 ±16.39 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

.: Layer No: 3 .:

Code: 3 **Start depth:** 13.50 (m), **End depth:** 16.60 (m)**Description:** Argilla e argilla limosa**Basic results**

Total cone resistance: 1.47 ±0.59 MPa

Sleeve friction: 27.32 ±19.44 kPa

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

Permeability: 9.44E-09 ±1.87E-07 m/s

N60: 7.32 ±1.85 blows

Es: 42.35 ±6.42 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.94 ±0.80 kN/m³

Constrained Mod.: 11.05 ±10.86 MPa

Go: 45.70 ±11.00 MPa

Su: 83.19 ±30.36 kPa

Su ratio: 0.66 ±0.26

O.C.R.: 3.04 ±1.21

.: Layer No: 4 .:

Code: 4 **Start depth:** 16.60 (m), **End depth:** 20.36 (m)**Description:** Sabbia e sabbia limosa**Basic results**

Total cone resistance: 5.73 ±2.72 MPa

Sleeve friction: 30.86 ±11.97 kPa

SBT_n: 5SBT_n description: Silty sand & sandy silt**Estimation results**

Permeability: 3.21E-06 ±2.21E-05 m/s

N60: 16.72 ±4.40 blows

Es: 57.54 ±7.28 MPa

Dr (%): 37.76 ±6.54

φ (degrees): 36.24 ±1.75 °

Unit weight: 17.60 ±0.45 kN/m³

Constrained Mod.: 58.24 ±21.21 MPa

Go: 70.82 ±9.24 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

Project: Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica

Location: Fotovoltaico Bando di Argenta (FE)

CPT: CPTU 01

Total depth: 20.36 m, Date: 23/11/2024

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 | 9.10 | 0.00E+00 | 2.7 | 11.4 | 0.0 | 0.0 | 3.3 | 17.6 | 31.6 | 0.7 | 3.1 | 15.5 |
| 9.10 | | (±4.06E-07) | (±0.8) | (±1.0) | (±0.0) | (±0.0) | (±4.1) | (±5.4) | (±14.1) | (±2.0) | (±9.0) | (±1.3) |
| 9.10 | 4.40 | 1.61E-05 | 16.1 | 50.3 | 43.8 | 37.6 | 58.1 | 61.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.6 |
| 13.50 | | (±4.23E-05) | (±5.8) | (±11.8) | (±8.7) | (±2.1) | (±18.6) | (±16.4) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.9) |
| 13.50 | 3.10 | 9.44E-09 | 7.3 | 42.4 | 0.0 | 0.0 | 11.1 | 45.7 | 83.2 | 0.7 | 3.0 | 16.9 |
| 16.60 | | (±1.87E-07) | (±1.8) | (±6.4) | (±0.0) | (±0.0) | (±10.9) | (±11.0) | (±30.4) | (±0.3) | (±1.2) | (±0.8) |
| 16.60 | 3.76 | 3.21E-06 | 16.7 | 57.5 | 37.8 | 36.2 | 58.2 | 70.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.6 |
| 20.36 | | (±2.21E-05) | (±4.4) | (±7.3) | (±6.5) | (±1.7) | (±21.2) | (±9.2) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.4) |

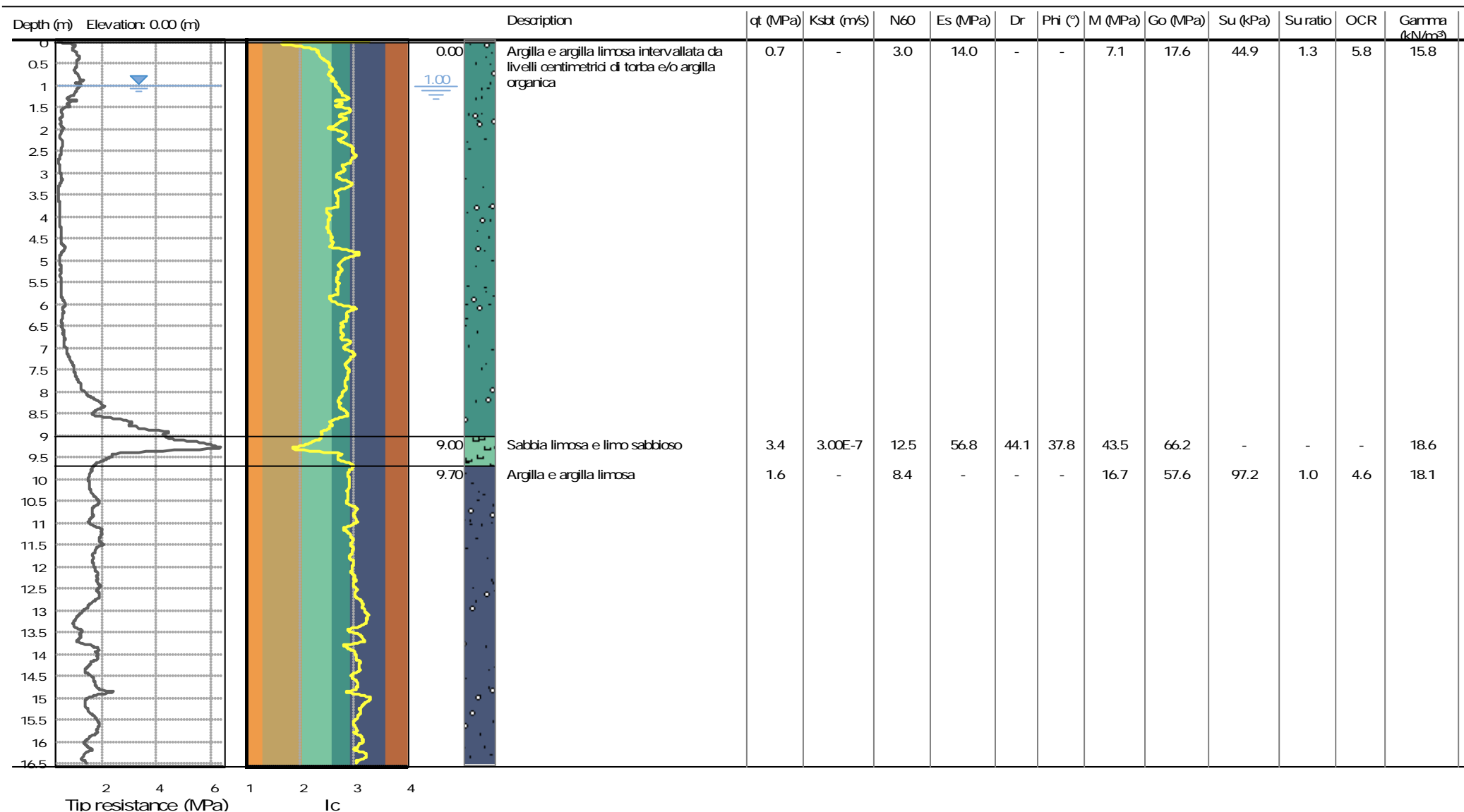
Depth values presented in this table are measured from free ground surface

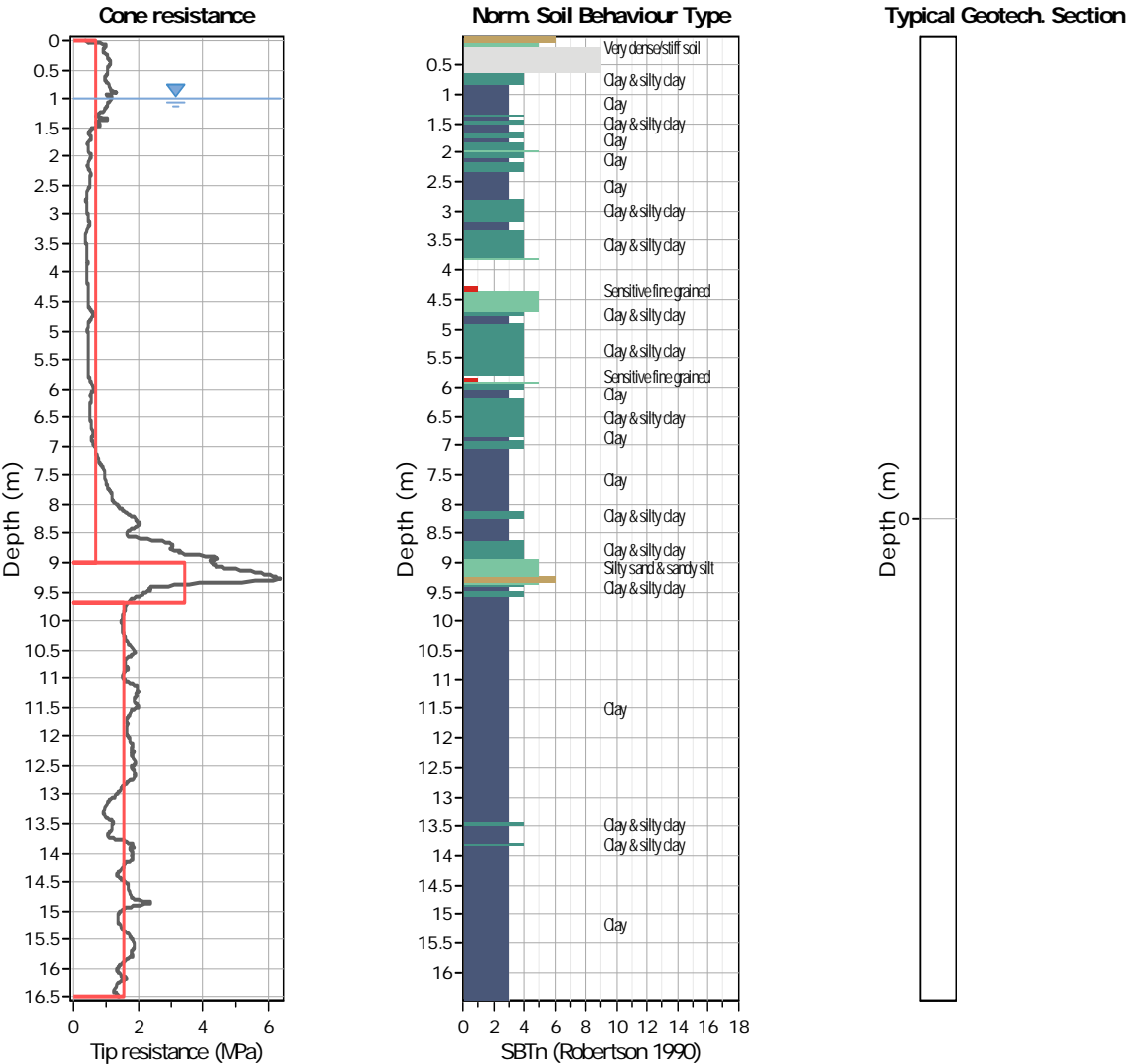
Project: Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica

Location: Fotovoltaico Bando di Argenta (FE)

CPT: CPTU 02

Total depth: 16.49 m





Tabular results

| | | |
|--|--|-----------------------------------|
| ::: Layer No: 1 ::: | | |
| Code: 1 | Start depth: 0.00 (m), End depth: 9.00 (m) | |
| Description: Argilla e argilla limosa intervallata da livelli centimetrici di torba e/o argilla organica | | |
| | | |
| Basic results | Estimation results | |
| Total cone resistance: 0.69 ±0.71 MPa | Permeability: 0.00E+00 ±6.12E-06 m/s | Constrained Mod.: 7.14 ±10.31 MPa |
| Sleeve friction: 10.21 ±37.63 kPa | N60: 3.04 ±2.72 blows | Go: 17.59 ±16.18 MPa |
| SBT _n : 4 | Es: 14.04 ±18.40 MPa | Su: 44.94 ±44.95 kPa |
| SBT _n description: Clay & silty clay | Dr (%): 0.00 ±0.00 | Su ratio: 1.26 ±1.63 |
| | φ (degrees): 0.00 ±0.00 ° | O.C.R.: 5.81 ±7.55 |
| | Unit weight: 15.80 ±1.69 kN/m³ | |

::: Layer No: 2 :::**Code:** 2 **Start depth:** 9.00 (m), **End depth:** 9.70 (m)**Description:** Sabbia limosa e limo sabbioso**Basic results**

Total cone resistance: 3.44 ±1.71 MPa

Sleeve friction: 88.65 ±29.82 kPa

SBT_n: 5SBT_n description: Silty sand & sandy silt**Estimation results**

Permeability: 3.00E-07 ±5.50E-06 m/s

N60: 12.47 ±3.24 blows

Es: 56.76 ±7.53 MPa

Dr (%): 44.09 ±3.04

φ (degrees): 37.75 ±0.67 °

Unit weight: 18.62 ±0.41 kN/m³

Constrained Mod.: 43.47 ±19.94 MPa

Go: 66.21 ±9.27 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

::: Layer No: 3 :::**Code:** 3 **Start depth:** 9.70 (m), **End depth:** 16.49 (m)**Description:** Argilla e argilla limosa**Basic results**

Total cone resistance: 1.58 ±0.26 MPa

Sleeve friction: 74.24 ±26.31 kPa

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

Permeability: 0.00E+00 ±8.09E-09 m/s

N60: 8.38 ±1.25 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 18.12 ±0.50 kN/m³

Constrained Mod.: 16.66 ±5.74 MPa

Go: 57.59 ±8.94 MPa

Su: 97.20 ±19.28 kPa

Su ratio: 1.00 ±0.31

O.C.R.: 4.63 ±1.42

Project: Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica

Location: Fotovoltaico Bando di Argenta (FE)

CPT: CPTU 02

Total depth: 16.49 m, Date: 23/11/2024

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 | 9.00 | 0.00E+00 | 3.0 | 14.0 | 0.0 | 0.0 | 7.1 | 17.6 | 44.9 | 1.3 | 5.8 | 15.8 |
| 9.00 | | (±6.12E-06) | (±2.7) | (±18.4) | (±0.0) | (±0.0) | (±10.3) | (±16.2) | (±44.9) | (±1.6) | (±7.6) | (±1.7) |
| 9.00 | 0.70 | 3.00E-07 | 12.5 | 56.8 | 44.1 | 37.8 | 43.5 | 66.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 18.6 |
| 9.70 | | (±5.50E-06) | (±3.2) | (±7.5) | (±3.0) | (±0.7) | (±19.9) | (±9.3) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.4) |
| 9.70 | 6.79 | 0.00E+00 | 8.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 16.7 | 57.6 | 97.2 | 1.0 | 4.6 | 18.1 |
| 16.49 | | (±8.09E-09) | (±1.2) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) | (±5.7) | (±8.9) | (±19.3) | (±0.3) | (±1.4) | (±0.5) |

