

# Newagro S.r.l.

**Impianto agrivoltaico denominato “Consandolo” da 57.002,4 MWp, opere connesse ed infrastrutture indispensabili**

**Comuni di Argenta e Portomaggiore (FE)**

**Progetto Definitivo Impianto Agrivoltaico ed Opere Elettriche di Utenza**

**Allegato C.05 Relazione Geologica, Idrologica, Idrogeologica, Sismica e di prime considerazioni Geotecniche**



Professionista incaricato: Dott. Geol. Linda Collina – Ordine Regionale dei Geologi della Regione Emilia Romagna n. 1142

**Rev. 0**

**Aprile 2024**

**wood.**

## Indice

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Normativa di riferimento</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Area in esame</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Inquadramento geologico</b>	<b>9</b>
4.1	Caratteri geologici e strutturali generali	9
4.2	Caratteri litologici e stratigrafici	12
<b>5</b>	<b>Lineamenti geomorfologici locali</b>	<b>17</b>
<b>6</b>	<b>Assetto idrogeologico e idrologico locale</b>	<b>21</b>
6.1	Caratteristiche idrogeologiche	21
6.2	Caratteri idrologici ed idraulici	23
<b>7</b>	<b>Storia sismica locale</b>	<b>29</b>
7.1	Microzonazione sismica	31
<b>8</b>	<b>Indagini geognostiche eseguite</b>	<b>34</b>
<b>8.1</b>	<b>Prove Penetrometriche Statiche con piezocono (CPTU e SCPTU)</b>	<b>34</b>
8.1.1	Strumentazione utilizzata	34
8.1.2	Risultati delle prove	36
<b>8.2</b>	<b>La misura a stazione singola HVSR</b>	<b>40</b>
8.2.1	Strumentazione e metodologia di indagine	40
8.2.2	Risultati dell'indagine	41
<b>9</b>	<b>Caratterizzazione sismica dei terreni di fondazione</b>	<b>47</b>
<b>9.1</b>	<b>Classificazione sismica del sito</b>	<b>47</b>
<b>9.2</b>	<b>Magnitudo di riferimento</b>	<b>49</b>
<b>9.3</b>	<b>Classificazione sismica del sottosuolo secondo il DM 17/01/2018</b>	<b>52</b>
9.3.1	Categorie sismiche di sottosuolo	52
9.3.2	Parametri e coefficienti sismici determinati in base al D.M. 17/01/18	53
<b>10</b>	<b>Valutazione del rischio di fenomeni di liquefazione</b>	<b>57</b>
<b>10.1</b>	<b>Generalità sul fenomeno</b>	<b>57</b>
<b>10.2</b>	<b>Valutazione del rischio di liquefazione del sito</b>	<b>57</b>
10.2.1	Analisi del potenziale di liquefazione del sito	59
<b>11</b>	<b>Analisi di risposta sismica locale</b>	<b>62</b>
<b>11.1</b>	<b>Premessa</b>	<b>62</b>

<b>11.2 Definizione del modello di sottosuolo</b>	<b>62</b>
<b>11.3 Calcolo del moto atteso in superficie</b>	<b>63</b>
<b>11.4 Modello di calcolo FEM</b>	<b>65</b>
<b>11.5 Spettri di risposta finali</b>	<b>66</b>
11.5.1 Parametrizzazione dello spettro derivante dalla risposta sismica	67
<b>11.6 Verifica potenziale di liquefazione Aree SCPTU 01-CPTU 05</b>	<b>70</b>
<b>12 Modello geologico e prime considerazioni geotecniche</b>	<b>71</b>
<b>12.1 Premessa</b>	<b>71</b>
<b>12.2 Modello stratigrafico</b>	<b>71</b>
<b>12.3 Caratteri idrogeologici</b>	<b>75</b>
<b>12.4 Caratteri geotecnici</b>	<b>76</b>
12.4.1 Impianto agrivoltaico	76
12.4.2 Cabina Utente	77
<b>13 Conclusioni</b>	<b>78</b>

## Elaborati Grafici

Nome File	Descrizione elaborato	Scala	Rev.	Data
<b>All. C.05 Tav. 01</b>	Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche e traccia sezione stratigrafica		0	Apr-24
<b>All. C.05 Tav. 02</b>	Carta litologia di superficie		0	Apr-24
<b>All. C.05 Tav. 03</b>	Carta geomorfologica		0	Apr-24
<b>All. C.05 Tav. 04</b>	Carta Idrogeologica		0	Apr-24
<b>All. C.05 Tav. 05</b>	Carta degli Elementi sismotettonici		0	Apr-24

## Allegati

Nome File	Descrizione elaborato	Rev.	Data
<b>All. C.05 App.01</b>	Tabulati prove CPTU e SCPTU	0	Apr-24
<b>All. C.05 App.02</b>	Restituzione indagini sismiche	0	Apr-24
<b>All. C.05 App.03</b>	Verifica potenziale di liquefazione	0	Apr-24

**Questo documento è di proprietà di Newagro S.r.l. e il detentore certifica che il documento è stato ricevuto legalmente. Ogni utilizzo, riproduzione o divulgazione del documento deve essere oggetto di specifica autorizzazione da parte di Newagro S.r.l.**

## 1 Introduzione

Su incarico ricevuto in data 25/09/2023 dalla Società Newagro S.r.l., si redige la presente relazione geologica, idrologica e idrogeologica relativa all'Impianto Agrivoltaico "Consandolo" da 57.002,4 kWp ed opere connesse che la Società intende realizzare nei Comuni di Argenta e Portomaggiore (FE).

Le opere progettuali dell'Impianto Agrivoltaico da realizzare si possono così sintetizzare:

1. "Impianto Agrivoltaico" ubicato nel comune di Argenta (FE), di potenza pari a 57.002,4 kWp;
2. Linee in cavo interrato a 36 kV (di seguito "Dorsali 36 kV"), per il collegamento dell'impianto fotovoltaico alla cabina elettrica a 36 kV di proprietà della Società, il cui tracciato ricade nei Comuni di Argenta e Portomaggiore (FE);
3. Cabina Utente 36 kV (di seguito "Cabina Utente") di proprietà della Società, che sarà realizzata nel Comune di Portomaggiore (FE);
4. Linee in cavo interrato a 36 kV (di seguito "Linee 36 kV") tra la Cabina Utente e lo stallo produttore nella sezione a 36 kV della futura Stazione Elettrica di trasformazione 380/132/36 kV della RTN denominata "Portomaggiore", di proprietà di Terna;
5. Opere RTN (congiuntamente di seguito definiti come "Impianto di Rete"), ubicate nel Comune di Portomaggiore e costituite da:
  - Nuova Stazione RTN a 380/132/36 kV denominata "Portomaggiore", da inserire in entra – esce alla linea RTN a 380 kV "Ferrara Focomorto – Ravenna Canala" e alla linea RTN a 132 kV "Portomaggiore – Bando"(di seguito "Stazione RTN");
  - N.2 nuovi raccordi linea a 380 kV della RTN, necessari per il collegamento in entra-esce della nuova SE RTN alla linea RTN a 380 kV "Ferrara Focomorto – Ravenna Canala" della lunghezza di circa 420m e 700m (di seguito "Raccordi Aerei a 380 kV");
  - N.2 nuovi raccordi linea a 132 kV necessari per il collegamento in entra-esce della nuova SE RTN alla linea RTN a 132 kV "Portomaggiore – Bando", della lunghezza di circa 600m e 820m (di seguito "Raccordi Aerei a 132 kV").

La tipologia di impianto prescelta è del tipo con inseguitore monoassiale e prevede la coltivazione di colture specifiche tra le interfile dei pannelli fotovoltaici.

Il presente studio è basato sia su una ricerca bibliografica che 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 dalle opere in progetto;
- l'esame dei problemi geologico-tecnici connessi con le opere in progetto.
- n° **6 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;

## 2 Normativa di riferimento

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

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

### 3 Area in esame

L'area interessata dalla realizzazione dell'Impianto Agrivoltaico si estende su una superficie di circa 116 ha ed è situata nel territorio dei comuni di Argenta e Portomaggiore (FE).

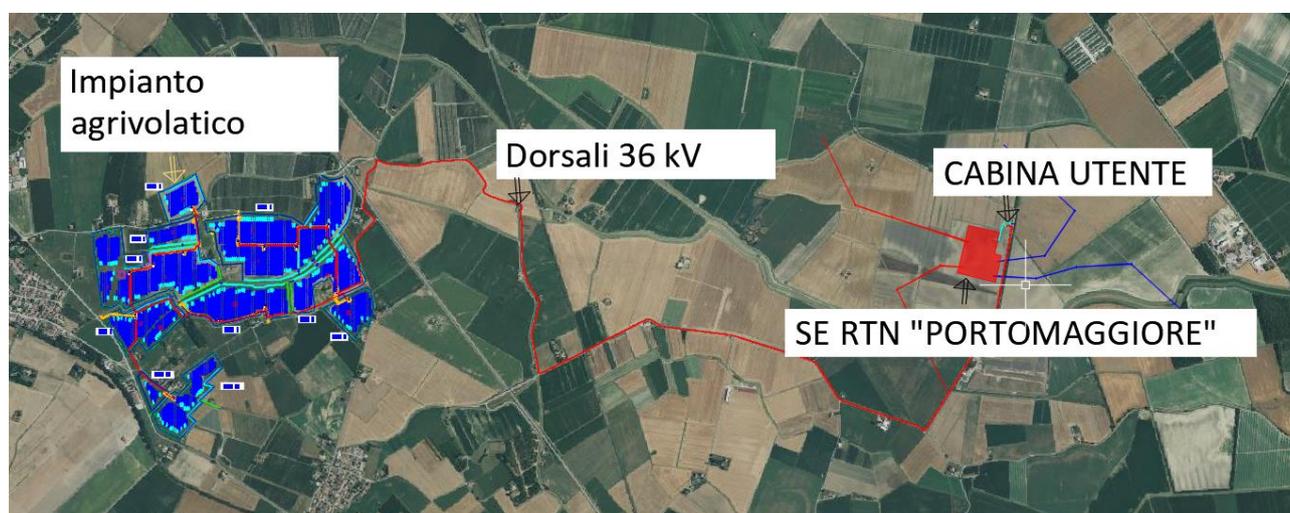
Il centro urbano di Consandolo è ubicato a circa 500 m dall'area prevista per la realizzazione dell'impianto agrivoltaico e risulta essere il centro abitato più prossimo al sito mentre il centro urbano di Boccaleone è ubicato a circa 1 km dall'impianto.

Il percorso delle Dorsali 36 kV interrato di collegamento tra l'Impianto Agrivoltaico e la Cabina Utente si svilupperà nei Comuni di Argenta e Portomaggiore (FE), prevalentemente lungo le strade comunali esistenti. Il percorso è evidenziato in Figura 3.1 in giallo.