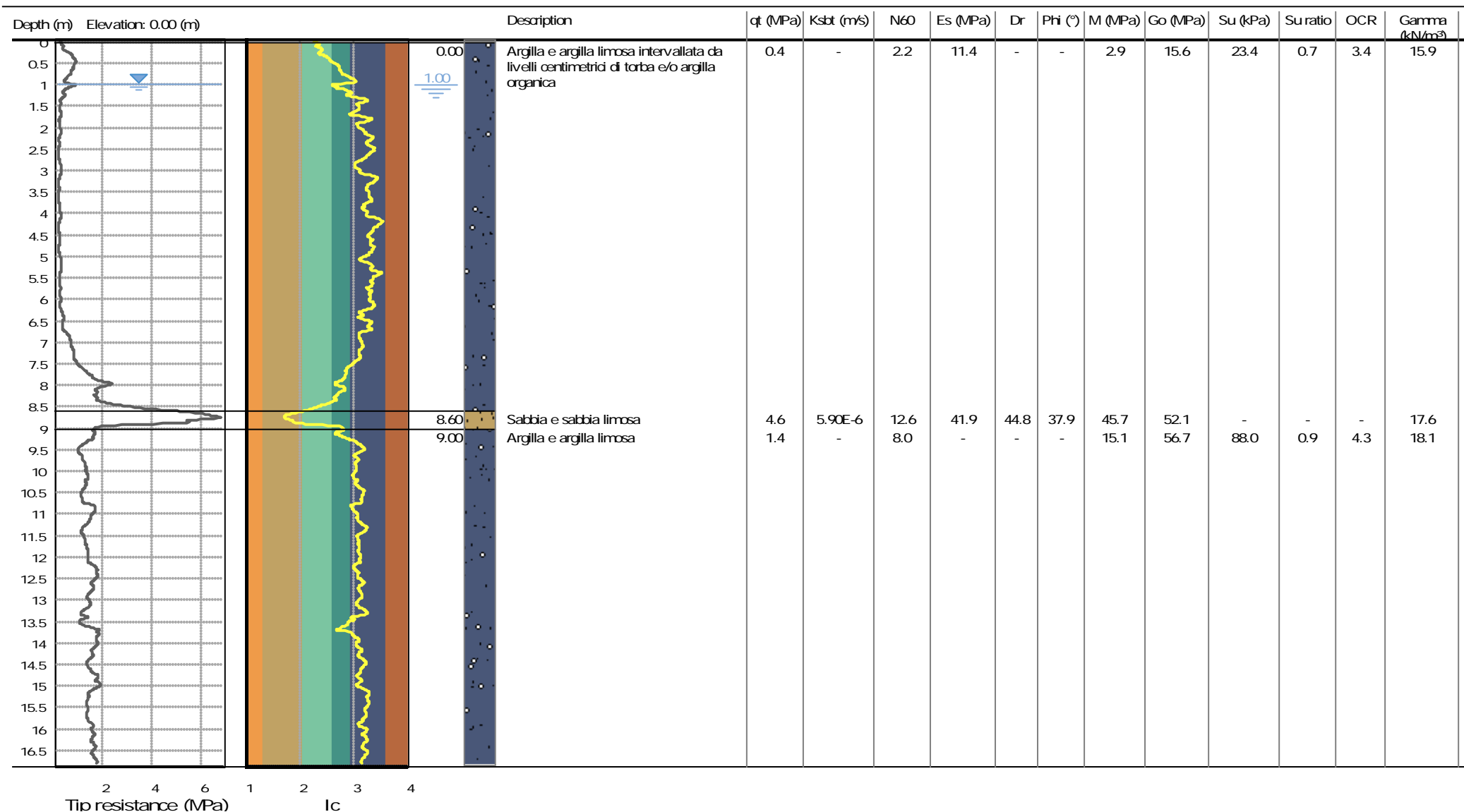
Depth values presented in this table are measured from free ground surface

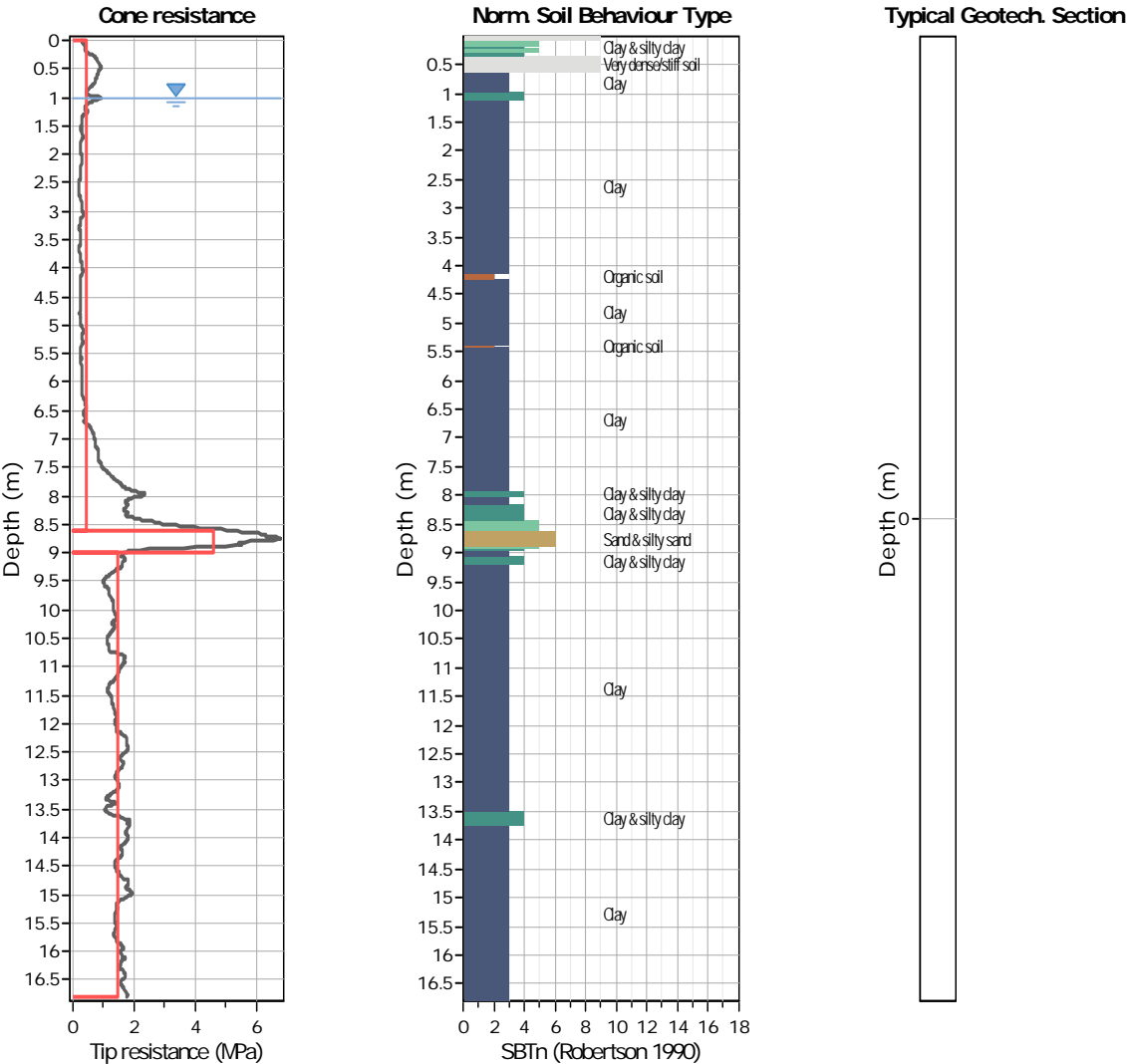
Project: Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica

Location: Fotovoltaico Bando di Argenta (FE)

CPT: CPTU 03

Total depth: 16.80 m





Tabular results

| | | |
|--|--|----------------------------------|
| ::: Layer No: 1 ::: | | |
| Code: 1 | Start depth: 0.00 (m), End depth: 8.60 (m) | |
| Description: Argilla e argilla limosa intervallata da livelli centimetrici di torba e/o argilla organica | | |
| | | |
| Basic results | Estimation results | |
| Total cone resistance: 0.42 ±0.65 MPa | Permeability: 0.00E+00 ±3.01E-07 m/s | Constrained Mod.: 2.88 ±9.57 MPa |
| Sleeve friction: 16.22 ±24.60 kPa | N60: 2.20 ±2.38 blows | Go: 15.60 ±13.10 MPa |
| SBT _n : 3 | Es: 11.43 ±10.92 MPa | Su: 23.38 ±33.60 kPa |
| SBT _n description: Clay | Dr (%): 0.00 ±0.00 | Su ratio: 0.74 ±1.59 |
| | φ (degrees): 0.00 ±0.00 ° | O.C.R.: 3.40 ±7.36 |
| | Unit weight: 15.86 ±1.27 kN/m³ | |

.: Layer No: 2 .:

Code: 2 **Start depth:** 8.60 (m), **End depth:** 9.00 (m)**Description:** Sabbia e sabbia limosa**Basic results**

Total cone resistance: 4.57 ±1.70 MPa

Sleeve friction: 33.55 ±17.52 kPa

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

Permeability: 5.90E-06 ±2.52E-05 m/s

N60: 12.60 ±2.49 blows

Es: 41.91 ±2.57 MPa

Dr (%): 44.78 ±3.98

φ (degrees): 37.90 ±0.92 °

Unit weight: 17.61 ±0.35 kN/m³

Constrained Mod.: 45.69 ±11.28 MPa

Go: 52.12 ±3.13 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

.: Layer No: 3 .:

Code: 3 **Start depth:** 9.00 (m), **End depth:** 16.80 (m)**Description:** Argilla e argilla limosa**Basic results**

Total cone resistance: 1.45 ±0.21 MPa

Sleeve friction: 77.22 ±21.85 kPa

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

Permeability: 0.00E+00 ±1.05E-08 m/s

N60: 8.02 ±1.20 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 18.13 ±0.45 kN/m³

Constrained Mod.: 15.10 ±3.92 MPa

Go: 56.66 ±9.76 MPa

Su: 88.05 ±14.15 kPa

Su ratio: 0.92 ±0.21

O.C.R.: 4.26 ±0.98

Project: Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica

Location: Fotovoltaico Bando di Argenta (FE)

CPT: CPTU 03

Total depth: 16.80 m, Date: 23/11/2024

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 | 8.60 | 0.00E+00 | 2.2 | 11.4 | 0.0 | 0.0 | 2.9 | 15.6 | 23.4 | 0.7 | 3.4 | 15.9 |
| 8.60 | | (±3.01E-07) | (±2.4) | (±10.9) | (±0.0) | (±0.0) | (±9.6) | (±13.1) | (±33.6) | (±1.6) | (±7.4) | (±1.3) |
| 8.60 | 0.40 | 5.90E-06 | 12.6 | 41.9 | 44.8 | 37.9 | 45.7 | 52.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.6 |
| 9.00 | | (±2.52E-05) | (±2.5) | (±2.6) | (±4.0) | (±0.9) | (±11.3) | (±3.1) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.4) |
| 9.00 | 7.80 | 0.00E+00 | 8.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 15.1 | 56.7 | 88.0 | 0.9 | 4.3 | 18.1 |
| 16.80 | | (±1.05E-08) | (±1.2) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) | (±3.9) | (±9.8) | (±14.2) | (±0.2) | (±1.0) | (±0.4) |

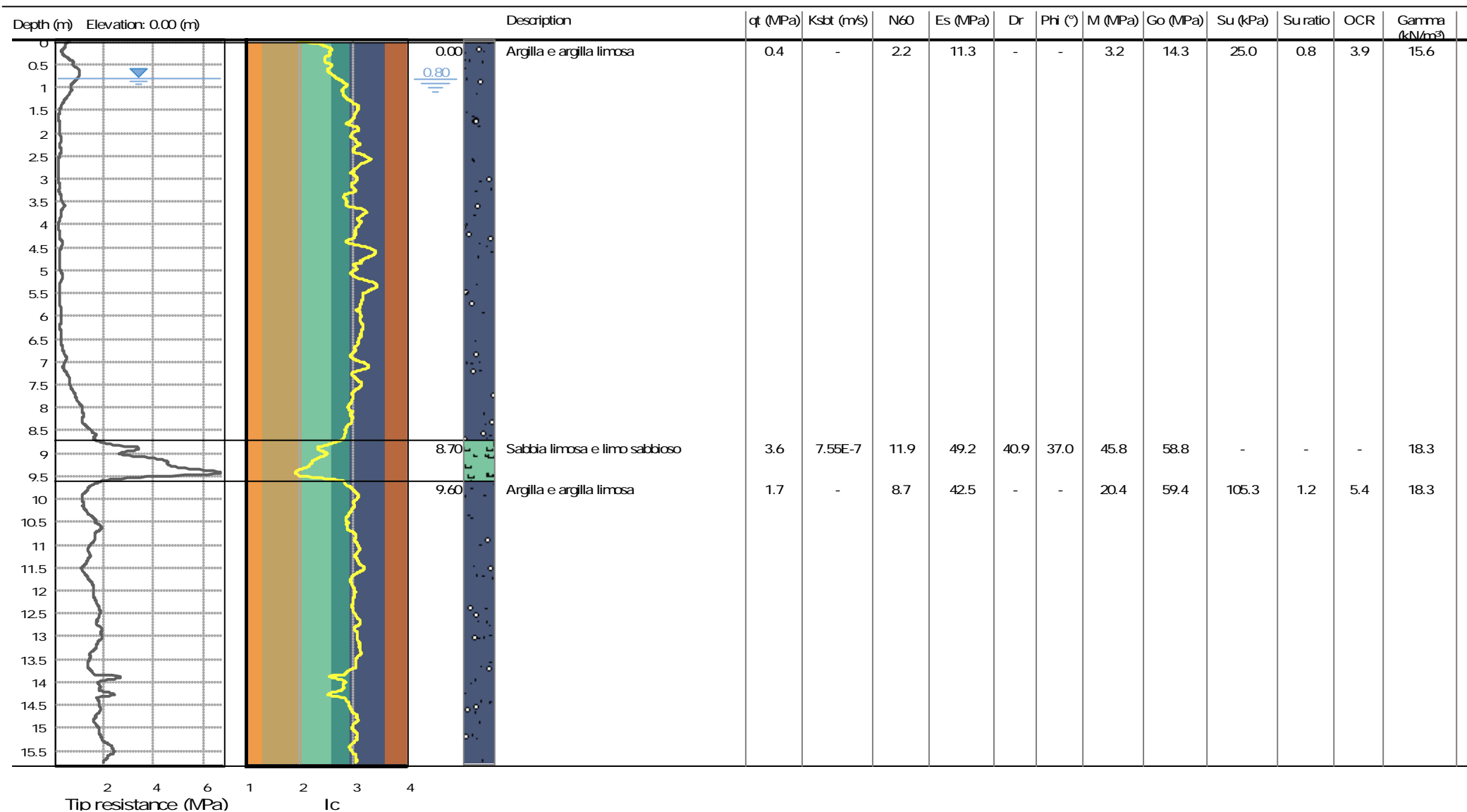
Depth values presented in this table are measured from free ground surface

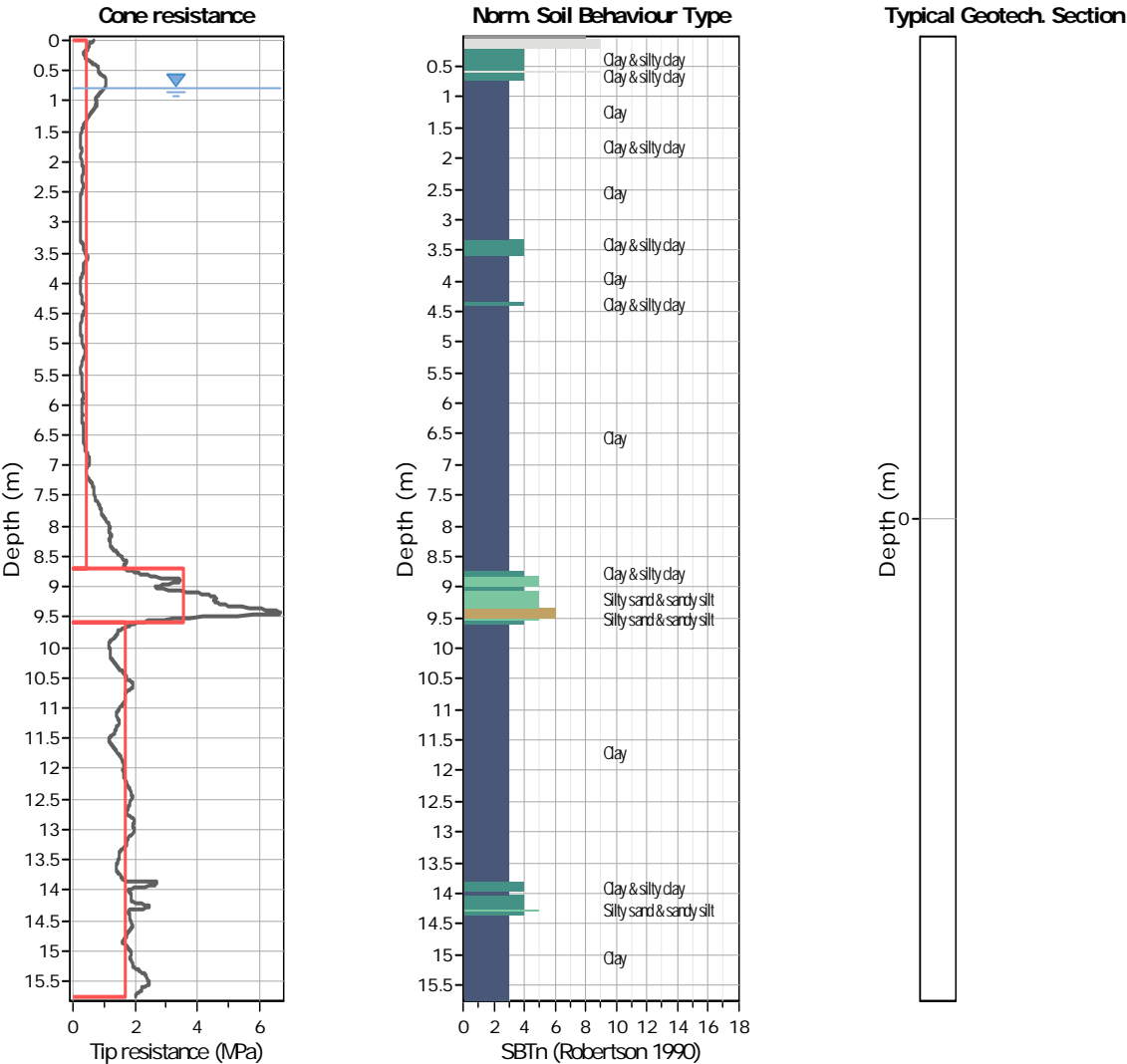
Project: Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica

Location: Fotovoltaico Bando di Argenta (FE)

CPT: CPTU 04

Total depth: 15.76 m





Tabular results

| | | |
|---------------------------------------|--|----------------------------------|
| ::: Layer No: 1 ::: | | |
| Code: 1 | Start depth: 0.00 (m), End depth: 8.70 (m) | |
| Description: Argilla e argilla limosa | | |
| | | |
| Basic results | Estimation results | |
| Total cone resistance: 0.42 ±0.35 MPa | Permeability: 0.00E+00 ±3.22E-07 m/s | Constrained Mod.: 3.21 ±5.53 MPa |
| Sleeve friction: 12.81 ±24.89 kPa | N60: 2.16 ±1.66 blows | Go: 14.27 ±10.80 MPa |
| SBT _n : 3 | Es: 11.29 ±4.67 MPa | Su: 25.05 ±24.43 kPa |
| SBT _n description: Clay | Dr (%): 0.00 ±0.00 | Su ratio: 0.84 ±1.74 |
| | φ (degrees): 0.00 ±0.00 ° | O.C.R.: 3.89 ±8.03 |
| | Unit weight: 15.60 ±1.38 kN/m³ | |

::: Layer No: 2 :::**Code:** 2 **Start depth:** 8.70 (m), **End depth:** 9.60 (m)**Description:** Sabbia limosa e limo sabbioso**Basic results**

Total cone resistance: 3.59 ±1.43 MPa

Sleeve friction: 65.79 ±13.46 kPa

SBT_n: 5SBT_n description: Silty sand & sandy silt**Estimation results**

Permeability: 7.55E-07 ±4.07E-06 m/s

N60: 11.92 ±2.71 blows

Es: 49.22 ±4.73 MPa

Dr (%): 40.88 ±4.73

φ (degrees): 37.02 ±1.10 °

Unit weight: 18.29 ±0.26 kN/m³

Constrained Mod.: 45.77 ±14.77 MPa

Go: 58.83 ±6.99 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

::: Layer No: 3 :::**Code:** 3 **Start depth:** 9.60 (m), **End depth:** 15.76 (m)**Description:** Argilla e argilla limosa**Basic results**

Total cone resistance: 1.68 ±0.31 MPa

Sleeve friction: 83.43 ±30.53 kPa

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

Permeability: 0.00E+00 ±2.34E-08 m/s

N60: 8.72 ±1.45 blows

Es: 42.54 ±3.95 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 18.28 ±0.44 kN/m³

Constrained Mod.: 20.36 ±4.34 MPa

Go: 59.39 ±10.74 MPa

Su: 105.27 ±20.43 kPa

Su ratio: 1.16 ±0.20

O.C.R.: 5.38 ±0.93

Project: Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica

CPT: CPTU 04

Location: Fotovoltaico Bando di Argenta (FE)

Total depth: 15.76 m, Date: 23/11/2024

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 | 8.70 | 0.00E+00 | 2.2 | 11.3 | 0.0 | 0.0 | 3.2 | 14.3 | 25.0 | 0.8 | 3.9 | 15.6 |
| 8.70 | | (±3.22E-07) | (±1.7) | (±4.7) | (±0.0) | (±0.0) | (±5.5) | (±10.8) | (±24.4) | (±1.7) | (±8.0) | (±1.4) |
| 8.70 | 0.90 | 7.55E-07 | 11.9 | 49.2 | 40.9 | 37.0 | 45.8 | 58.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 18.3 |
| 9.60 | | (±4.07E-06) | (±2.7) | (±4.7) | (±4.7) | (±1.1) | (±14.8) | (±7.0) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.3) |
| 9.60 | 6.16 | 0.00E+00 | 8.7 | 42.5 | 0.0 | 0.0 | 20.4 | 59.4 | 105.3 | 1.2 | 5.4 | 18.3 |
| 15.76 | | (±2.34E-08) | (±1.5) | (±3.9) | (±0.0) | (±0.0) | (±4.3) | (±10.7) | (±20.4) | (±0.2) | (±0.9) | (±0.4) |

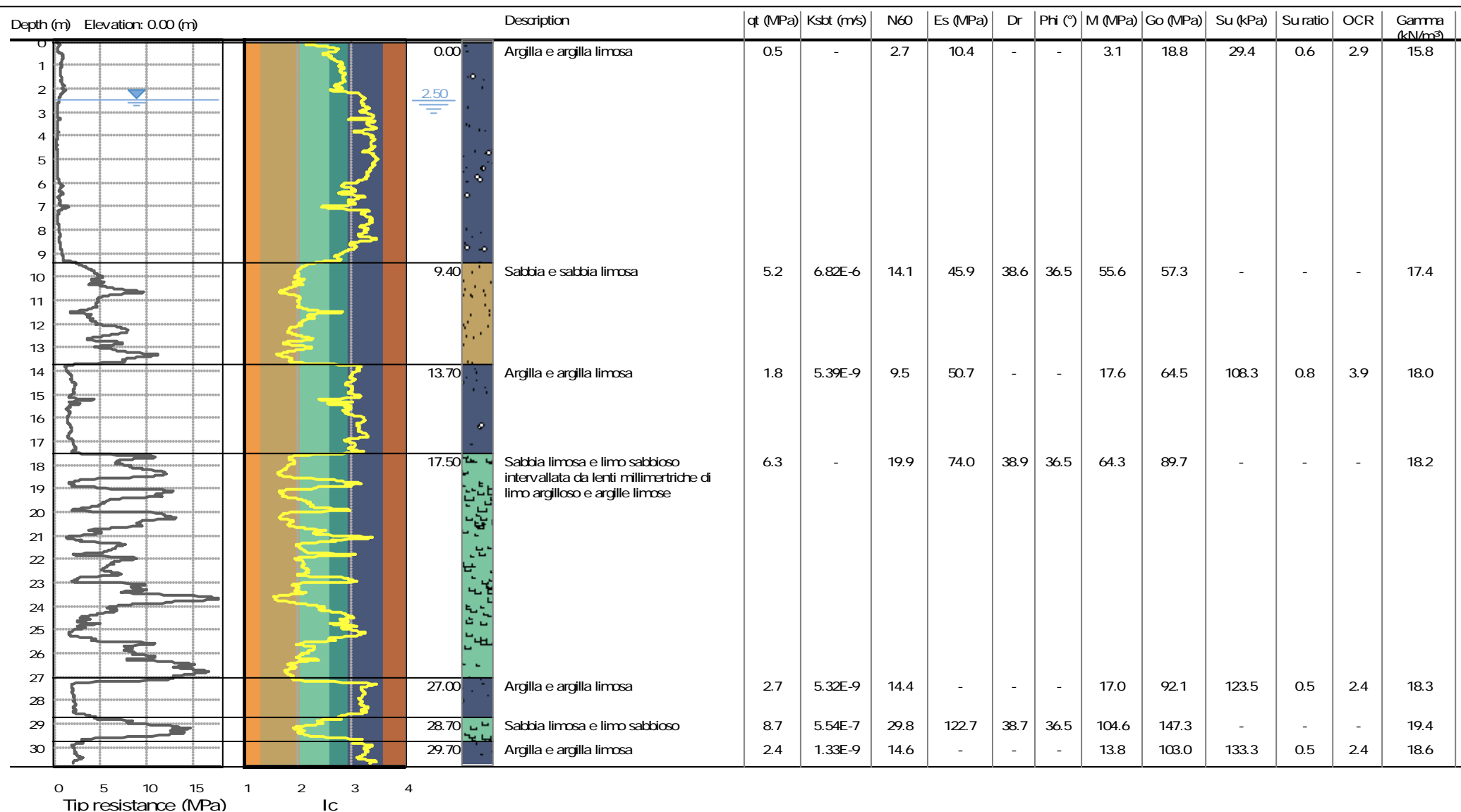
Depth values presented in this table are measured from free ground surface

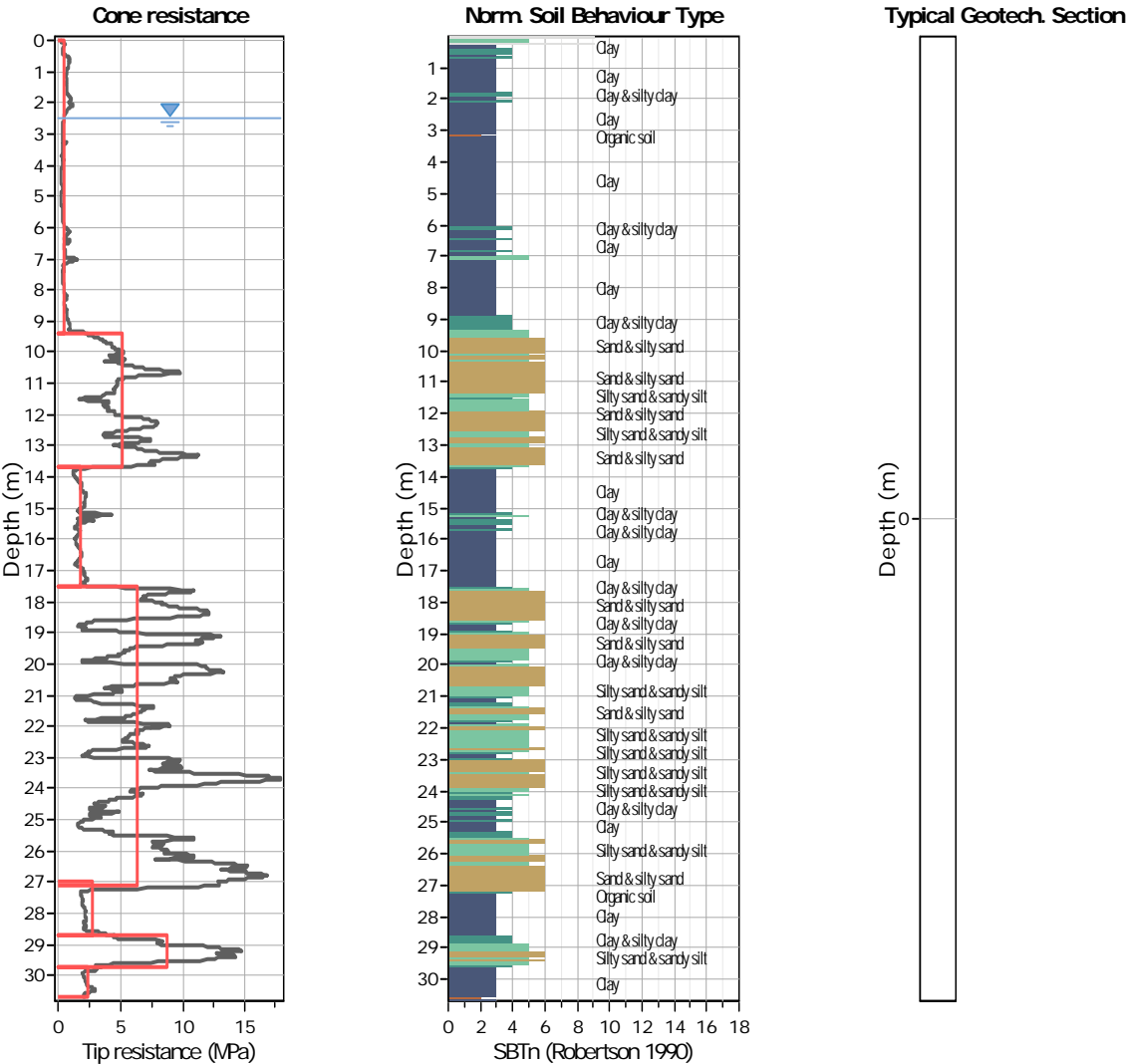
Project: Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica

Location: Fotovoltaico Bando di Argenta (FE)

CPT: SCPTU 01

Total depth: 30.68 m





Tabular results

| | | |
|---------------------------------------|--|----------------------------------|
| ::: Layer No: 1 ::: | | |
| Code: 1 | Start depth: 0.00 (m), End depth: 9.40 (m) | |
| Description: Argilla e argilla limosa | | |
| | | |
| Basic results | Estimation results | |
| Total cone resistance: 0.51 ±0.28 MPa | Permeability: 0.00E+00 ±2.11E-07 m/s | Constrained Mod.: 3.10 ±4.94 MPa |
| Sleeve friction: 14.85 ±16.22 kPa | N60: 2.74 ±0.99 blows | Go: 18.80 ±5.42 MPa |
| SBT _n : 3 | Es: 10.44 ±5.50 MPa | Su: 29.36 ±16.84 kPa |
| SBT _n description: Clay | Dr (%): 0.00 ±0.00 | Su ratio: 0.64 ±1.30 |
| | φ (degrees): 0.00 ±0.00 ° | O.C.R.: 2.94 ±6.02 |
| | Unit weight: 15.83 ±0.90 kN/m³ | |

::: Layer No: 2 :::**Code:** 2 **Start depth:** 9.40 (m), **End depth:** 13.70 (m)**Description:** Sabbia e sabbia limosa**Basic results**

Total cone resistance: 5.18 ±2.00 MPa

Sleeve friction: 27.71 ±10.35 kPa

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

Permeability: 6.82E-06 ±2.07E-05 m/s

N60: 14.09 ±3.69 blows

Es: 45.92 ±8.27 MPa

Dr (%): 38.58 ±6.24

φ (degrees): 36.45 ±1.50 °

Unit weight: 17.44 ±0.47 kN/m³

Constrained Mod.: 55.62 ±11.72 MPa

Go: 57.34 ±10.36 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

::: Layer No: 3 :::**Code:** 3 **Start depth:** 13.70 (m), **End depth:** 17.50 (m)**Description:** Argilla e argilla limosa**Basic results**

Total cone resistance: 1.80 ±0.44 MPa

Sleeve friction: 66.89 ±26.99 kPa

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

Permeability: 5.39E-09 ±5.26E-08 m/s

N60: 9.49 ±1.60 blows

Es: 50.68 ±5.24 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 18.05 ±0.52 kN/m³

Constrained Mod.: 17.59 ±8.28 MPa

Go: 64.51 ±11.05 MPa

Su: 108.26 ±25.50 kPa

Su ratio: 0.84 ±0.21

O.C.R.: 3.87 ±0.95

::: Layer No: 4 :::**Code:** 4 **Start depth:** 17.50 (m), **End depth:** 27.10 (m)**Description:** Sabbia limosa e limo sabbioso intervallata da lenti millimetriche di limo argilloso e argille limose**Basic results**

Total cone resistance: 6.33 ±4.14 MPa

Sleeve friction: 50.36 ±36.34 kPa

SBT_n: 5SBT_n description: Silty sand & sandy silt**Estimation results**

Permeability: 0.00E+00 ±3.00E-05 m/s

N60: 19.95 ±7.52 blows

Es: 74.00 ±17.66 MPa

Dr (%): 38.94 ±8.13

φ (degrees): 36.52 ±1.97 °

Unit weight: 18.21 ±0.66 kN/m³

Constrained Mod.: 64.27 ±36.34 MPa

Go: 89.70 ±23.69 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

::: Layer No: 5 :::**Code:** 5 **Start depth:** 27.00 (m), **End depth:** 28.70 (m)**Description:** Argilla e argilla limosa**Basic results**