La Cabina Utente sarà realizzata nel Comune di Portomaggiore, in prossimità dell'area dove è stata autorizzata la nuova Stazione RTN "Portomaggiore". Il centro abitato più prossimo alla Cabina Utente è Bando (FE), che dista circa 3 km in direzione est.

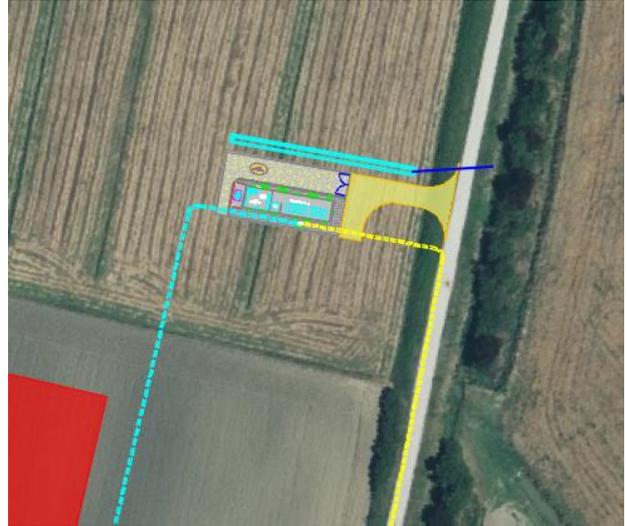
Le Linee 36 kV si svilupperanno per una lunghezza di circa 100 m, in terreni di privati. Il percorso è evidenziato in Figura 3-1 in azzurro.

La Cabina Utente e l'Impianto di Rete sono ubicate a circa 3,5 km dall'impianto agrivoltaico.



**Figura 3-1 – Inquadramento su foto satellitare (fonte Google Earth) delle opere in progetto**

L'impianto agrivoltaico sarà collegato attraverso cavidotti dedicati alla Cabina Utente e alla Stazione RTN di allacciamento alla rete elettrica nazionale.

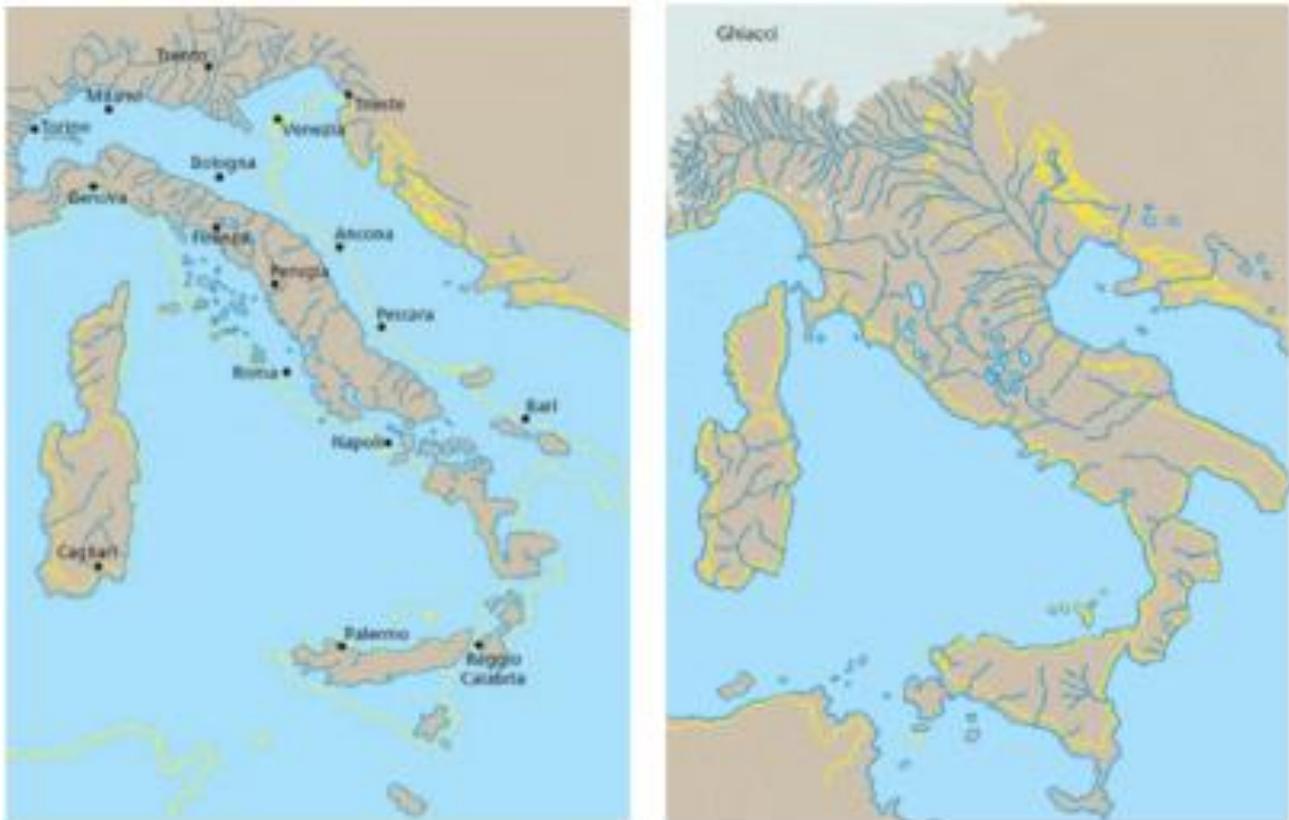


**Figura 3-2 – Impianto agrivoltaico (a sinistra) e Cabina Utente (a destra) su base satellitare (fonte Google Earth)**

## 4 Inquadramento geologico

### 4.1 Caratteri geologici e strutturali generali

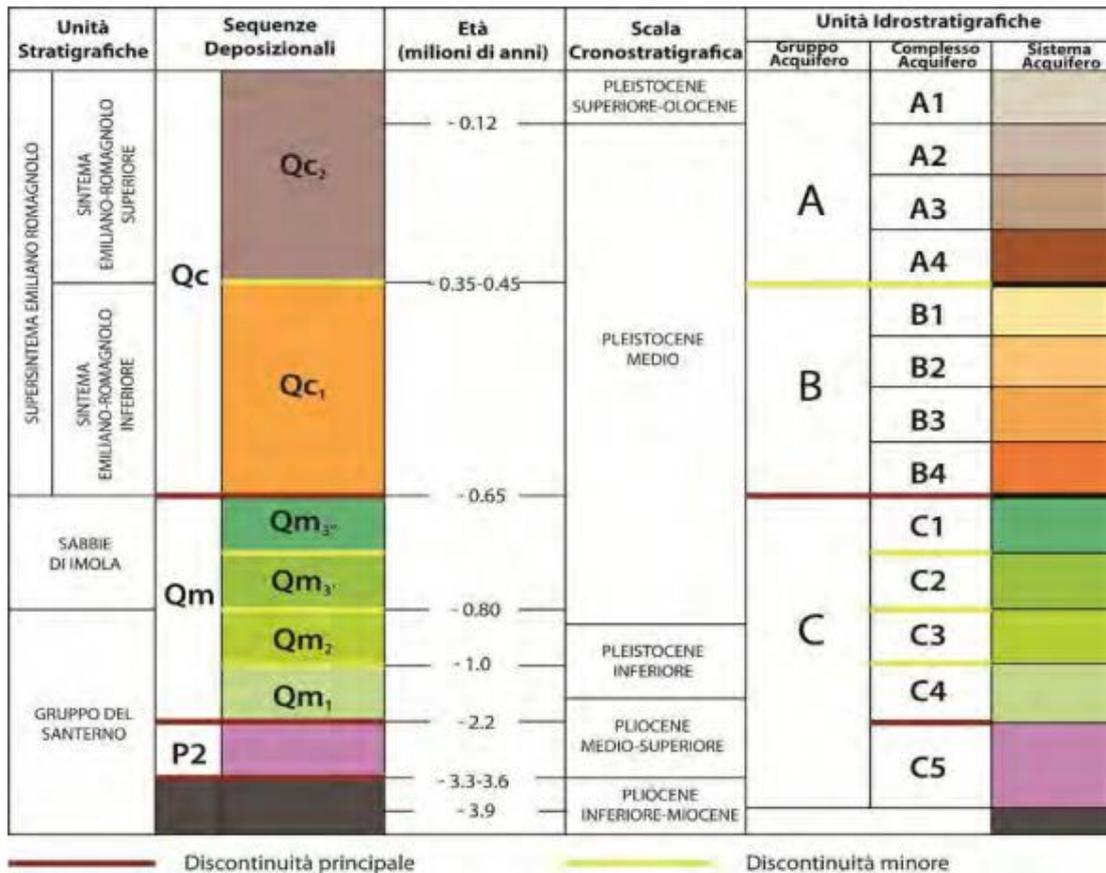
Da un punto di vista del tutto generale i depositi che formano l'ossatura della Pianura Padana costituiscono il riempimento del bacino di avanfossa di età plio-quadernaria, compreso tra la catena appenninica a sud e quella alpina a nord. Il contesto geologico-strutturale in cui la pianura va inserita 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 (Figura 4-1<sup>1</sup> 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 (Figura 4-1 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.



**Figura 4-1 – La penisola italiana durante il Pliocene (SX) e durante l'ultimo picco glaciale 18.000 anni fa circa (DX)**

L'evoluzione sedimentaria Plio-quadernaria 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 quadernaria affiorante del margine appenninico (fig. successiva), portando alla identificazione di due cicli sedimentari principali, uno marino (Qm) ed uno continentale (Qc).

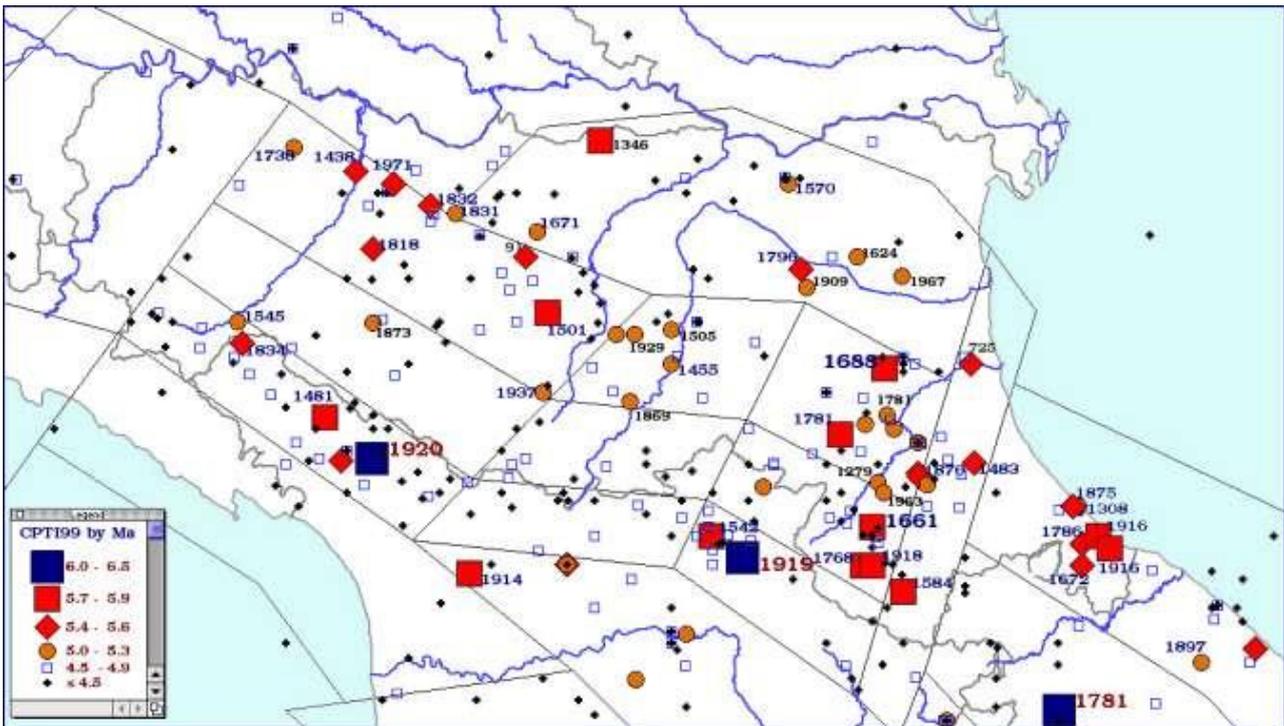
<sup>1</sup> <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/geologia/geositi-paesaggio-geologico/itinerari/sentiero-geo-paleontologico-le-conchiglie>



**Figura 4-2 – Schema stratigrafico-sequenziale dei depositi plio-quadernari 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 Figura 4-3, 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.



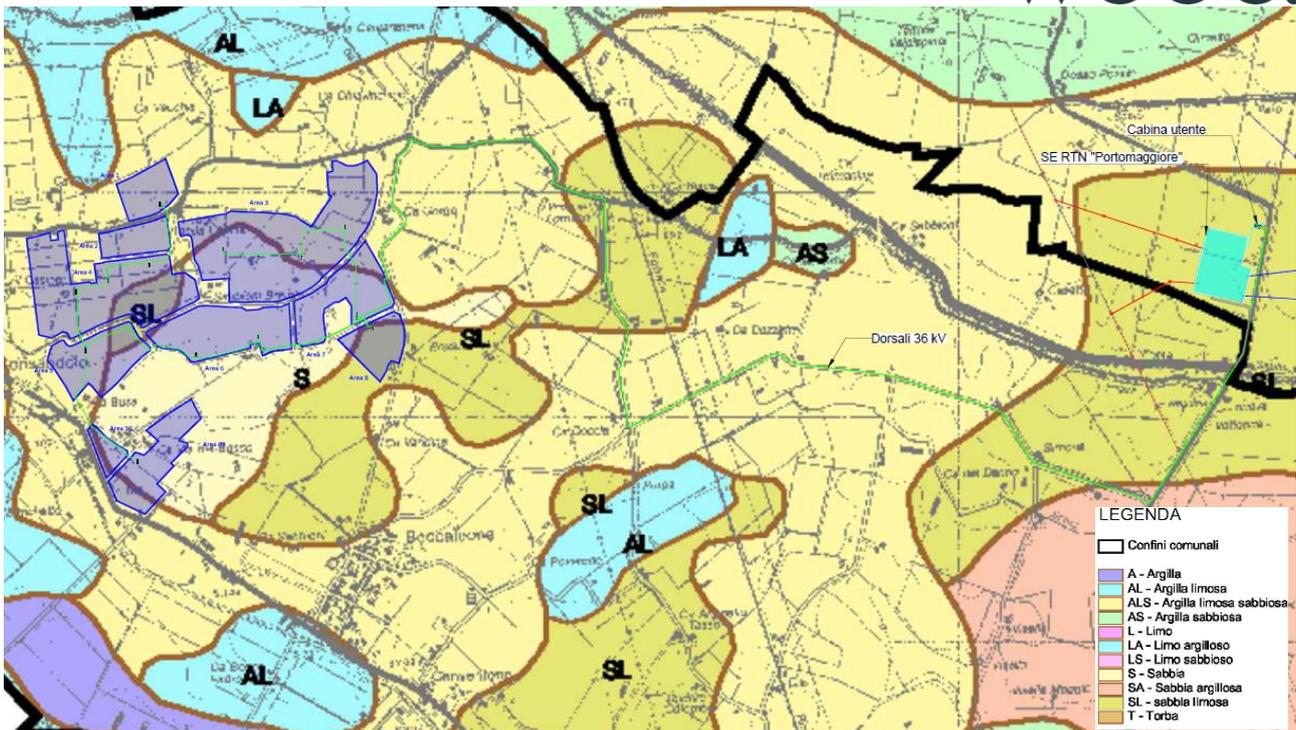


**Figura 4-4 – Carta epicentri dei terremoti della Regione Emilia-Romagna per classi di magnitudo (CPTI, 1999)**

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.

## 4.2 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.



**Figura 4-5 – Carta Estratto della carta litologica di superficie – Tav. B.2.2 – PSC in forma associata comuni di Argenta, Migliarino, Ostellato, Portomaggiore, Voghiera**

(territorio in esame evidenziato in azzurro)

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 coni 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.

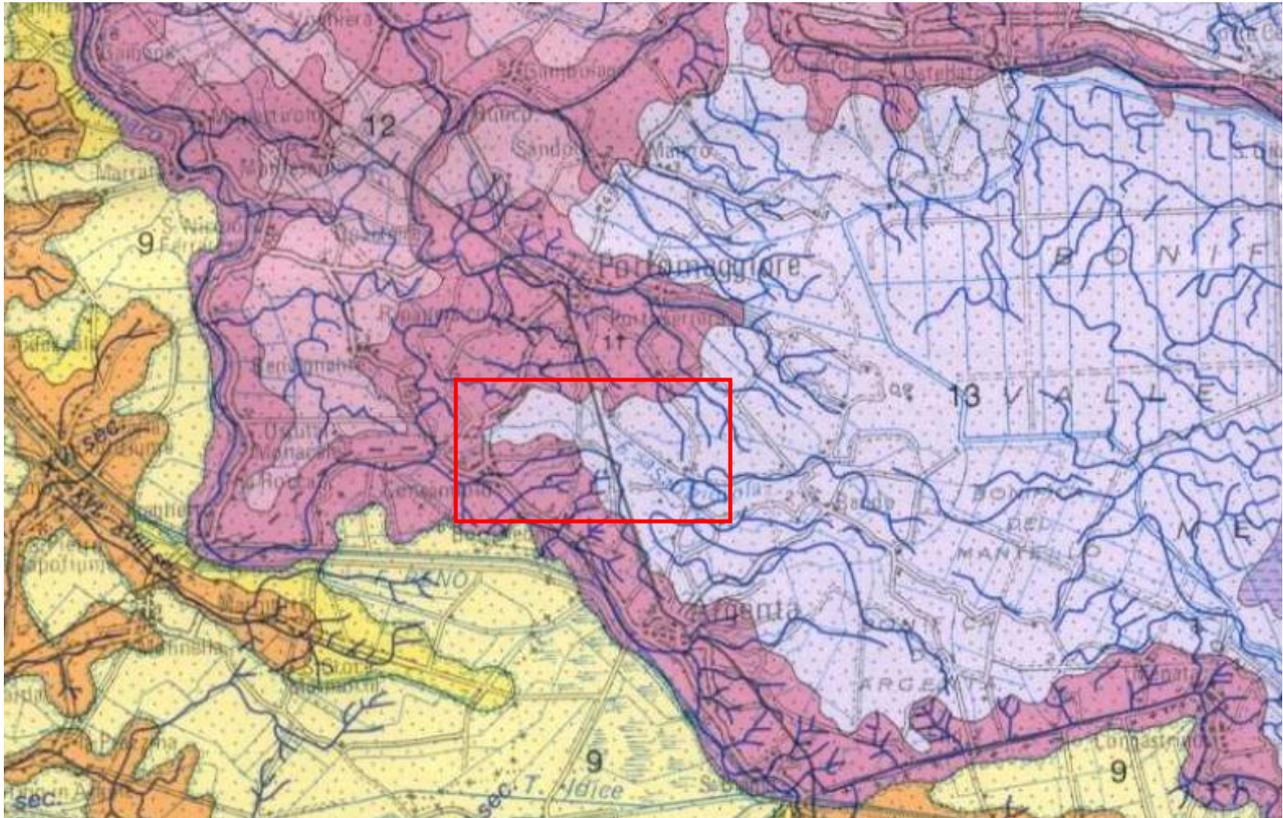
Partendo da ovest si può notare come l'area sia interamente caratterizzata da depositi di piana deltizia, sono depositi di canale distributore e di argine, si tratta in prevalenza di sabbie da medie a fini in strati di spessore decimetrico passanti lateralmente ed intercalate a sabbie fini e finissime 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 Figura 4-6 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

11

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.