Total cone resistance: 2.72 ±3.23 MPa

Sleeve friction: 73.59 ±15.62 kPa

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

Permeability: 5.32E-09 ±3.90E-06 m/s

N60: 14.38 ±6.15 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 18.32 ±0.34 kN/m³

Constrained Mod.: 16.98 ±37.72 MPa

Go: 92.14 ±13.97 MPa

Su: 123.46 ±37.50 kPa

Su ratio: 0.53 ±0.16

O.C.R.: 2.45 ±0.73

::: Layer No: 6 :::**Code:** 6 **Start depth:** 28.70 (m), **End depth:** 29.70 (m)**Description:** Sabbia limosa e limo sabbioso**Basic results**

Total cone resistance: 8.70 ±3.90 MPa

Sleeve friction: 130.94 ±22.71 kPa

SBT_n: 5SBT_n description: Silty sand & sandy silt**Estimation results**

Permeability: 5.54E-07 ±4.31E-06 m/s

N60: 29.85 ±7.01 blows

Es: 122.66 ±6.95 MPa

Dr (%): 38.72 ±5.50

φ (degrees): 36.49 ±1.40 °

Unit weight: 19.43 ±0.24 kN/m³

Constrained Mod.: 104.59 ±44.81 MPa

Go: 147.26 ±13.44 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

::: Layer No: 7 :::**Code:** 7 **Start depth:** 29.70 (m), **End depth:** 30.68 (m)**Description:** Argilla e argilla limosa**Basic results**

Total cone resistance: 2.40 ±0.40 MPa

Sleeve friction: 99.48 ±20.56 kPa

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

Permeability: 1.33E-09 ±1.29E-09 m/s

N60: 14.55 ±1.54 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 18.62 ±0.26 kN/m³

Constrained Mod.: 13.76 ±6.82 MPa

Go: 103.04 ±10.04 MPa

Su: 133.33 ±29.02 kPa

Su ratio: 0.53 ±0.12

O.C.R.: 2.43 ±0.54

Project: Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica

Location: Fotovoltaico Bando di Argenta (FE)

CPT: SCPTU 01

Total depth: 30.68 m, Date: 23/11/2024

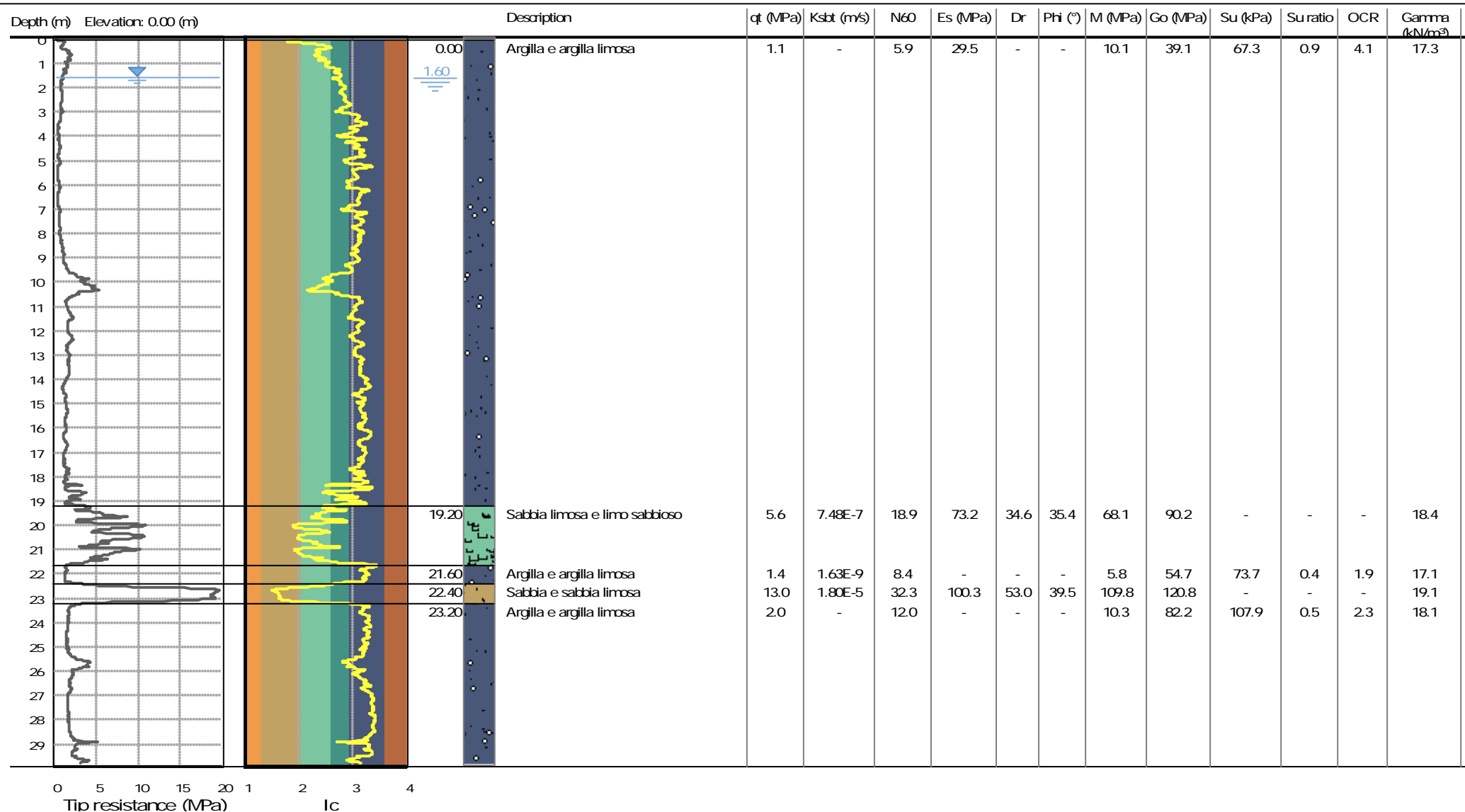
Summary table of mean values

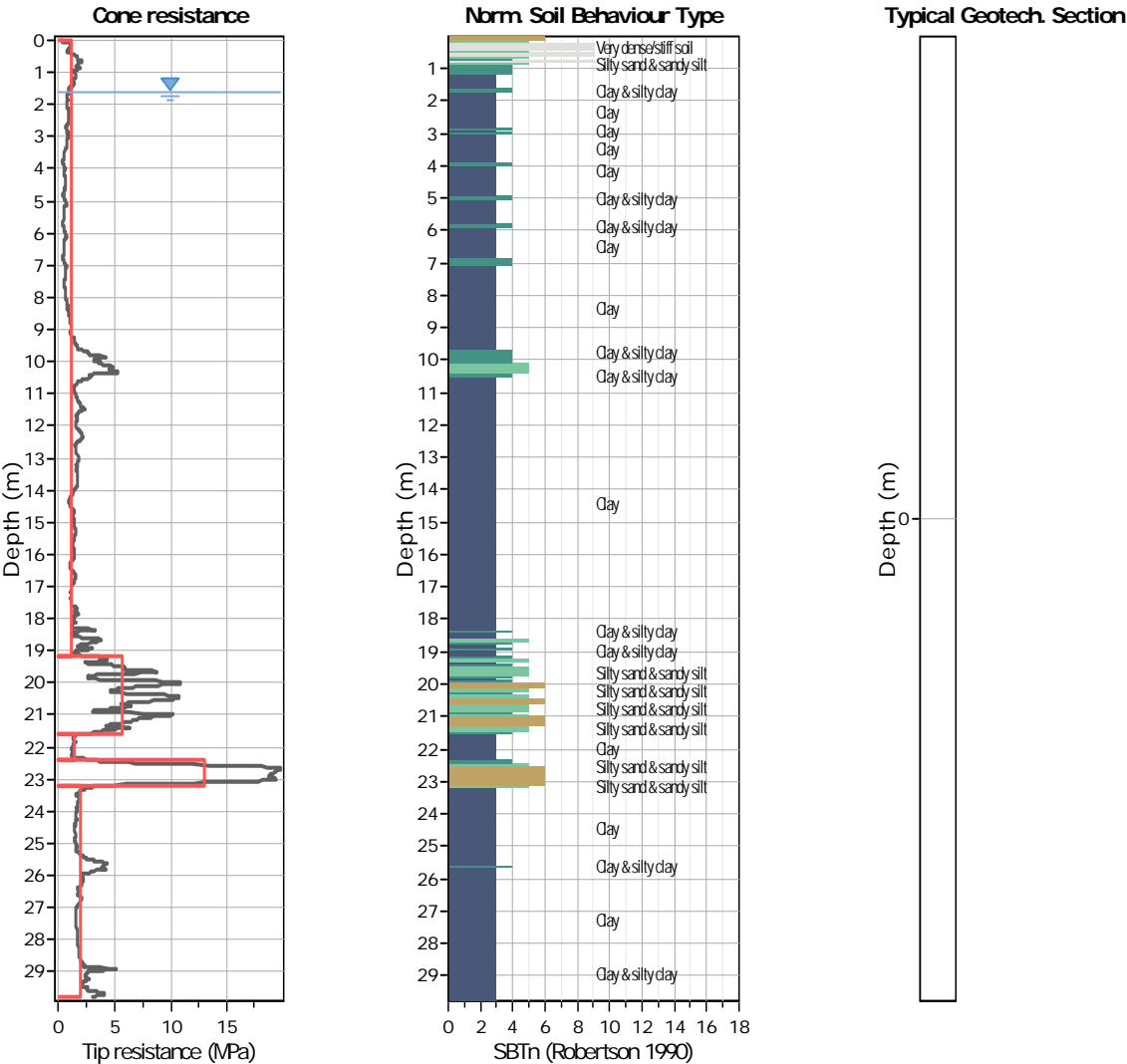
| From depth To depth (m) | Thickness (m) | Permeability (m/s) | SPT _{N60} (blows/30cm) | E _s (MPa) | D _r | Friction angle | Constrained modulus, M (MPa) | Shear modulus, G ₀ (MPa) | Undrained strength, S _u (kPa) | Undrained strength ratio | OCR | Unit weight (kN/m ³) |
|-------------------------------|------------------|-----------------------|------------------------------------|-------------------------|----------------|-------------------|------------------------------------|---|--|--------------------------------|--------|-------------------------------------|
| 0.00 | 9.40 | 0.00E+00 | 2.7 | 10.4 | 0.0 | 0.0 | 3.1 | 18.8 | 29.4 | 0.6 | 2.9 | 15.8 |
| 9.40 | | (±2.11E-07) | (±1.0) | (±5.5) | (±0.0) | (±0.0) | (±4.9) | (±5.4) | (±16.8) | (±1.3) | (±6.0) | (±0.9) |
| 9.40 | 4.30 | 6.82E-06 | 14.1 | 45.9 | 38.6 | 36.5 | 55.6 | 57.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.4 |
| 13.70 | | (±2.07E-05) | (±3.7) | (±8.3) | (±6.2) | (±1.5) | (±11.7) | (±10.4) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.5) |
| 13.70 | 3.80 | 5.39E-09 | 9.5 | 50.7 | 0.0 | 0.0 | 17.6 | 64.5 | 108.3 | 0.8 | 3.9 | 18.0 |
| 17.50 | | (±5.26E-08) | (±1.6) | (±5.2) | (±0.0) | (±0.0) | (±8.3) | (±11.1) | (±25.5) | (±0.2) | (±1.0) | (±0.5) |
| 17.50 | 9.60 | 0.00E+00 | 19.9 | 74.0 | 38.9 | 36.5 | 64.3 | 89.7 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 18.2 |
| 27.10 | | (±3.00E-05) | (±7.5) | (±17.7) | (±8.1) | (±2.0) | (±36.3) | (±23.7) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.7) |
| 27.00 | 1.70 | 5.32E-09 | 14.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 17.0 | 92.1 | 123.5 | 0.5 | 2.4 | 18.3 |
| 28.70 | | (±3.90E-06) | (±6.1) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) | (±37.7) | (±14.0) | (±37.5) | (±0.2) | (±0.7) | (±0.3) |
| 28.70 | 1.00 | 5.54E-07 | 29.8 | 122.7 | 38.7 | 36.5 | 104.6 | 147.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 19.4 |
| 29.70 | | (±4.31E-06) | (±7.0) | (±6.9) | (±5.5) | (±1.4) | (±44.8) | (±13.4) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.2) |
| 29.70 | 0.98 | 1.33E-09 | 14.6 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 13.8 | 103.0 | 133.3 | 0.5 | 2.4 | 18.6 |
| 30.68 | | (±1.29E-09) | (±1.5) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) | (±6.8) | (±10.0) | (±29.0) | (±0.1) | (±0.5) | (±0.3) |

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

Project: Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica

Location: Fotovoltaico Bando di Argenta (FE)





Tabular results

| | | |
|---------------------------------------|---|------------------------------------|
| ::: Layer No: 1 ::: | | |
| Code: 1 | Start depth: 0.00 (m), End depth: 19.20 (m) | |
| Description: Argilla e argilla limosa | | |
| | | |
| Basic results | Estimation results | |
| Total cone resistance: 1.14 ±0.78 MPa | Permeability: 0.00E+00 ±1.68E-06 m/s | Constrained Mod.: 10.14 ±11.74 MPa |
| Sleeve friction: 41.43 ±37.49 kPa | N60: 5.89 ±3.19 blows | Go: 39.10 ±20.87 MPa |
| SBT _n : 3 | Es: 29.48 ±17.21 MPa | Su: 67.32 ±42.47 kPa |
| SBT _n description: Clay | Dr (%): 0.00 ±0.00 | Su ratio: 0.90 ±1.26 |
| | φ (degrees): 0.00 ±0.00 ° | O.C.R.: 4.14 ±5.80 |
| | Unit weight: 17.32 ±1.10 kN/m³ | |

:: Layer No: 2 ::

Code: 2 **Start depth:** 19.20 (m), **End depth:** 21.60 (m)**Description:** Sabbia limosa e limo sabbioso**Basic results**

Total cone resistance: 5.64 ±2.42 MPa

Sleeve friction: 60.16 ±26.05 kPa

SBT_n: 5SBT_n description: Silty sand & sandy silt**Estimation results**

Permeability: 7.48E-07 ±4.80E-06 m/s

N60: 18.87 ±4.64 blows

Es: 73.17 ±12.35 MPa

Dr (%): 34.57 ±6.03

φ (degrees): 35.40 ±1.63 °

Unit weight: 18.37 ±0.53 kN/m³

Constrained Mod.: 68.08 ±25.00 MPa

Go: 90.24 ±14.29 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

:: Layer No: 3 ::

Code: 3 **Start depth:** 21.60 (m), **End depth:** 22.40 (m)**Description:** Argilla e argilla limosa**Basic results**

Total cone resistance: 1.42 ±0.35 MPa

Sleeve friction: 31.91 ±24.23 kPa

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

Permeability: 1.63E-09 ±1.52E-08 m/s

N60: 8.41 ±1.25 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.11 ±0.59 kN/m³

Constrained Mod.: 5.80 ±6.23 MPa

Go: 54.65 ±10.26 MPa

Su: 73.68 ±25.17 kPa

Su ratio: 0.40 ±0.14

O.C.R.: 1.86 ±0.64

:: Layer No: 4 ::

Code: 4 **Start depth:** 22.40 (m), **End depth:** 23.20 (m)**Description:** Sabbia e sabbia limosa**Basic results**

Total cone resistance: 12.99 ±6.03 MPa

Sleeve friction: 82.88 ±16.43 kPa

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

Permeability: 1.80E-05 ±8.18E-05 m/s

N60: 32.27 ±8.97 blows

Es: 100.31 ±7.15 MPa

Dr (%): 53.02 ±10.59

φ (degrees): 39.46 ±2.22 °

Unit weight: 19.05 ±0.39 kN/m³

Constrained Mod.: 109.77 ±28.62 MPa

Go: 120.77 ±15.28 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

:: Layer No: 5 ::

Code: 5 **Start depth:** 23.20 (m), **End depth:** 29.78 (m)**Description:** Argilla e argilla limosa**Basic results**

Total cone resistance: 1.99 ±0.69 MPa

Sleeve friction: 69.35 ±35.45 kPa

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

Permeability: 0.00E+00 ±5.31E-09 m/s

N60: 11.96 ±2.88 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 18.13 ±0.58 kN/m³