12

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

13

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

14

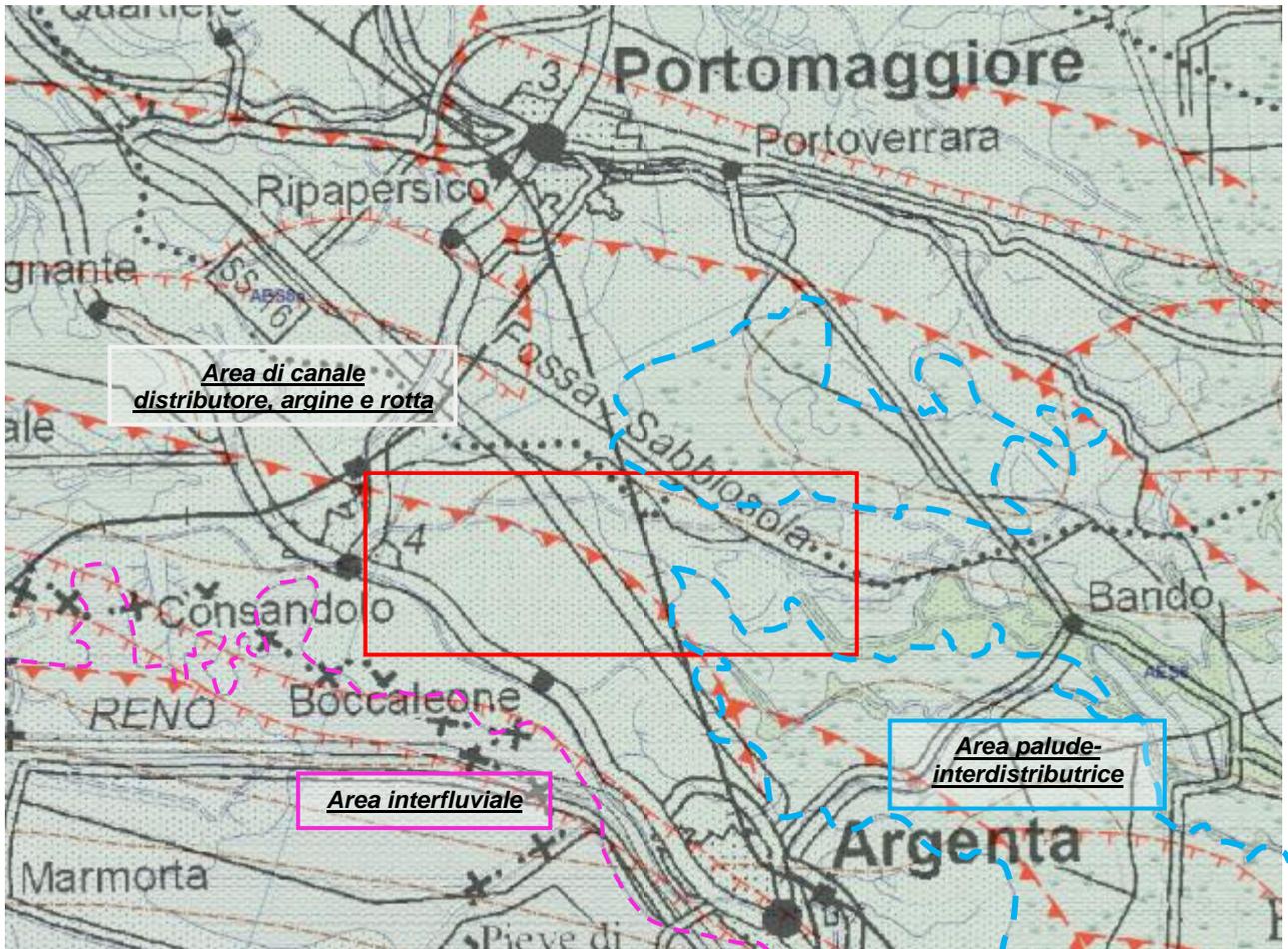
Sabbie medie e fini con intercalati livelli decimetrici di gusci di molluschi, subordinatamente livelli di limi sabbiosi e di sostanza organica parzialmente decomposta. Depositi di cordone litorale e dune eoliche.

15

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

**Figura 4-6 – 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.



**Figura 4-7 – Estratto Carta geologica della Regione Emilia Romagna**

Come è possibile osservare dall'immagine sopra riportata in Figura 4-7, il territorio in esame (inquadrate 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.

## 5 Lineamenti geomorfologici locali

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 nelle 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).

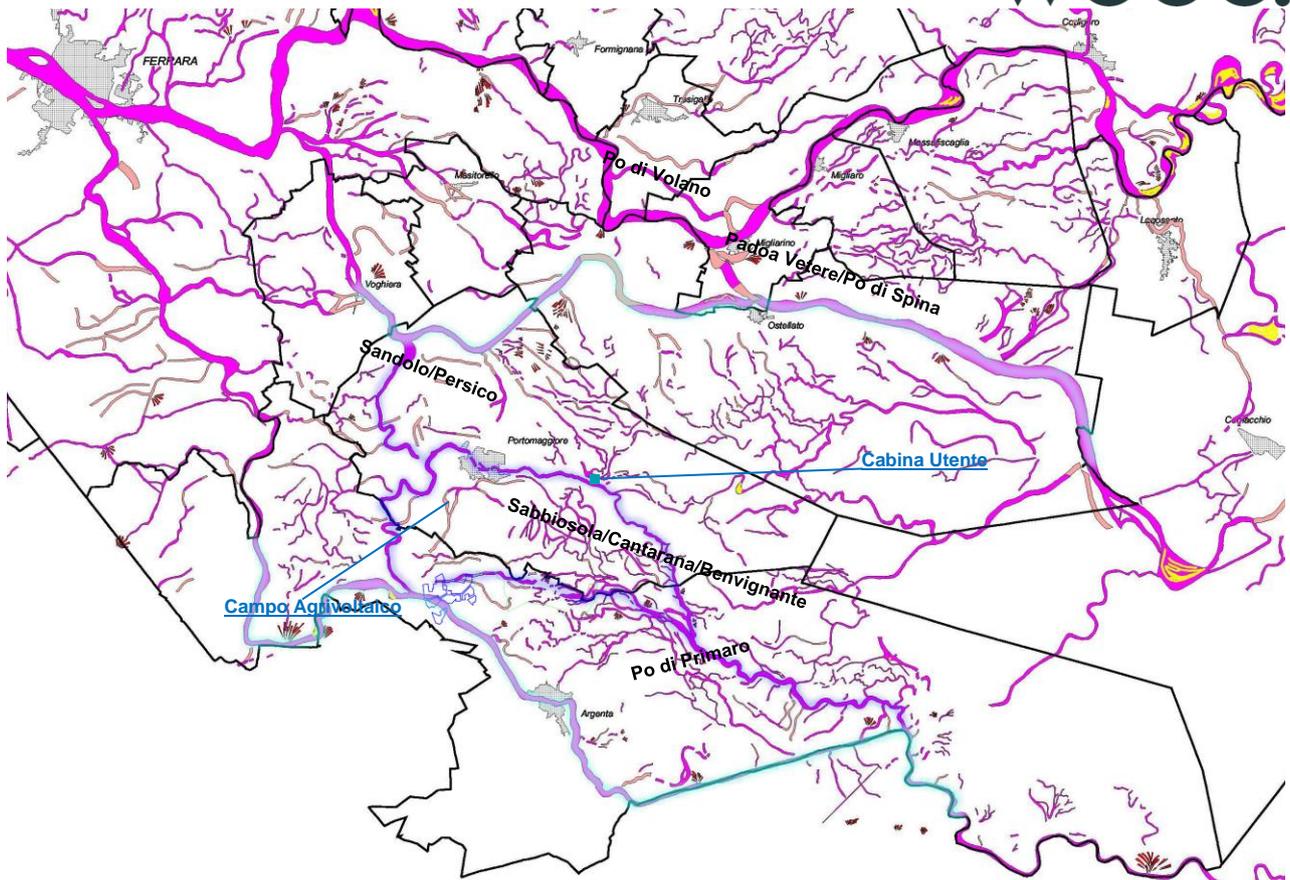
I dossi attualmente visibili rappresentano solamente l'ultima definizione del prolungato processo di divagazione dei fiumi e di edificazione della pianura. I principali corpi idrici del territorio dell'Unione dei Comuni:

- 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 estese 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.

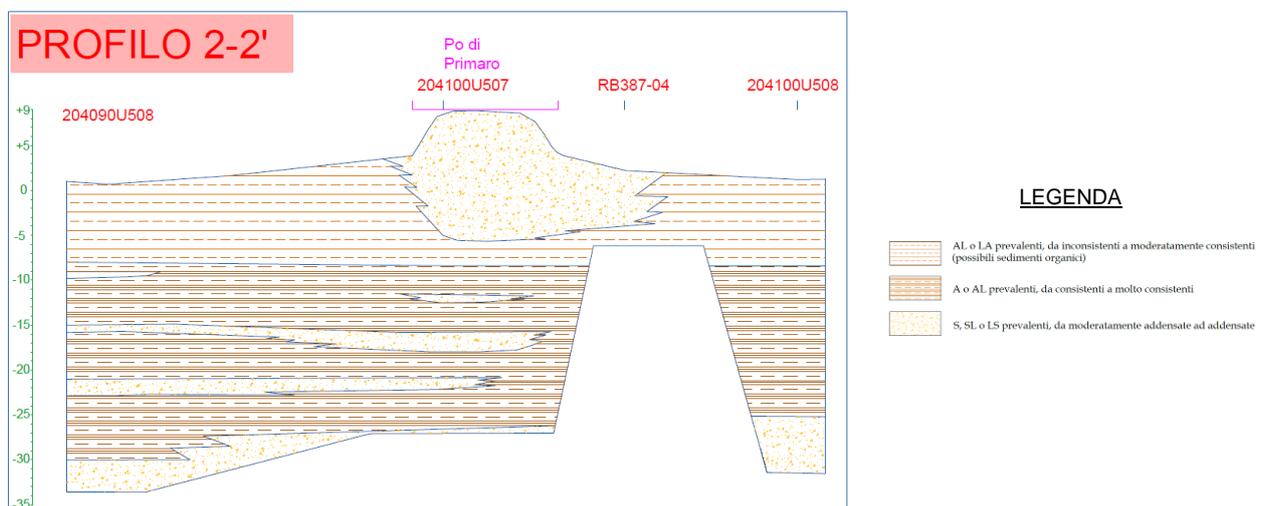
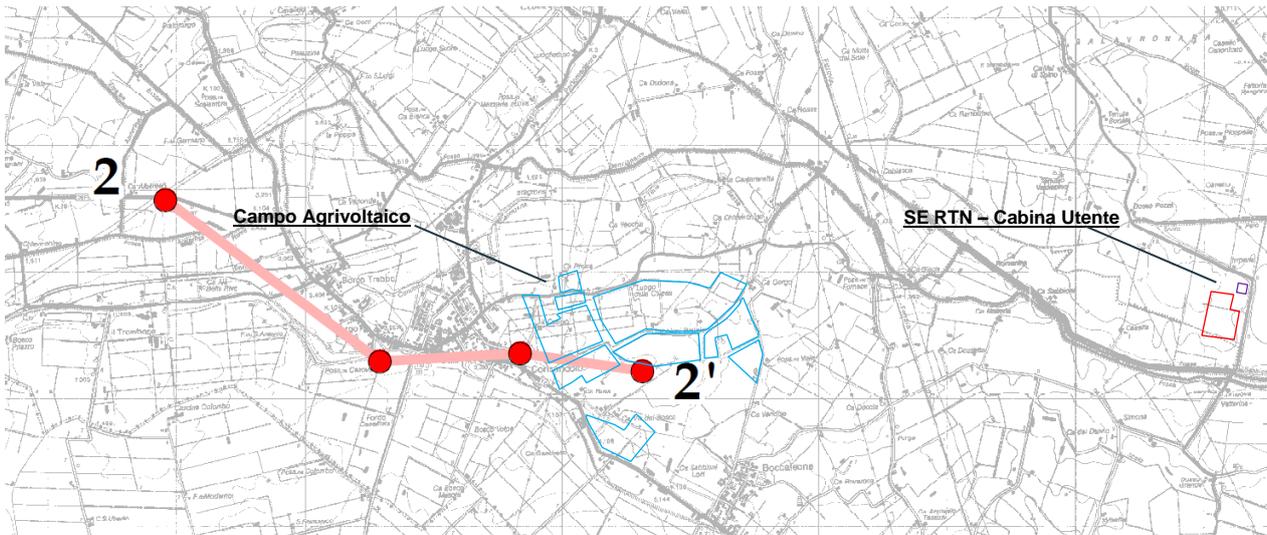


**Figura 5-1– Stralcio in scala libera della Carta Geomorfologica della Provincia di Ferrara – tratta da “Quadro Conoscitivo Diagnostico, Sicurezza del territorio” del Piano Urbanistico Generale (PUG) dell’unione Valli e Delizie**

*(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 in corrispondenza dell’abitato di Consandolo, e passante attraverso 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.

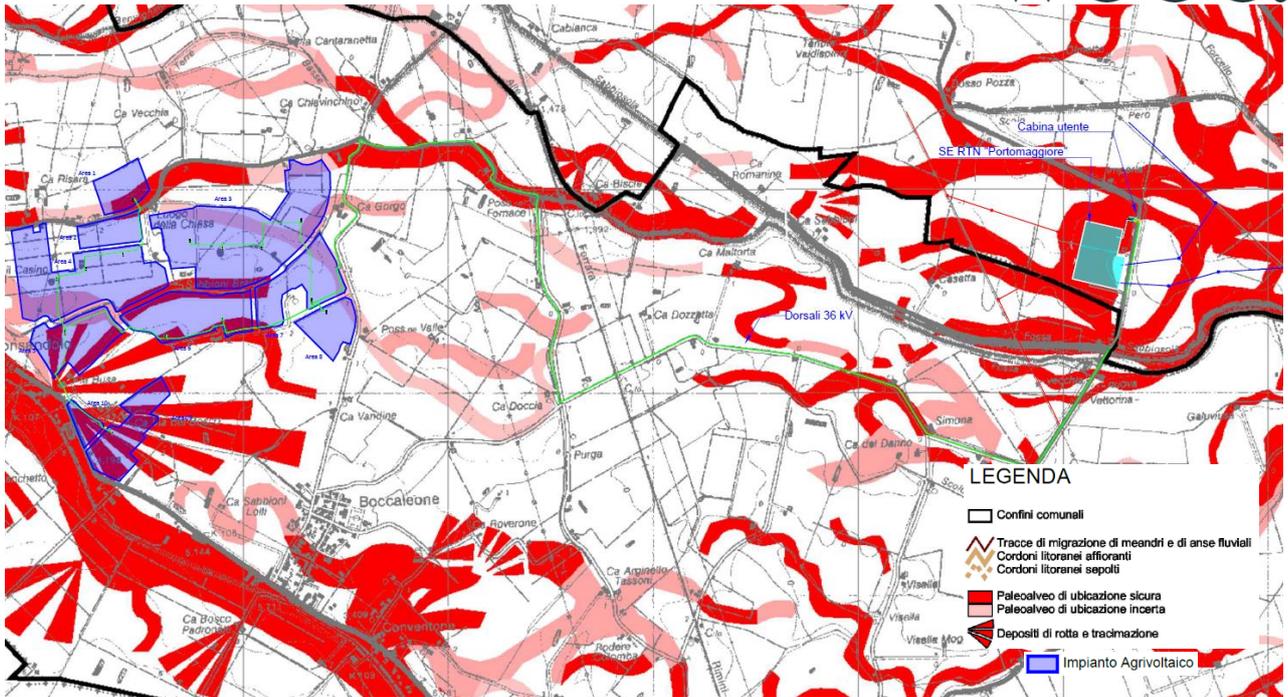


**Figura 5-2- Traccia e sezione stratigrafica**

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 Primario 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 Primario 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 5-3** 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 particolare modo in corrispondenza dell'abitato di Consandolo si riconosce il tracciato del paleoalveo del Po di Primario e diversi coni di rotta ad esso connessi.



**Figura 5-3– Carta Geomorfologica – Quadro conoscitivo diagnostico, Piano Urbanistico Generale (PUG) Unione dei comuni Valli e Delizie**

## 6 Assetto idrogeologico e idrologico locale

### 6.1 Caratteristiche idrogeologiche

L'acquifero Regionale risulta suddiviso in tre grandi gruppi acquiferi (mostrati in Figura 6-1 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.

NUOVA STRATIGRAFIA FISICA DEL PLEISTOCENE EMILIANO-ROMAGNOLO										
Unità di sottosuolo		Unità affioranti				ETA* (milioni di anni)	SCALA CRONOSTRATIGRAFICA (milioni di anni)			
Gruppi Acquiferi	Complessi acquiferi									
A	A0	POST TETTONICO	SUPERSISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO	SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE	AES8	~0,12	PLEISTOCENE SUPERIORE - OLOCENE 0,125			
	A1				AES7					
	A2				AES3/6					
	A3				AES2/5					
	A4				AES1/4					
B		SIN TETTONICO	SUPERSISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO	SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE		~0,45	PLEISTOCENE MEDIO			
		POST TETTONICO								
C		SIN TETTONICO	SUPERSISTEMA QUATERNARIO MARINO	SUS-SISTEMA QUATERNARIO MARINO		~0,80	PLEISTOCENE INFERIORE 0,94			
		POST TETTONICO		SUS-SISTEMA QUATERNARIO MARINO						
		SIN TETTONICO		SISTEMA DI COSTAVERZANA				?	~1,0	?
		POST TETTONICO		SISTEMA DEL TORRENTE STIRONE						
							1,72 PLEISTOCENE SUPERIORE			

Figura 6-1- 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.

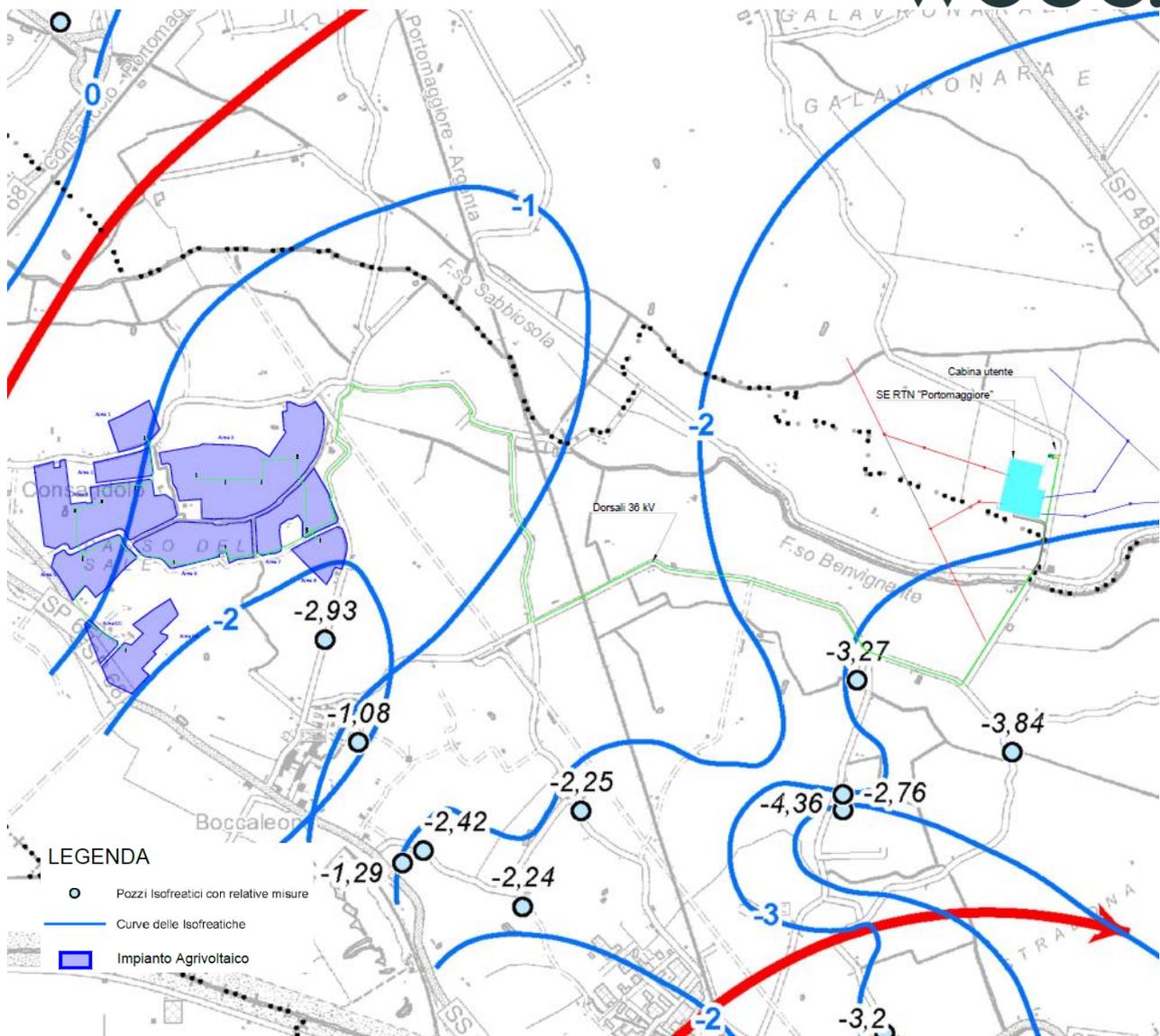
Il Gruppo Acquifero A è attualmente sfruttato in modo intensivo; il Gruppo Acquifero B è sfruttato solo localmente; il Gruppo Acquifero C, isolato rispetto alla superficie per gran parte della sua estensione, è raramente sfruttato.