Constrained Mod.: 10.27 ±12.38 MPa

Go: 82.16 ±19.74 MPa

Su: 107.90 ±49.10 kPa

Su ratio: 0.49 ±0.22

O.C.R.: 2.27 ±1.00

Project: Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica

Location: Fotovoltaico Bando di Argenta (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 | 19.20 | 0.00E+00 | 5.9 | 29.5 | 0.0 | 0.0 | 10.1 | 39.1 | 67.3 | 0.9 | 4.1 | 17.3 |
| 19.20 | | (±1.68E-06) | (±3.2) | (±17.2) | (±0.0) | (±0.0) | (±11.7) | (±20.9) | (±42.5) | (±1.3) | (±5.8) | (±1.1) |
| 19.20 | 2.40 | 7.48E-07 | 18.9 | 73.2 | 34.6 | 35.4 | 68.1 | 90.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 18.4 |
| 21.60 | | (±4.80E-06) | (±4.6) | (±12.3) | (±6.0) | (±1.6) | (±25.0) | (±14.3) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.5) |
| 21.60 | 0.80 | 1.63E-09 | 8.4 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 5.8 | 54.7 | 73.7 | 0.4 | 1.9 | 17.1 |
| 22.40 | | (±1.52E-08) | (±1.2) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) | (±6.2) | (±10.3) | (±25.2) | (±0.1) | (±0.6) | (±0.6) |
| 22.40 | 0.80 | 1.80E-05 | 32.3 | 100.3 | 53.0 | 39.5 | 109.8 | 120.8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 19.1 |
| 23.20 | | (±8.18E-05) | (±9.0) | (±7.2) | (±10.6) | (±2.2) | (±28.6) | (±15.3) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.4) |
| 23.20 | 6.58 | 0.00E+00 | 12.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 10.3 | 82.2 | 107.9 | 0.5 | 2.3 | 18.1 |
| 29.78 | | (±5.31E-09) | (±2.9) | (±0.0) | (±0.0) | (±0.0) | (±12.4) | (±19.7) | (±49.1) | (±0.2) | (±1.0) | (±0.6) |

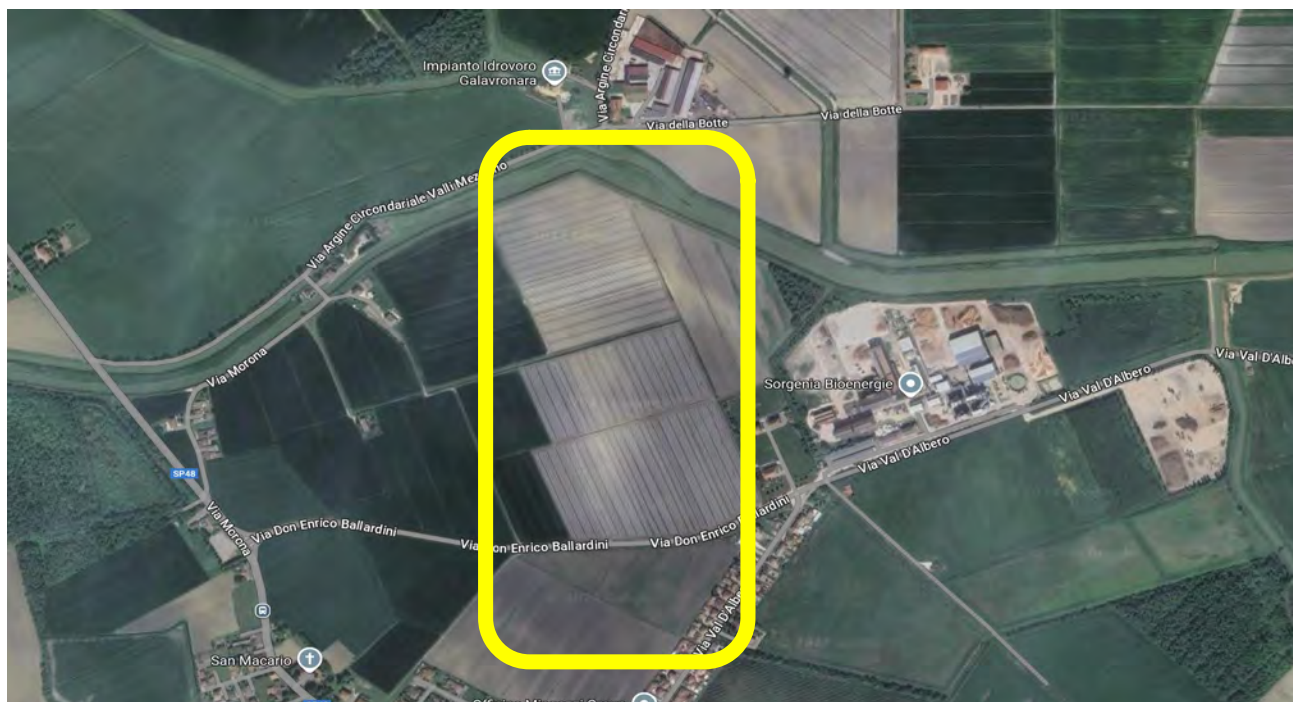
Depth values presented in this table are measured from free ground surface



of counsel
Studio Stefano Maglia
Consulenze Legali Ambientali

ALLEGATO 2

COMMITTENTE:



REPORT TECNICO

Oggetto: Report Tecnico registrazioni HVSR

Località: Territorio Comunale di Argenta – Località Bando, Via don Enrico Ballardini

Contratto:

Riferimento ODL:

Data emissione documento:

Novembre 2024

INDICE GENERALE

| | | |
|-----|---|---|
| 1 | PREMESSA..... | 3 |
| 2 | DESCRIZIONE GENERALE DELLA PROCEDURA HVSR..... | 4 |
| 2.1 | ANALISI DEI MICROTREMORI A STAZIONE SINGOLA (HVSR)..... | 4 |
| 2.2 | STRUMENTAZIONE E METODOLOGIA DI INDAGINE..... | 4 |
| 3 | RISULTATI DELL'INDAGINE SISMICA..... | 5 |
| 3.1 | DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA DELLA PROVA HVSR..... | 5 |
| 3.2 | TRACCIATI SISMICI DELLA PROVA HVSR..... | 5 |
| 3.3 | <i>CURVA DEL RAPPORTO h/v PROVA HVSR</i> | 6 |
| 3.4 | ANALISI DEL PROFILO DELLE VELOCITA'..... | 7 |
| 3.5 | DETERMINAZIONE DELLE VS30 E DELLA CATEGORIA DI SUOLO..... | 9 |
| 4 | CONCLUSIONI..... | 9 |

1 PREMESSA

La scrivente SGM GEOLOGIA e AMBIENTE Srl ha eseguito in data 15 Novembre 2024 un'indagine sismica di analisi dei microtremori mediante il metodo di Nakamura, nel territorio comunale di Argenta (FE) presso appezzamento di terreno ubicato a nord di Via don Enrico Ballaradini in località Bando.

L'indagine è consistita nell'esecuzione di n°1 analisi HVSR per l'individuazione delle frequenze di risonanza del sito in esame e per la determinazione del profilo verticale delle onde di taglio e del valore V_{seq} , necessario per la classificazione dei terreni di fondazione degli interventi in progetto nelle categorie di suolo descritte al paragrafo 3.2.2 delle N.T.C. 2018 "D.M. 17 del 17/01/2018".

Le registrazioni effettuate sono state ubicate come da tabella seguente:

| Nome | data | SR riferimento | X Cord | Y Cord |
|------|------------|----------------|----------|-----------|
| HVSR | 15/11/2024 | WGS84-UTM32N | 728883,6 | 4948132,6 |



Figura 1 – ubicazione registrazioni HVSR

2 DESCRIZIONE GENERALE DELLA PROCEDURA HVSR

2.1 ANALISI DEI MICROTREMORI A STAZIONE SINGOLA (HVSR)

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) consiste nel misurare direttamente, sfruttando il rumore di fondo ambientale (microtremori), le frequenze di risonanza degli edifici e dei terreni costituenti il sottosuolo, allo scopo di stimare gli effetti di sito e la vulnerabilità sismica dell'opera. Per rumore ambientale di fondo s'intende l'insieme delle vibrazioni che si propagano nel terreno dovute sia a fenomeni naturali, moto ondoso, perturbazioni atmosferiche, ecc., sia all'azione antropica, traffico veicolare, macchinari, ecc.. Si è riconosciuto, a partire dagli anni settanta, che i microtremori tendono a eccitare le frequenze naturali di oscillazione dei terreni, permettendone l'individuazione. In pratica ciò che viene misurato sono, in certo intervallo di frequenze, solitamente 0.1-100 Hz, le velocità dei microtremori lungo il piano orizzontale e verticale (H e V) e il rapporto fra le due componenti (H/V). I valori di massimo locale (picchi positivi) di H/V ai quali corrispondono minimi locali di V individuano le frequenze di risonanza degli strati di terreno lungo la verticale di misura. Più elevato è il valore del rapporto H/V maggiore è il contrasto di impedenza sismica e quindi la variazione di velocità delle onde S fra livelli stratigrafici contigui. La tecnica HVSR richiede l'utilizzo di un velocimetro triassiale, cioè di un sismometro a stazione singola in grado di registrare i microtremori lungo le due direzioni orizzontali (X, Y) e lungo quella verticale (Z), in un ampio intervallo di frequenze (0.1-100 Hz) e per una durata sufficientemente lunga (mediamente 10-20 minuti). Il moto indotto nel terreno viene misurato in termini di velocità attraverso tre velocimetri, uno per ogni direzione di misura (X, Y e Z), secondo il passo di campionamento impostato dall'operatore. Le misure registrate vengono poi elaborate e restituite graficamente in forma di spettri H/V (rapporto H/V in funzione della frequenza, dove H è la media delle misure lungo X e Y) e spettri V (componente verticale del moto in funzione della frequenza).

2.2 STRUMENTAZIONE E METODOLOGIA DI INDAGINE

l'indagine hvsr è consistita nella registrazione continua dei microtremori. L'acquisizione è avvenuta a 300 hz.

Per l'indagine si è utilizzato un sismografo triassiale prodotto dalla SARA Electronics Instruments modello SR04 GeoBOX.

Lo strumento consiste in una terna di geofoni disposti nelle tre direzioni convenzionalmente chiamate N, E, le orizzontali e Z la verticale, i geofoni orientati nelle direzioni N ed E sono geofoni a componente orizzontale mentre quello in direzione Z ha componente verticale; la frequenza centrale dei geofoni è 4,5 Hz.

L'acquisizione viene governata da PC con apposito software dedicato.

Le caratteristiche salienti sono le seguenti:

- Convertitore analogico digitale a 24 Bit con 144db di dinamica
- frequenza di campionamento selezionabile
- alimentazione a batteria interna
- case monoblocco in alluminio IP66
- terna sensori velocimetrici da 4,5 hz
- comunicazione seriale sr232