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 idrostratigrafiche nelle quali è suddiviso il gruppo acquifero:

- Complesso acquifero A4 e A3: questi sono i due acquiferi più profondi, rispettivamente -90 m s.l.m. (A3) e -100 m s.l.m. (A4) nelle aree di alto strutturale (zona Ovest della provincia di Ferrara), raggiungendo profondità del tetto di -230 m s.l.m. (A3) e -280 m s.l.m. (A4) nel settore Est della Provincia dove gli assi strutturali si approfondiscono in direzione E-NE. In entrambi i complessi, i depositi sabbiosi di delta risultano aggradanti indicando una stasi nell'evoluzione paleogeografica del bacino sedimentario. Questi acquiferi, data la loro profondità, non risultano affetti dal ciclo idrogeologico attuale ed ospitano acque fossili e connate di origine Appenninica ed Alpina.
- Complesso acquifero A2: questo complesso, alla scala locale, può essere suddiviso in due altre unità idrostratigrafiche. La prima chiamata A2-II che si sviluppa da Est verso Ovest ed è contenuta in sabbie marine con profondità massime di -110/-190 m s.l.m. Le geometrie morfo-deposizionali di questo complesso acquifero suggerisce una sostanziale stasi nel sistema fluviale-deltizio. La seconda unità è chiamata A2-I, risulta essere il complesso acquifero con la maggiore estensione della Provincia di Ferrara. Il tetto dell'acquifero, influenzato dagli assi strutturali sepolti, si trova approssimativamente tra -40 m s.l.m. nella porzione Ovest del territorio provinciale approfondendosi fino a -130 m s.l.m. nel settore Est. I depositi di questo complesso sono formati dall'unione di corpi fluviali e canali distributori mostrando una fase progradante del sistema ed una riorganizzazione paleogeografica del bacino sedimentario.
- Complesso acquifero A1: anche in questo caso il complesso acquifero può essere suddiviso in due parti. A1-I il quale consiste essenzialmente in corpi sabbiosi "Würmiani" con una profondità massima di -50/-60 m s.l.m. La parte inferiore, chiamata A1-II, è suddivisa in due porzioni: continentale ad Ovest e marina ad Est. Entrambe raggiungono spessori di 12-15 m. In generale il sistema è stato depositato durante una fase trasgressiva dove l'energia del Fiume Po era troppo bassa per consentire continuità ed amalgamazione tra le sabbie continentali e marine, infatti i sedimenti fini di origine palustre si trovano tra i due depositi sabbiosi.
- Complesso acquifero A0: corrisponde all'acquifero freatico contenuto in sedimenti fluviali di meandro e di canale distributore del Fiume Po nella porzione continentale dell'acquifero (W) ed in sabbie di cordone e duna. Questo acquifero si trova ad una profondità variabile compresa tra i 2 ed i 20/30 m s.l.m., confinante con i depositi fini che suddividono l'acquifero freatico A0 dal primo acquifero confinato A1. Le caratteristiche principali idrodinamiche ed idrochimiche di questo acquifero sono:
  - le acque sotterranee, ovunque, sono connesse con i corpi d'acqua superficiali;
  - la ricarica avviene attraverso le piogge, le acque dei canali e delle lagune, le acque marine ad Est e le acque ad uso irriguo;
  - l'idrodinamica delle acque sotterranee è localmente influenzata dai sistemi di drenaggio e pompaggio.

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

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 media di circa -2,50 m da p.c. La direzione di deflusso delle acque superficiali, come si vedrà nella seguente **Fig. 6-2**, è decisamente governata dal corso del Fiume Reno che scorre al confine Ovest-Sud Ovest del territorio in esame.



**Figura 6-2– Carta delle isofreatiche – Quadro conoscitivo diagnostico, Piano Urbanistico Generale (PUG) Unione dei comuni Valli e Delizie**

## 6.2 Caratteri 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 (idrovore) e chiuse che regolano il sistema. Il sistema è altamente gerarchizzato ed a completo controllo antropico e deve contemperare 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 idrovore 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/sovvamento 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.

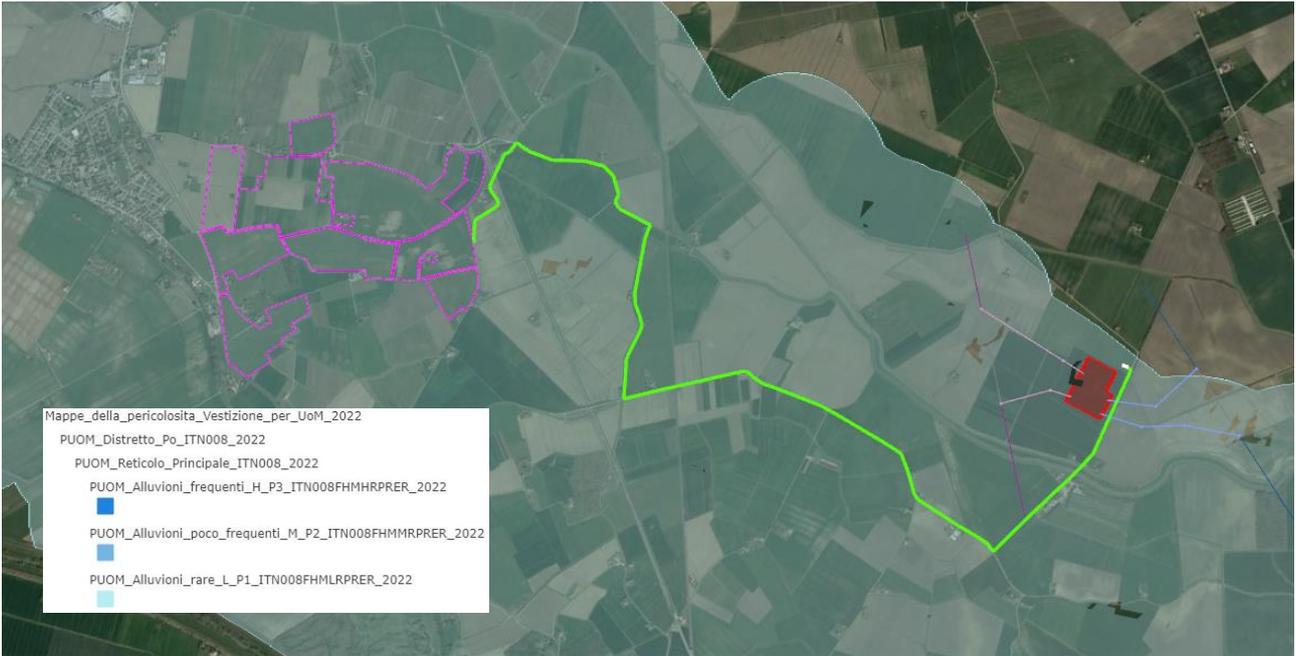
Dall'analisi del Piano di Gestione del Rischio di Alluvione (PGRA,) Il ciclo 2021-2027 aggiornati a Giugno 2022, le aree in esame ricadono sia all'interno del bacino idrografico principale e secondario del Fiume Po, sia del Fiume Reno; la consultazione delle cartografie riportate in stralcio alle immagini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

Distretto Fiume Po (v. **Fig 6-3, Fig. 6-4 e Fig. 6-5**):

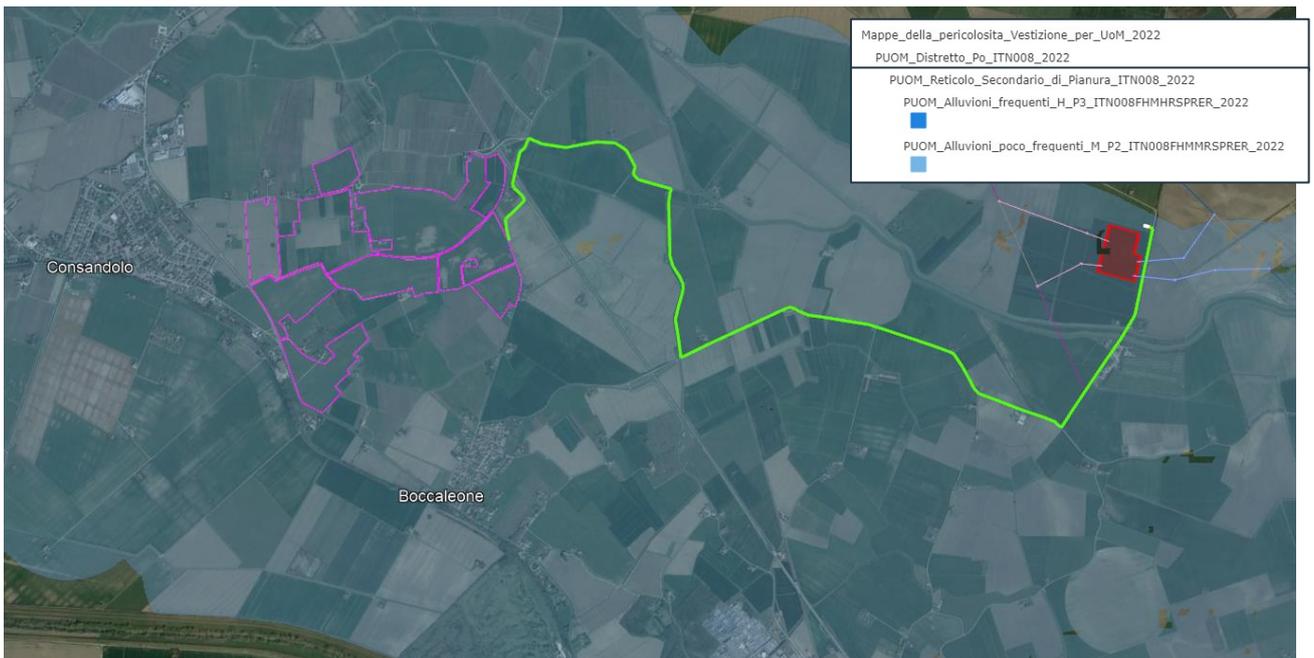
- reticolo principale: classe di pericolo P1, alluvioni rare; bassa probabilità di accadimento; tempo di ritorno compreso fra 200 e 500 Anni, scarsa probabilità di alluvioni o di eventi estremi
- reticolo secondario di pianura: classe di pericolo P2, alluvioni poco frequenti; media probabilità di accadimento tempo di ritorno compreso fra 100 e 200 Anni. In parte P3 Alluvioni frequenti; elevata probabilità d'accadimento tempo di ritorno compreso fra 50 e 100 Anni.

Distretto Fiume Reno (v. **Fig 6-6 e Fig. 6-7**):

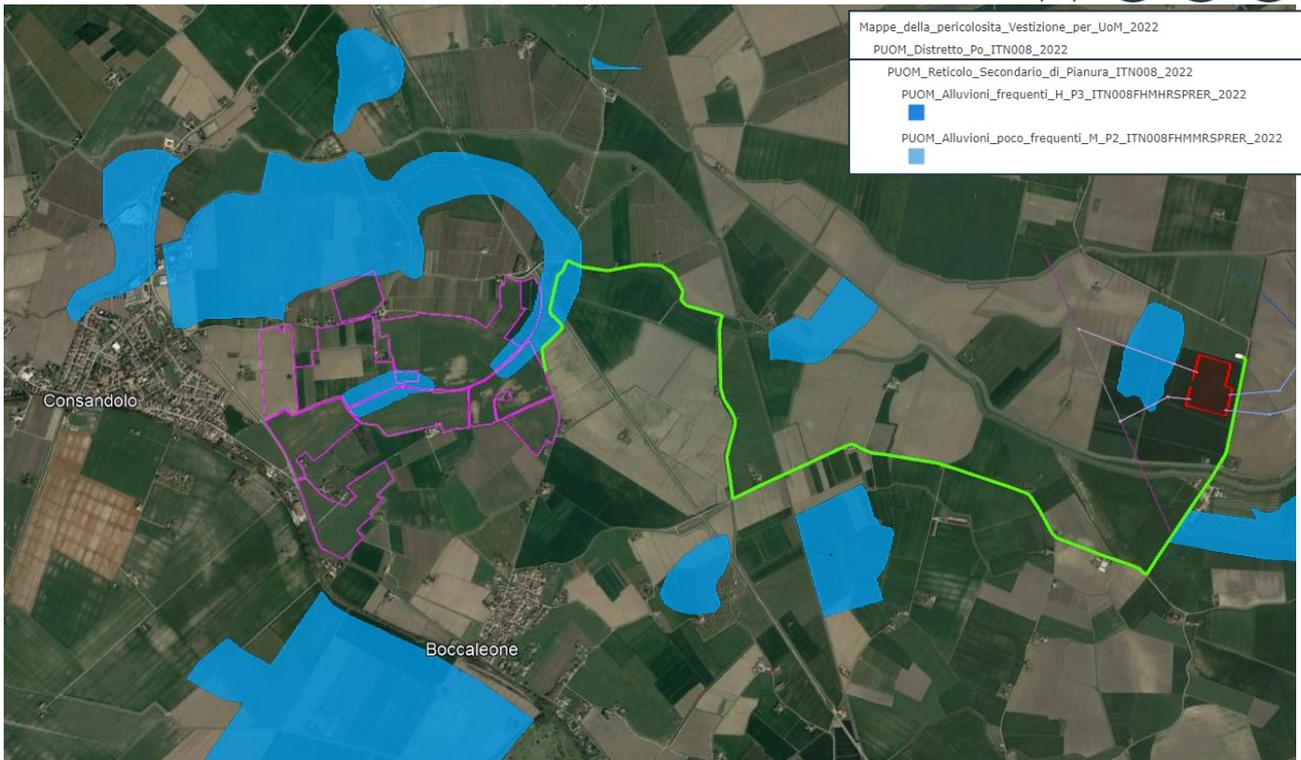
- reticolo principale: classe di pericolo P1, alluvioni rare; bassa probabilità di accadimento; tempo di ritorno compreso fra 200 e 500 Anni, scarsa probabilità di alluvioni o di eventi estremi
- reticolo secondario di pianura: non rientrante nella classificazione



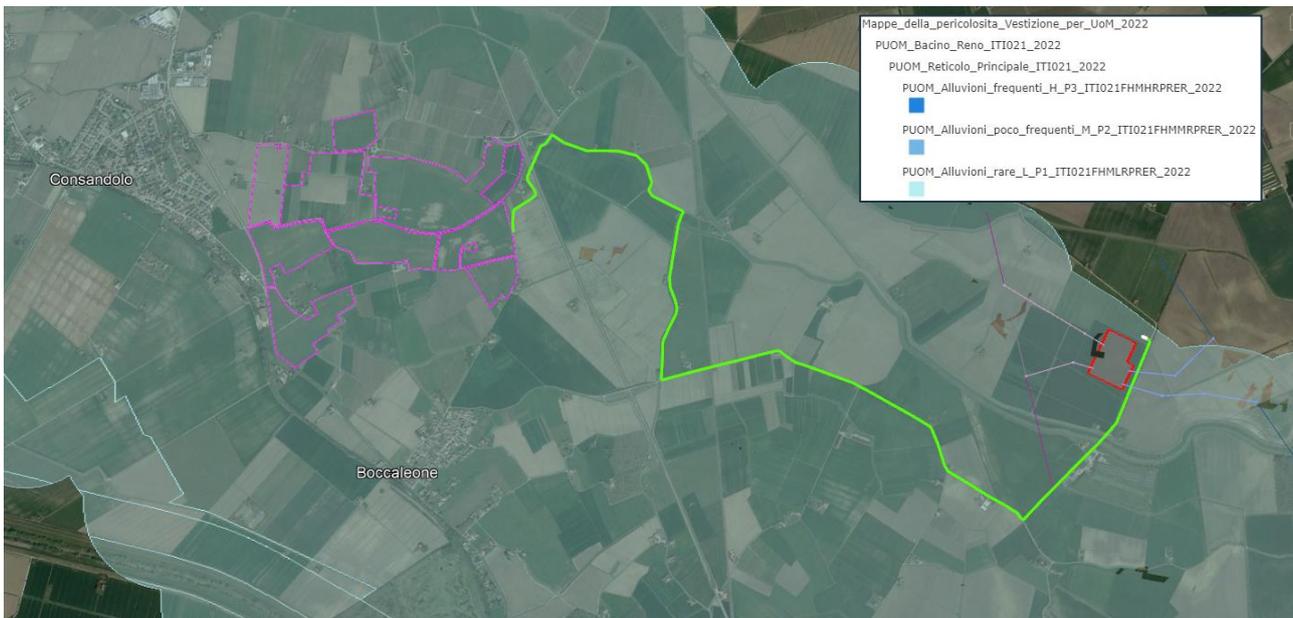
**Figura 6-3- Direttiva Alluvioni - Reticolo primario Fiume Po**



**Figura 6-4- Direttiva Alluvioni - Reticolo secondario Fiume Po (aree P2)**



**Figura 6-5– Direttiva Alluvioni - Reticolo secondario Fiume Po (aree P3)**



**Figura 6-6– Direttiva Alluvioni - Reticolo primario Fiume Reno**

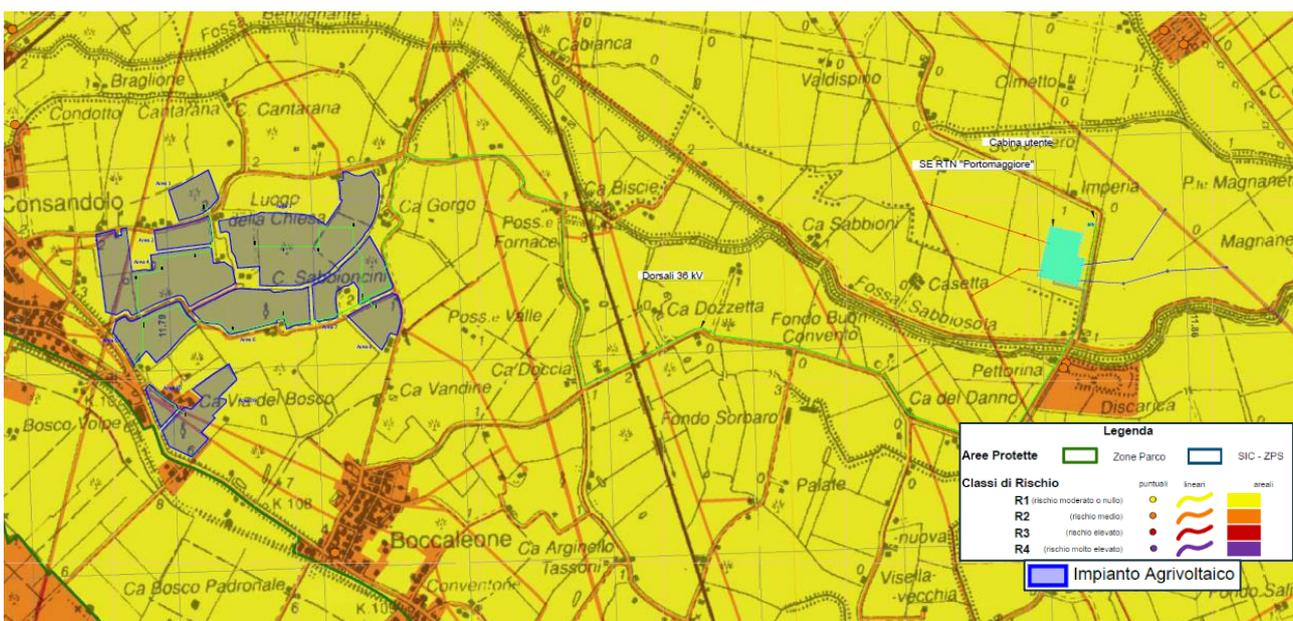


**Figura 6-7- Direttiva Alluvioni - Reticolo secondario Fiume Reno**

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 Agrivoltaico ricade in area a rischio moderato o nullo R1, ad esclusione delle vie di comunicazione che ricadono in aree lineari a rischio medio R2.

Mentre, 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, ad esclusione di una modesta porzione di territorio prossima all'abitato di Consandolo che è classificata a rischio medio R2.