3 RISULTATI DELL'INDAGINE SISMICA

3.1 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA DELLA PROVA HVSR



Figura 2 – dettaglio posizionamento prova HVSR

3.2 TRACCIATI SISMICI DELLA PROVA HVSR

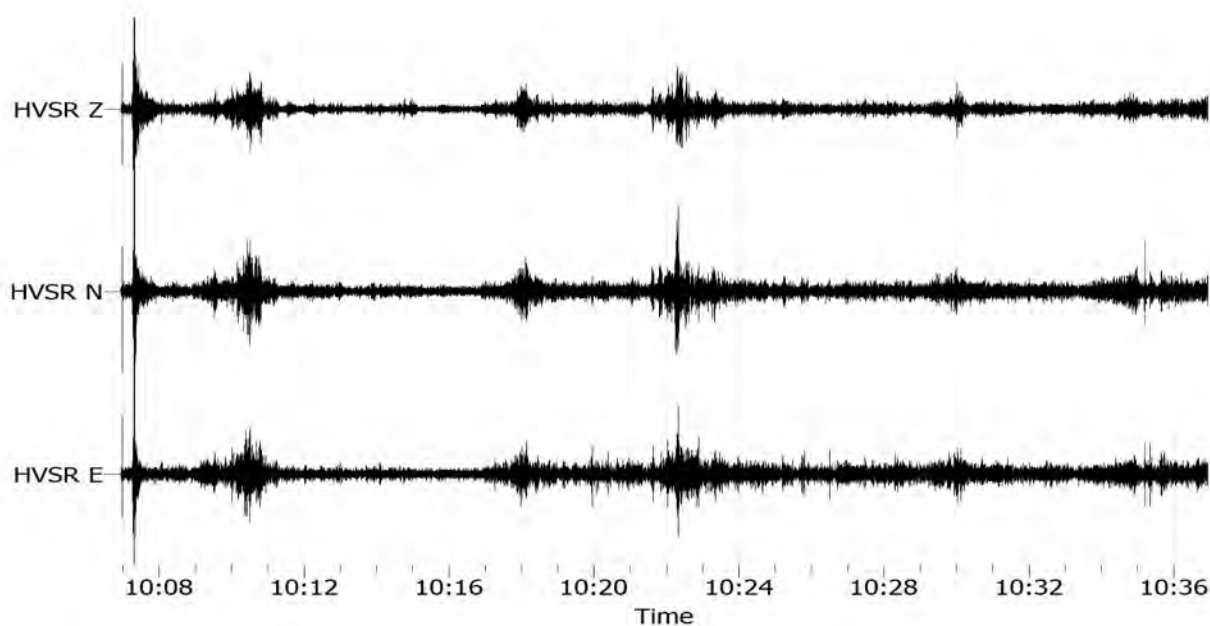


Figura 3 – tracciati sismici prova HVSR

3.3 CURVA DEL RAPPORTO h/v PROVA HVSR

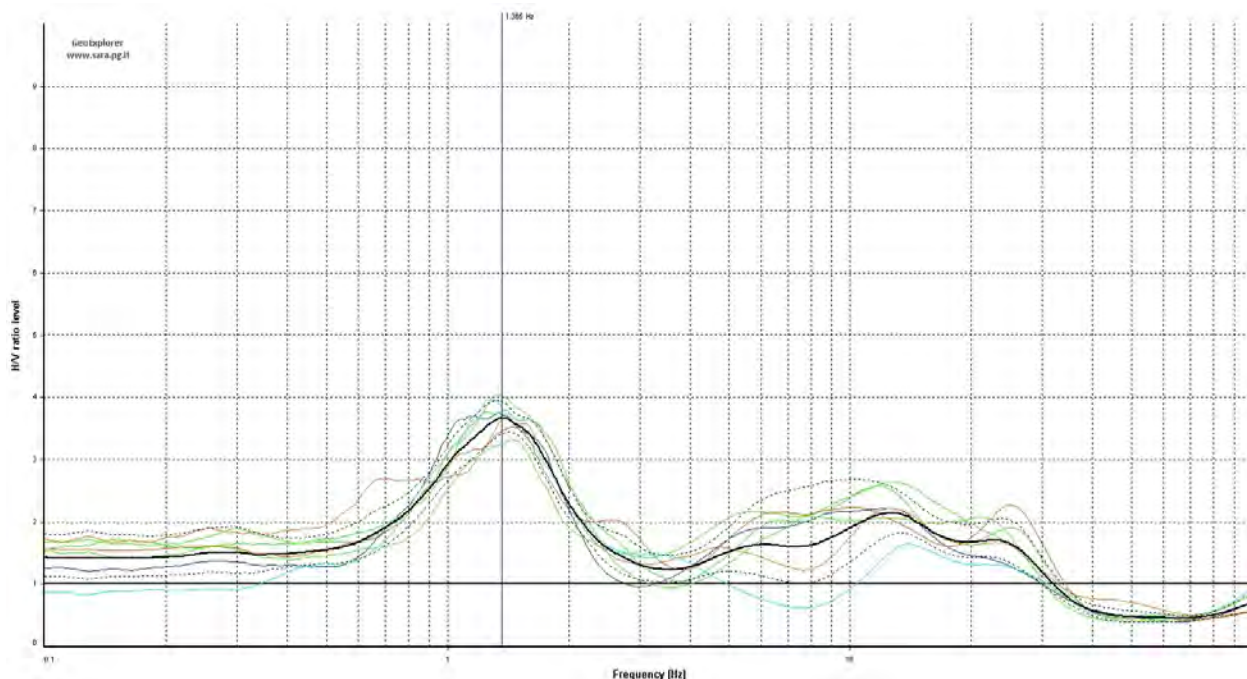


Figura 4 – Curva H/V prova HVSR

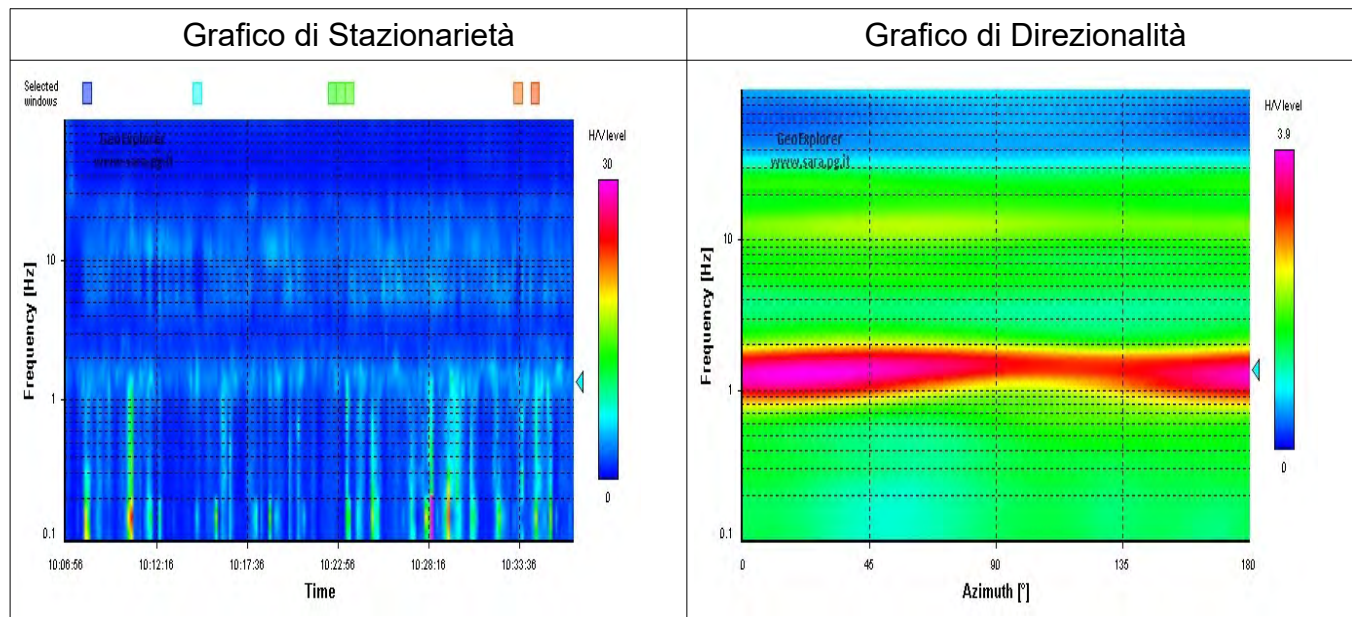


Figura 5 – Grafici di stazionarietà e direzionalità prova HVSR

| Criteri ammissibilità curva HV | |
|--------------------------------|----------|
| | Picco f0 |
| Criterio 1 | OK |
| Criterio 2 | OK |
| Criterio 3 | OK |
| Criterio 4 | OK |
| Criterio 5 | OK |
| Criterio 6 | OK |
| Criterio 7 | OK |

| Parametri | Valore |
|--------------------|-------------------|
| Finestra temporale | 20 s |
| Frequenza massima | 100 hz |
| Numero di Campioni | 40 |
| f0 | 1,36 (1,35; 1,37) |
| A0 | 3,66 (3,55; 3,99) |

3.4 ANALISI DEL PROFILO DELLE VELOCITA'

Dall'esecuzione dell'indagine sismica è emersa la seguente successione della velocità delle onde sismiche.

| Strato | h [m] | z [m] | Vs fin. [m/s] |
|----------|-------|--------|---------------|
| Strato 1 | 15,0 | -15,0 | 120 |
| Strato 2 | 25,0 | -40,0 | 240 |
| Strato 3 | 55,0 | -95,0 | 420 |
| Strato 4 | 70,0 | -165,0 | 550 |
| Strato 5 | / | -∞ | 750 |

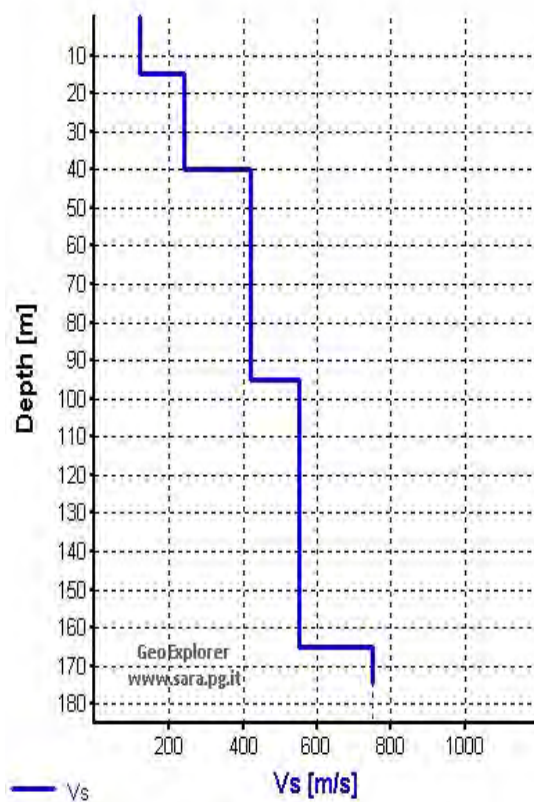


Figura 6 – Profilo verticale di velocità delle Vs

3.5 DETERMINAZIONE DELLE VS30 E DELLA CATEGORIA DI SUOLO

L'indagine sismica, considerando la sismostratigrafia fino alla profondità di -30,00 metri da p.c., ha permesso la determinazione della velocità delle V_{seq} , ricavata dalla formula riportata nel D.M. 17 del 17 Gennaio 2018 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni":

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

dove h_i e $V_{S,i}$ rappresentano rispettivamente lo spessore e la velocità di propagazione delle onde di taglio attraverso lo strato i -esimo entro 30 metri di profondità. H rappresenta la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzato da V_s non inferiore a 800 m/s.

Utilizzando la formula sopra riportata si ottiene il seguente valore:

$$\underline{V_{seq} = 160 \text{ m/s}}$$

I terreni di fondazione interessati dalla progettazione sismica, come prescritto al paragrafo 3.2.2 dal D.M. 17 Gennaio 2018, appartengono a:

suolo di fondazione di tipo D

ovvero, come definito in Tabella 3.2.II (Categorie di sottosuolo): Tipo D: Depositi di terreni a grana grossa mediamente scarsamente o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiore a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_s Equivalente compresi tra 100 m/s e 180 m/s.

4 CONCLUSIONI

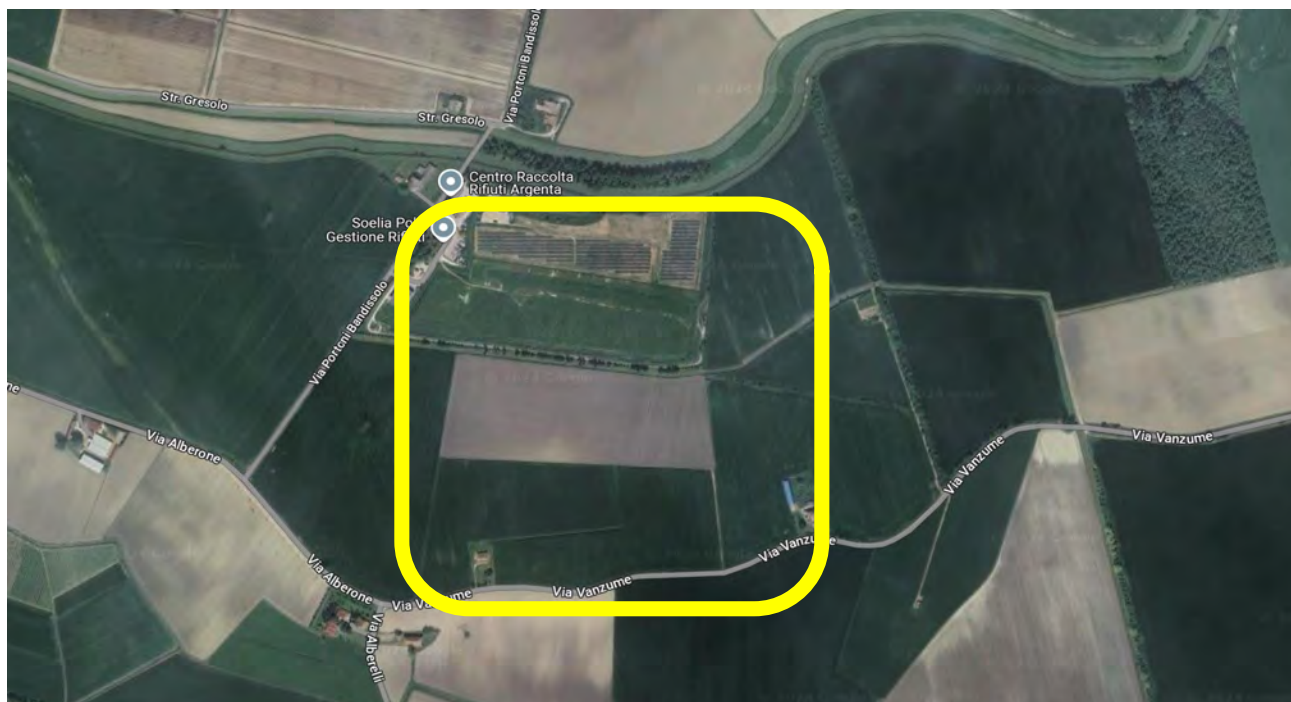
L'investigazione sismica ha permesso di individuare la velocità delle onde S nei primi 30 metri di profondità nei siti indagati. Dall'analisi ed elaborazione dei dati è emerso che la V_s Equivalente in corrispondenza delle registrazioni sismiche HVSr è tipica di suoli di tipo D.

L'analisi dei microtremori a stazione singola ha permesso di individuare alcuni picchi indice di frequenze alle quali i siti in esame potrebbero entrare in risonanza, in caso di evento sismico.

Per la prova HVSr si è individuato un picco alla frequenza f_0 di 1,36 Hz e A_0 3,66.

Si evidenzia inoltre un picco meno evidente alla frequenza di 13,23 Hz e ampiezza 2.

COMMITTENTE:



REPORT TECNICO

Oggetto: Report Tecnico registrazioni HVSR

Località: Territorio Comunale di Argenta – Via Vanzume

Contratto:

Riferimento ODL:

Data emissione documento:

Novembre 2024

INDICE GENERALE

| | | |
|-----|---|---|
| 1 | PREMESSA..... | 3 |
| 2 | DESCRIZIONE GENERALE DELLA PROCEDURA HVSR..... | 4 |
| 2.1 | ANALISI DEI MICROTREMORI A STAZIONE SINGOLA (HVSR)..... | 4 |
| 2.2 | STRUMENTAZIONE E METODOLOGIA DI INDAGINE..... | 4 |
| 3 | RISULTATI DELL'INDAGINE SISMICA..... | 5 |
| 3.1 | DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA DELLA PROVA HVSR..... | 5 |
| 3.2 | TRACCIATI SISMICI DELLA PROVA HVSR..... | 5 |
| 3.3 | <i>CURVA DEL RAPPORTO h/v PROVA HVSR</i> | 6 |
| 3.4 | ANALISI DEL PROFILO DELLE VELOCITA'..... | 7 |
| 3.5 | DETERMINAZIONE DELLE VS30 E DELLA CATEGORIA DI SUOLO..... | 9 |
| 4 | CONCLUSIONI..... | 9 |

1 PREMESSA

La scrivente SGM GEOLOGIA e AMBIENTE Srl ha eseguito in data 15 Novembre 2024 un'indagine sismica di analisi dei microtremori mediante il metodo di Nakamura, nel territorio comunale di Argenta (FE) presso appezzamento di terreno ubicato a nord di Via Vanzume.

L'indagine è consistita nell'esecuzione di n°1 analisi HVSR per l'individuazione delle frequenze di risonanza del sito in esame e per la determinazione del profilo verticale delle onde di taglio e del valore V_{seq} , necessario per la classificazione dei terreni di fondazione degli interventi in progetto nelle categorie di suolo descritte al paragrafo 3.2.2 delle N.T.C. 2018 "D.M. 17 del 17/01/2018".

Le registrazioni effettuate sono state ubicate come da tabella seguente:

| Nome | data | SR riferimento | X Cord | Y Cord |
|------|------------|----------------|----------|-----------|
| HVSR | 15/11/2024 | WGS84-UTM32N | 726497,9 | 4947562,3 |



Figura 1 – ubicazione registrazioni HVSR

2 DESCRIZIONE GENERALE DELLA PROCEDURA HVSR

2.1 ANALISI DEI MICROTREMORI A STAZIONE SINGOLA (HVSR)

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) consiste nel misurare direttamente, sfruttando il rumore di fondo ambientale (microtremori), le frequenze di risonanza degli edifici e dei terreni costituenti il sottosuolo, allo scopo di stimare gli effetti di sito e la vulnerabilità sismica dell'opera. Per rumore ambientale di fondo s'intende l'insieme delle vibrazioni che si propagano nel terreno dovute sia a fenomeni naturali, moto ondoso, perturbazioni atmosferiche, ecc., sia all'azione antropica, traffico veicolare, macchinari, ecc.. Si è riconosciuto, a partire dagli anni settanta, che i microtremori tendono a eccitare le frequenze naturali di oscillazione dei terreni, permettendone l'individuazione. In pratica ciò che viene misurato sono, in certo intervallo di frequenze, solitamente 0.1-100 Hz, le velocità dei microtremori lungo il piano orizzontale e verticale (H e V) e il rapporto fra le due componenti (H/V). I valori di massimo locale (picchi positivi) di H/V ai quali corrispondono minimi locali di V individuano le frequenze di risonanza degli strati di terreno lungo la verticale di misura. Più elevato è il valore del rapporto H/V maggiore è il contrasto di impedenza sismica e quindi la variazione di velocità delle onde S fra livelli stratigrafici contigui. La tecnica HVSR richiede l'utilizzo di un velocimetro triassiale, cioè di un sismometro a stazione singola in grado di registrare i microtremori lungo le due direzioni orizzontali (X, Y) e lungo quella verticale (Z), in un ampio intervallo di frequenze (0.1-100 Hz) e per una durata sufficientemente lunga (mediamente 10-20 minuti). Il moto indotto nel terreno viene misurato in termini di velocità attraverso tre velocimetri, uno per ogni direzione di misura (X, Y e Z), secondo il passo di campionamento impostato dall'operatore. Le misure registrate vengono poi elaborate e restituite graficamente in forma di spettri H/V (rapporto H/V in funzione della frequenza, dove H è la media delle misure lungo X e Y) e spettri V (componente verticale del moto in funzione della frequenza).

2.2 STRUMENTAZIONE E METODOLOGIA DI INDAGINE

l'indagine hvsr è consistita nella registrazione continua dei microtremori. L'acquisizione è avvenuta a 300 hz.

Per l'indagine si è utilizzato un sismografo triassiale prodotto dalla SARA Electronics Instruments modello SR04 GeoBOX.

Lo strumento consiste in una terna di geofoni disposti nelle tre direzioni convenzionalmente chiamate N, E, le orizzontali e Z la verticale, i geofoni orientati nelle direzioni N ed E sono geofoni a componente orizzontale mentre quello in direzione Z ha componente verticale; la frequenza centrale dei geofoni è 4,5 Hz.

L'acquisizione viene governata da PC con apposito software dedicato.

Le caratteristiche salienti sono le seguenti:

- Convertitore analogico digitale a 24 Bit con 144db di dinamica
- frequenza di campionamento selezionabile
- alimentazione a batteria interna
- case monoblocco in alluminio IP66
- terna sensori velocimetrici da 4,5 hz
- comunicazione seriale sr232

3 RISULTATI DELL'INDAGINE SISMICA

3.1 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA DELLA PROVA HVSR



Figura 2 – dettaglio posizionamento prova HVSR

3.2 TRACCIATI SISMICI DELLA PROVA HVSR

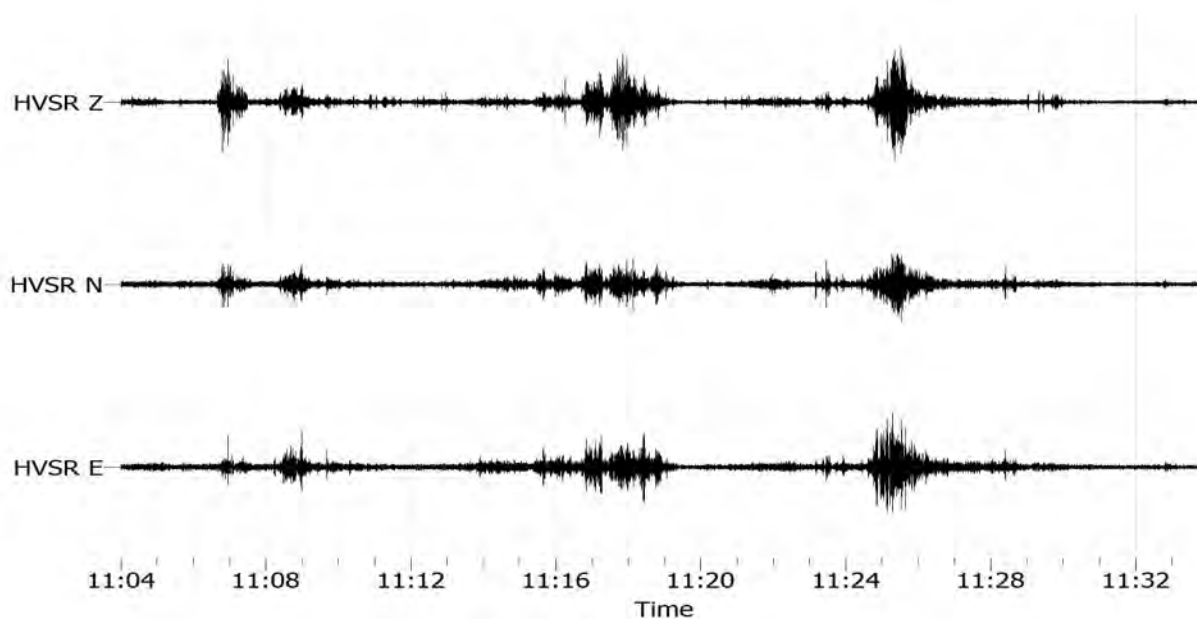


Figura 3 – tracciati sismici prova HVSR

3.3 CURVA DEL RAPPORTO h/v PROVA HVSR

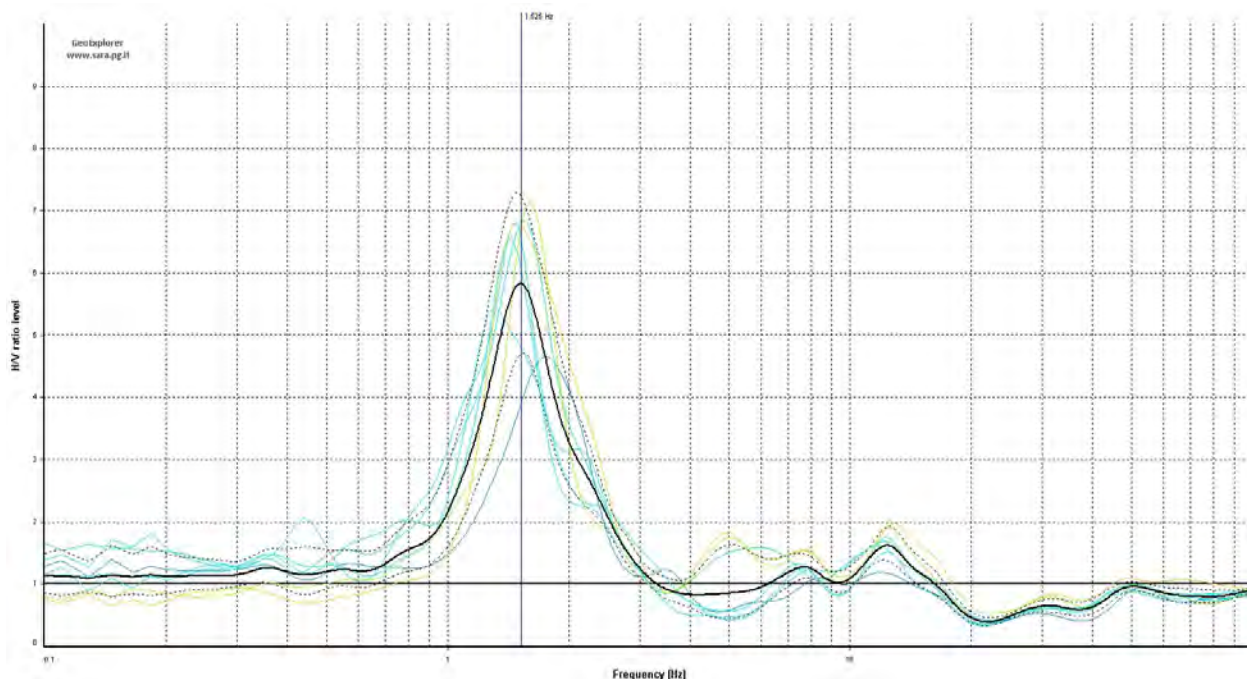


Figura 4 – Curva H/V prova HVSR

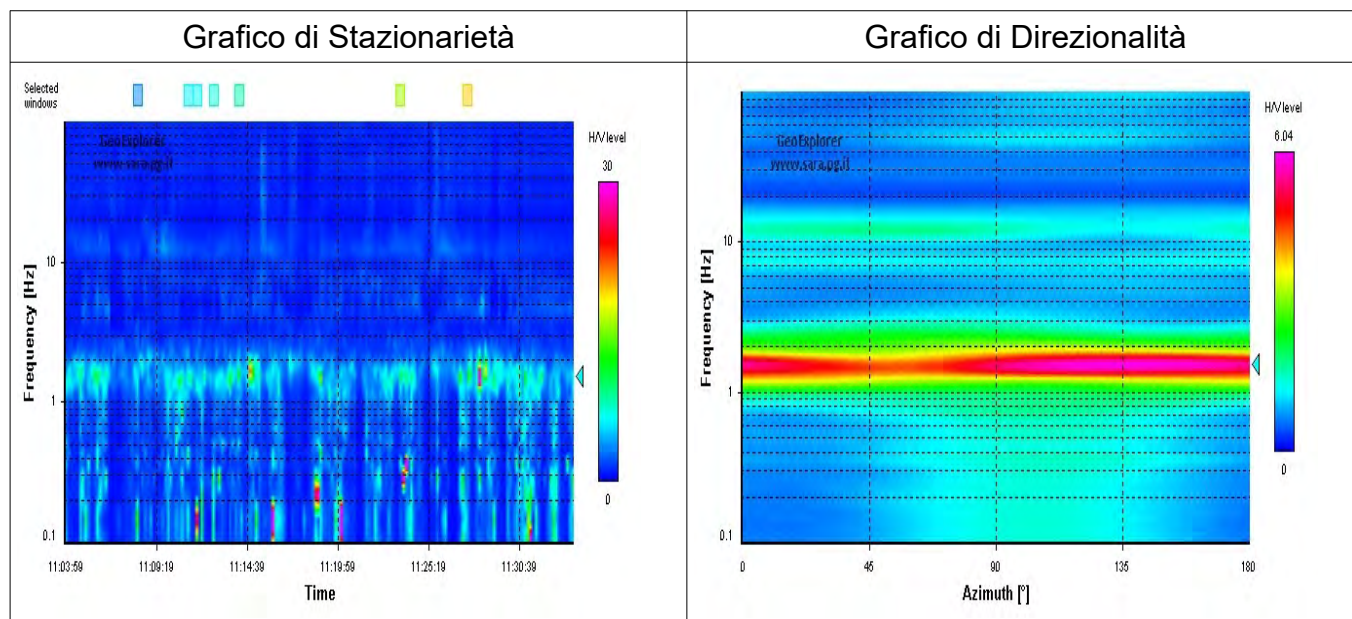


Figura 5 – Grafici di stazionarietà e direzionalità prova HVSR

| Criteri ammissibilità curva HV | |
|--------------------------------|----------|
| | Picco f0 |
| Criterio 1 | OK |
| Criterio 2 | OK |
| Criterio 3 | OK |
| Criterio 4 | OK |
| Criterio 5 | OK |
| Criterio 6 | OK |
| Criterio 7 | OK |

| Parametri | Valore |
|--------------------|-------------------|
| Finestra temporale | 20 s |
| Frequenza massima | 100 hz |
| Numero di Campioni | 40 |
| f0 | 1,52 (1,51; 1,53) |
| A0 | 5,83 (4,53; 7,12) |

3.4 ANALISI DEL PROFILO DELLE VELOCITA'

Dall'esecuzione dell'indagine sismica è emersa la seguente successione della velocità delle onde sismiche.

| Strato | h [m] | z [m] | Vs fin. [m/s] |
|----------|-------|--------|---------------|
| Strato 1 | 15,0 | -15,0 | 115 |
| Strato 2 | 25,0 | -40,0 | 245 |
| Strato 3 | 30,0 | -70,0 | 440 |
| Strato 4 | 85,0 | -155,0 | 560 |
| Strato 5 | / | -∞ | 780 |

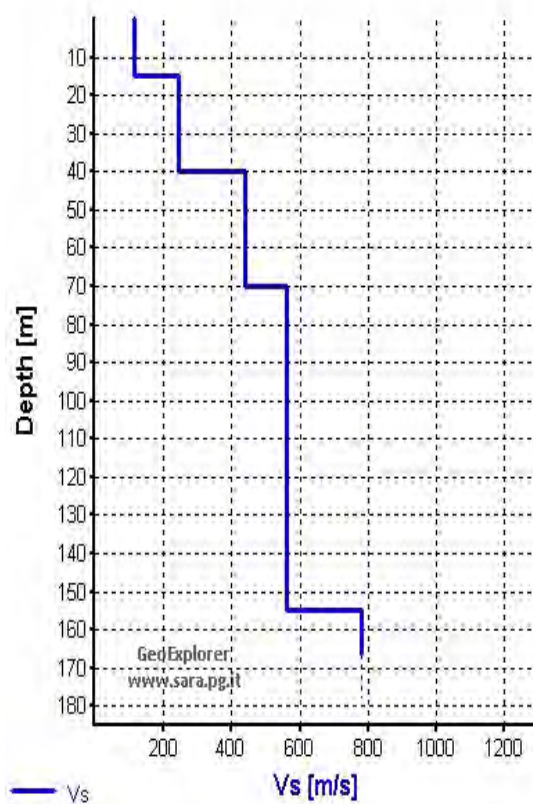


Figura 6 – Profilo verticale di velocità delle Vs

3.5 DETERMINAZIONE DELLE VS30 E DELLA CATEGORIA DI SUOLO

L'indagine sismica, considerando la sismostratigrafia fino alla profondità di -30,00 metri da p.c., ha permesso la determinazione della velocità delle V_{seq} , ricavata dalla formula riportata nel D.M. 17 del 17 Gennaio 2018 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni":

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

dove h_i e $V_{S,i}$ rappresentano rispettivamente lo spessore e la velocità di propagazione delle onde di taglio attraverso lo strato i -esimo entro 30 metri di profondità. H rappresenta la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzato da V_s non inferiore a 800 m/s.

Utilizzando la formula sopra riportata si ottiene il seguente valore:

$$\underline{V_{seq} = 157 \text{ m/s}}$$

I terreni di fondazione interessati dalla progettazione sismica, come prescritto al paragrafo 3.2.2 dal D.M. 17 Gennaio 2018, appartengono a:

suolo di fondazione di tipo D

ovvero, come definito in Tabella 3.2.II (Categorie di sottosuolo): Tipo D: Depositi di terreni a grana grossa mediamente scarsamente o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiore a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_s Equivalente compresi tra 100 m/s e 180 m/s.

4 CONCLUSIONI

L'investigazione sismica ha permesso di individuare la velocità delle onde S nei primi 30 metri di profondità nei siti indagati. Dall'analisi ed elaborazione dei dati è emerso che la V_s Equivalente in corrispondenza delle registrazioni sismiche HVSR è tipica di suoli di tipo D.

L'analisi dei microtremori a stazione singola ha permesso di individuare alcuni picchi indice di frequenze alle quali i siti in esame potrebbero entrare in risonanza, in caso di evento sismico.

Per la prova HVSR si è individuato un picco alla frequenza f_0 di 1,52 Hz e A_0 5,83.

ALLEGATO 3

Project

Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica

Cantiere:

Fotovoltaico Bando di Argenta

Prova:

S-CPTU 1

Profondità sorgente da piano campagna:

0.00 metri

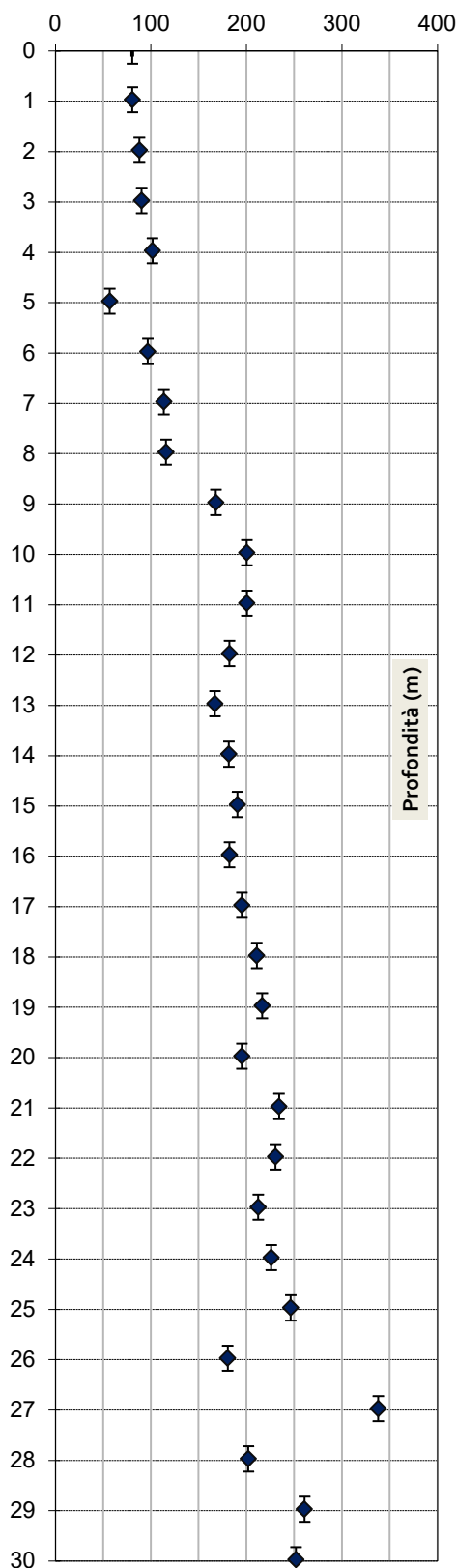
Distanza sorgente onde Vp da verticale misura:

-

Distanza sorgente onde Vs da verticale misura:

0.75 metri

Velocità onde di taglio V_{SVH} (m/s)



| Prof. misura | Prof. dato | Velocità | Time Shift | Accuratezza | |
|--------------|------------|----------|------------|-------------|-------|
| da | a | m | m/s | msec | |
| | | 0,00 | | 10,80 | |
| 0,72 | 1,22 | 0,97 | 80,55 | 4,88 | 0,952 |
| 1,72 | 2,22 | 1,97 | 87,92 | 5,31 | 0,826 |
| 2,72 | 3,22 | 2,97 | 90,26 | 5,50 | 0,640 |
| 3,72 | 4,22 | 3,97 | 101,81 | 5,94 | 0,814 |
| 4,72 | 5,22 | 4,97 | 56,97 | 8,69 | 0,929 |
| 5,72 | 6,22 | 5,97 | 96,86 | 5,13 | 0,987 |
| 6,72 | 7,22 | 6,97 | 113,72 | 4,38 | 0,947 |
| 7,72 | 8,22 | 7,97 | 115,88 | 4,31 | 0,874 |
| 8,72 | 9,22 | 8,97 | 168,00 | 3,00 | 0,973 |
| 9,72 | 10,22 | 9,97 | 200,44 | 2,50 | 0,996 |
| 10,72 | 11,22 | 10,97 | 200,54 | 2,50 | 0,995 |
| 11,72 | 12,22 | 11,97 | 182,22 | 2,75 | 0,990 |
| 12,72 | 13,22 | 12,97 | 166,97 | 3,00 | 0,994 |
| 13,72 | 14,22 | 13,97 | 181,56 | 2,75 | 0,990 |
| 14,72 | 15,22 | 14,97 | 190,67 | 2,63 | 0,997 |
| 15,72 | 16,22 | 15,97 | 182,37 | 2,75 | 0,995 |
| 16,72 | 17,22 | 16,97 | 195,26 | 2,56 | 0,994 |
| 17,72 | 18,22 | 17,97 | 210,93 | 2,38 | 0,992 |
| 18,72 | 19,22 | 18,97 | 216,50 | 2,31 | 0,993 |
| 19,72 | 20,22 | 19,97 | 195,32 | 2,56 | 0,985 |
| 20,72 | 21,22 | 20,97 | 234,19 | 2,25 | 0,967 |
| 21,72 | 22,22 | 21,97 | 230,42 | 2,19 | 0,988 |
| 22,72 | 23,22 | 22,97 | 212,39 | 2,38 | 0,980 |
| 23,72 | 24,22 | 23,97 | 225,90 | 2,25 | 0,980 |
| 24,72 | 25,22 | 24,97 | 246,32 | 2,06 | 0,979 |
| 25,72 | 26,22 | 25,97 | 180,48 | 2,81 | 0,958 |
| 26,72 | 27,22 | 26,97 | 337,96 | 1,50 | 0,988 |
| 27,72 | 28,22 | 27,97 | 201,95 | 2,50 | 0,972 |
| 28,72 | 29,22 | 28,97 | 260,83 | 1,94 | 0,994 |
| 29,72 | 30,22 | 29,97 | 251,91 | 2,00 | 0,988 |

V_{Seq} calcolata in base all'art. 3.2.2. del N.T.C.18

Profondità posa fondazione in metri da p.c. :

0,0

V_{Seq} 0,0 / 30,0 = 153,03 m/s

Project

Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica

Cantiere:

Fotovoltaico Bando di Argenta

Prova:

S-CPTU 2

Profondità sorgente da piano campagna:

0.00 metri

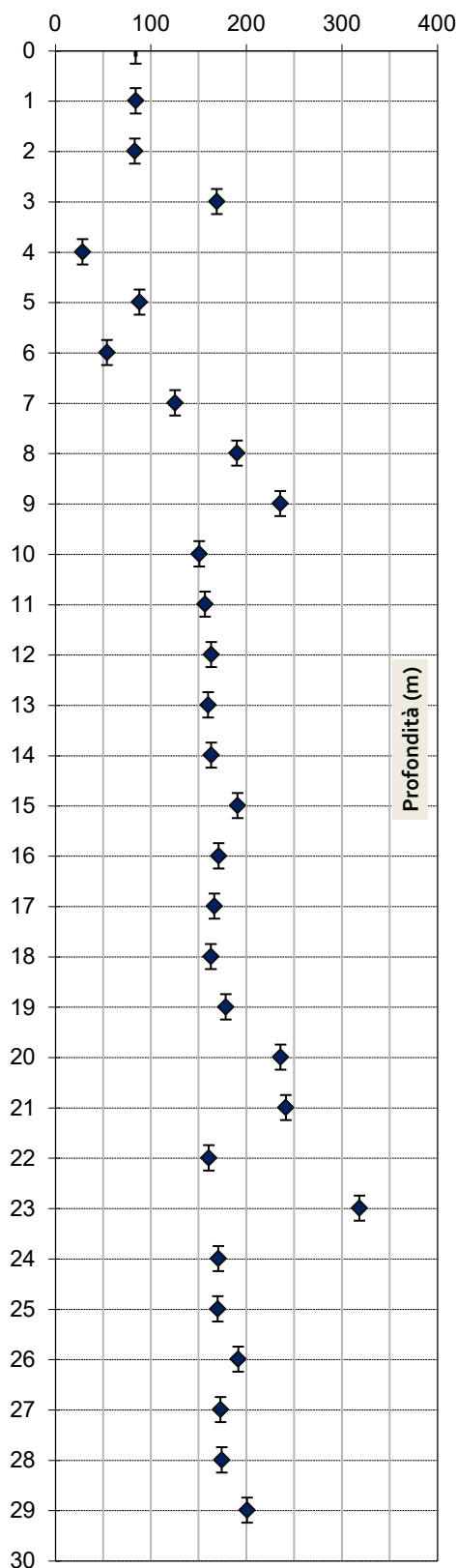
Distanza sorgente onde Vp da verticale misura:

-

Distanza sorgente onde Vs da verticale misura:

0.75 metri

Velocità onde di taglio V_{SVH} (m/s)



| Prof. misura | | Prof. dato | Velocità | Time Shift | Accuratezza |
|--------------|-------|------------|----------|------------|-------------|
| da | a | m | m/s | msec | |
| | | 0,00 | | 8,75 | |
| 0,74 | 1,24 | 0,99 | 84,04 | 4,75 | 0,907 |
| 1,74 | 2,24 | 1,99 | 83,15 | 5,63 | 0,809 |
| 2,74 | 3,24 | 2,99 | 168,97 | 2,88 | 0,860 |
| 3,74 | 4,24 | 3,99 | 28,49 | 17,25 | 0,761 |
| 4,74 | 5,24 | 4,99 | 88,02 | 5,81 | 0,761 |
| 5,74 | 6,24 | 5,99 | 54,03 | 9,19 | 0,805 |
| 6,74 | 7,24 | 6,99 | 125,29 | 4,19 | 0,932 |
| 7,74 | 8,24 | 7,99 | 190,07 | 2,63 | 0,984 |
| 8,74 | 9,24 | 8,99 | 235,29 | 2,13 | 0,986 |
| 9,74 | 10,24 | 9,99 | 150,67 | 3,31 | 0,986 |
| 10,74 | 11,24 | 10,99 | 156,69 | 3,19 | 0,988 |
| 11,74 | 12,24 | 11,99 | 163,14 | 3,06 | 0,980 |
| 12,74 | 13,24 | 12,99 | 159,99 | 3,13 | 0,983 |
| 13,74 | 14,24 | 13,99 | 163,23 | 3,06 | 0,983 |
| 14,74 | 15,24 | 14,99 | 190,67 | 2,63 | 0,972 |
| 15,74 | 16,24 | 15,99 | 170,85 | 2,94 | 0,979 |
| 16,74 | 17,24 | 16,99 | 166,50 | 3,00 | 0,991 |
| 17,74 | 18,24 | 17,99 | 162,73 | 3,07 | 0,989 |
| 18,74 | 19,24 | 18,99 | 178,43 | 2,80 | 0,996 |
| 19,74 | 20,24 | 19,99 | 235,68 | 2,12 | 0,976 |
| 20,74 | 21,24 | 20,99 | 241,39 | 2,07 | 0,993 |
| 21,74 | 22,24 | 21,99 | 160,68 | 3,11 | 0,985 |
| 22,74 | 23,24 | 22,99 | 318,30 | 1,57 | 0,979 |
| 23,74 | 24,24 | 23,99 | 170,57 | 2,93 | 0,978 |
| 24,74 | 25,24 | 24,99 | 169,99 | 2,94 | 0,976 |
| 25,74 | 26,24 | 25,99 | 191,49 | 2,61 | 0,950 |
| 26,74 | 27,24 | 26,99 | 172,94 | 2,89 | 0,995 |
| 27,74 | 28,24 | 27,99 | 174,15 | 2,87 | 0,966 |
| 28,74 | 29,24 | 28,99 | 200,74 | 2,49 | 0,994 |

V_{Seq} calcolata in base all'art. 3.2.2. del N.T.C.18

Profondità posa fondazione in metri da p.c. :

0,0

V_{Seq} 0,0 / 30,0 = 131,10 m/s



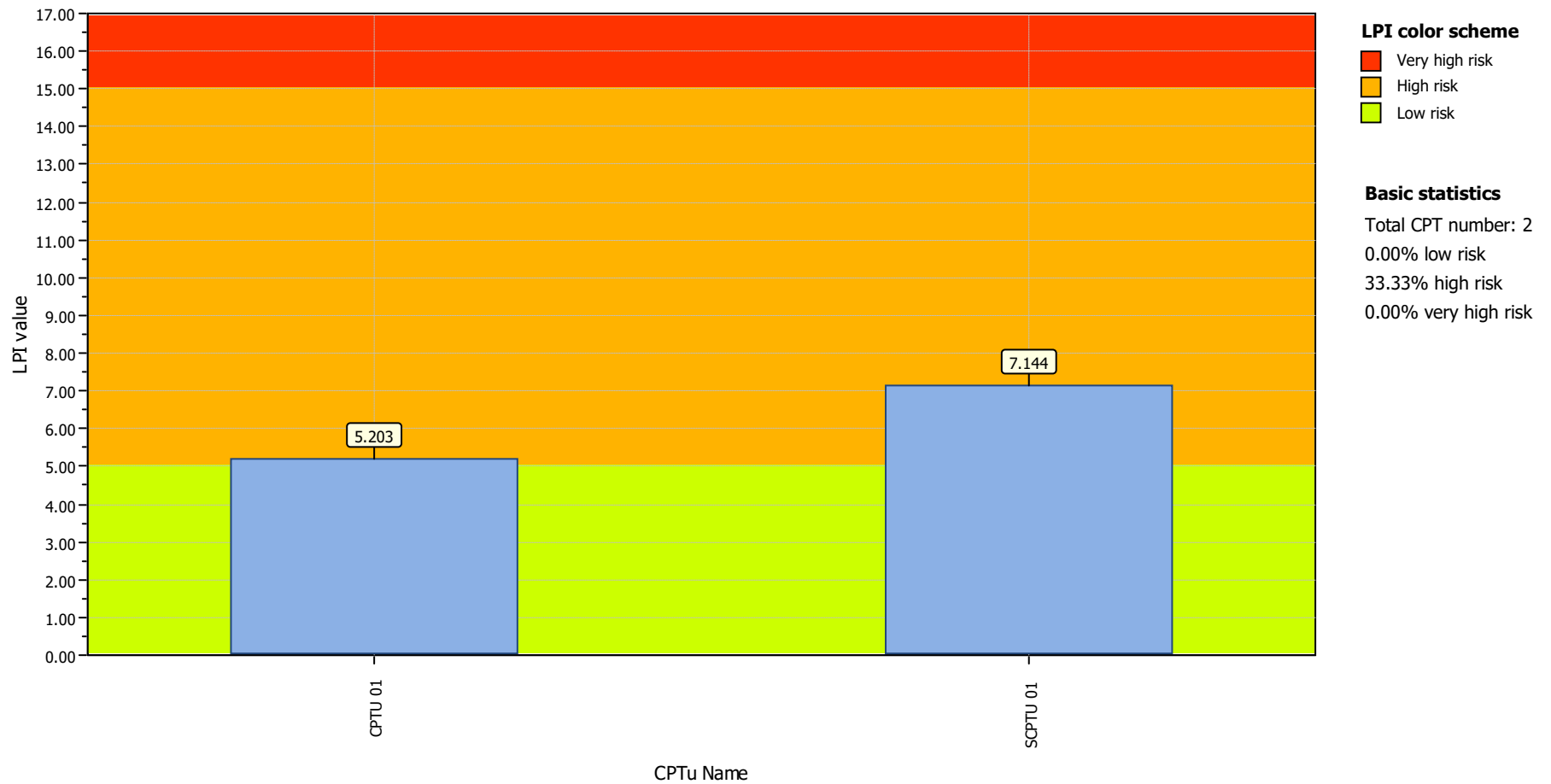
of counsel
Studio Stefano Maglia
Consulenze Legali Ambientali

ALLEGATO 4

Project title : Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica

Location : Fotovoltaico Bando di Argenta (FE)

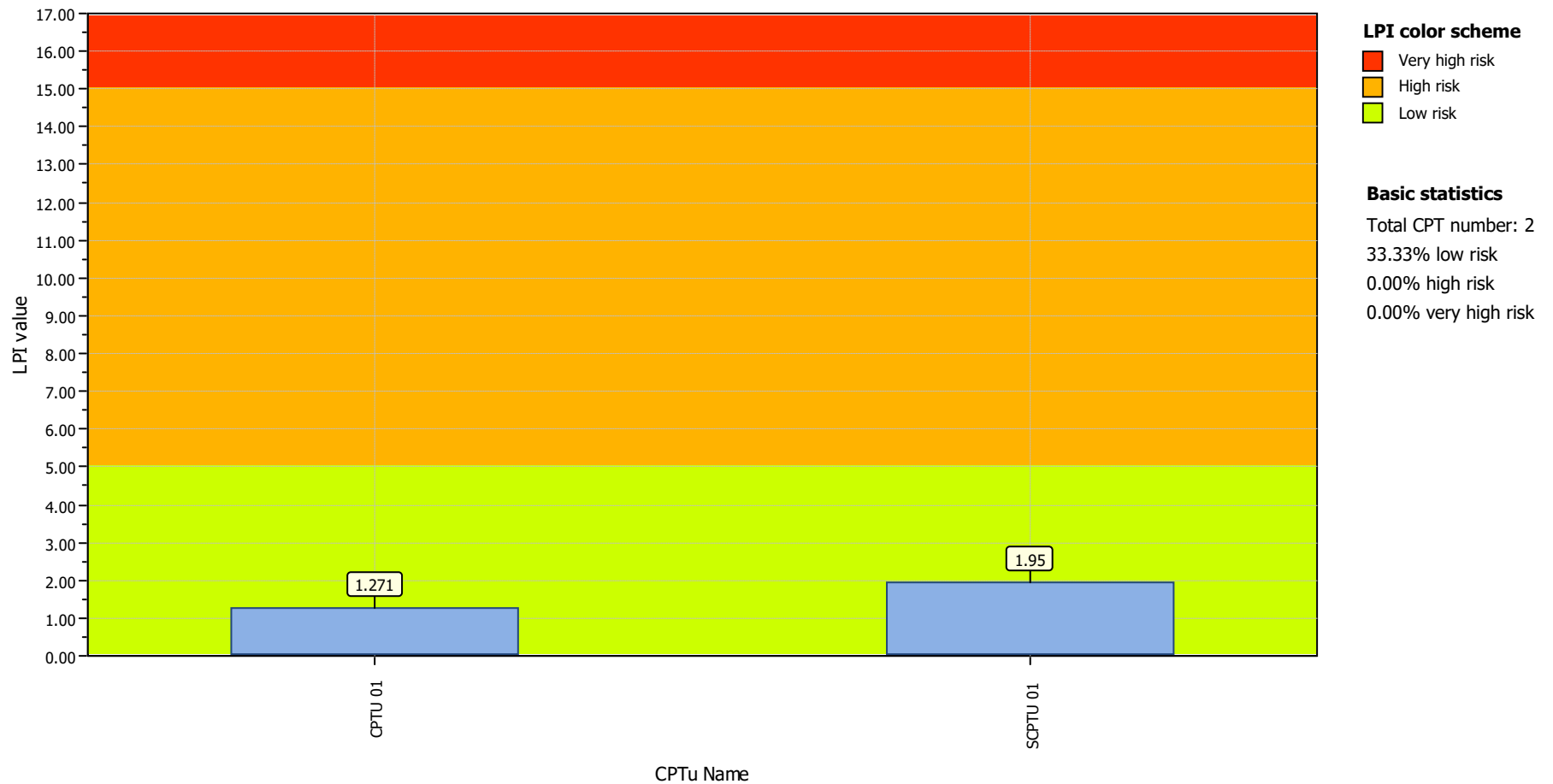
Overall Liquefaction Potential Index report



Project title : Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica

Location : Fotovoltaico Bando di Argenta (FE)

Overall Liquefaction Potential Index report - RSL



Project title : Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica

Location : Fotovoltaico Bando di Argenta (FE)

Overall Liquefaction Potential Index report