**Figura 6-8- Ambito territoriale: PGRA 204 SE – Argenta – Reticolo principale naturale (Mappa del rischio)**

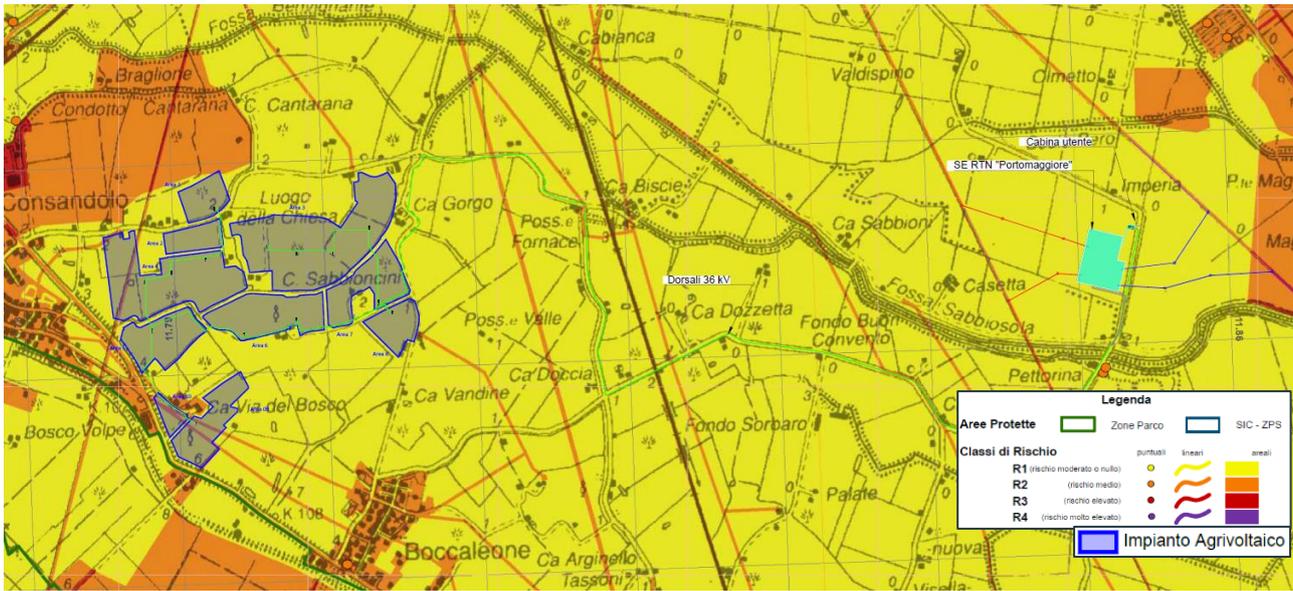
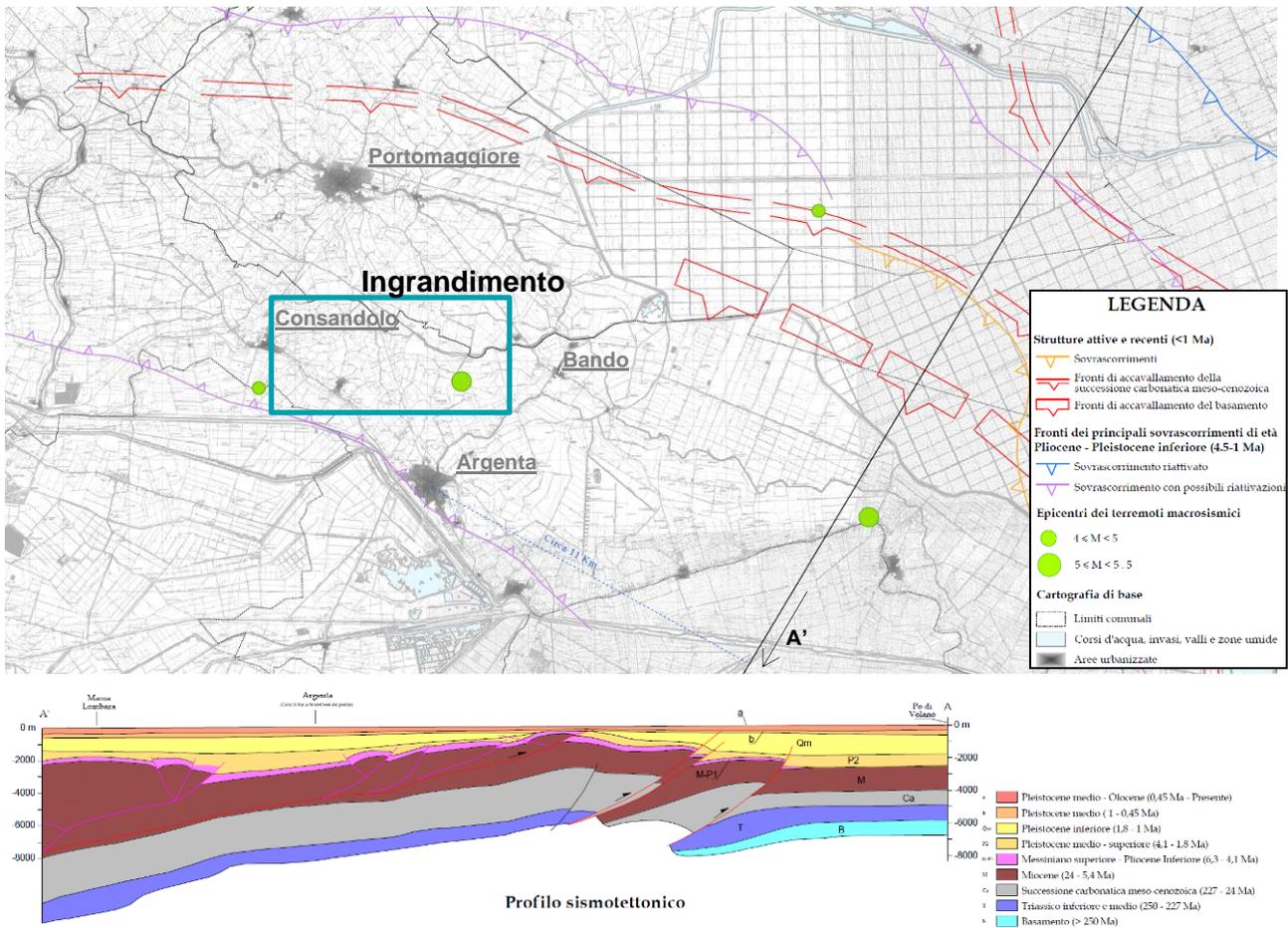


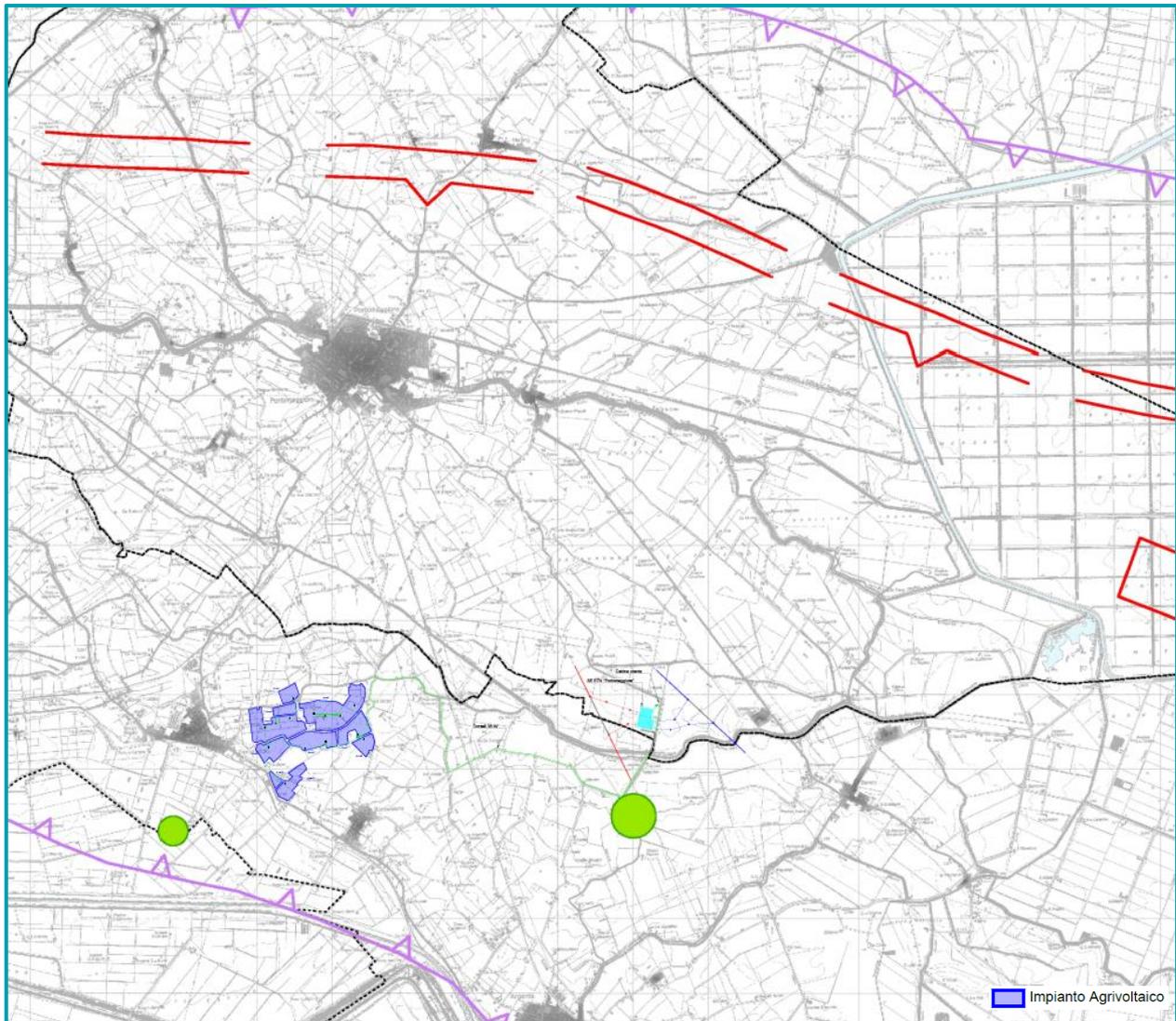
Figura 6-9– Ambito territoriale: PGRA 204 SE – Argenta – Reticolo secondario di pianura (Mappa del rischio)

## 7 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.



**Ingrandimento cartografia degli elementi sismotettonici**



**Figura 7-1 – “Carta degli elementi sismotettonici” Microzonazione sismica di I livello - Unione dei comuni Argenta, Migliarino, Ostellato, Portomaggiore e Voghiera**

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 IX 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.

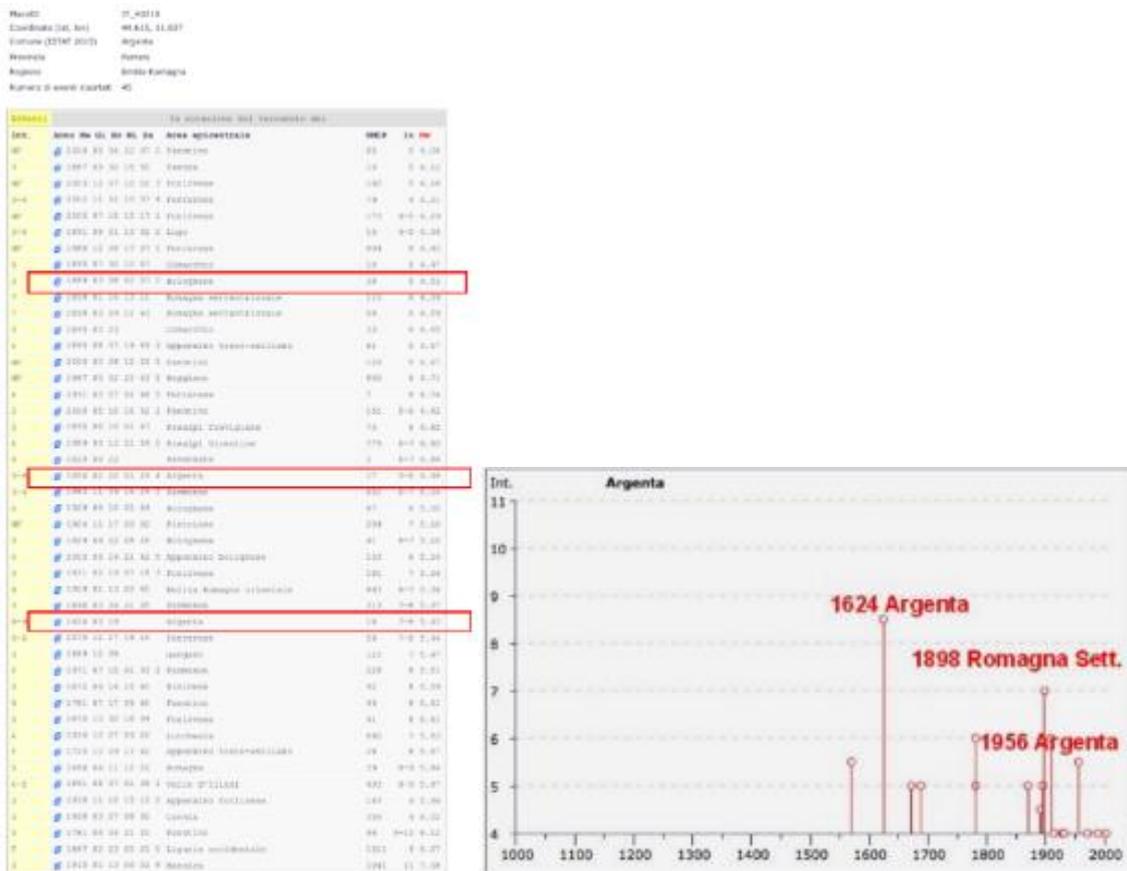


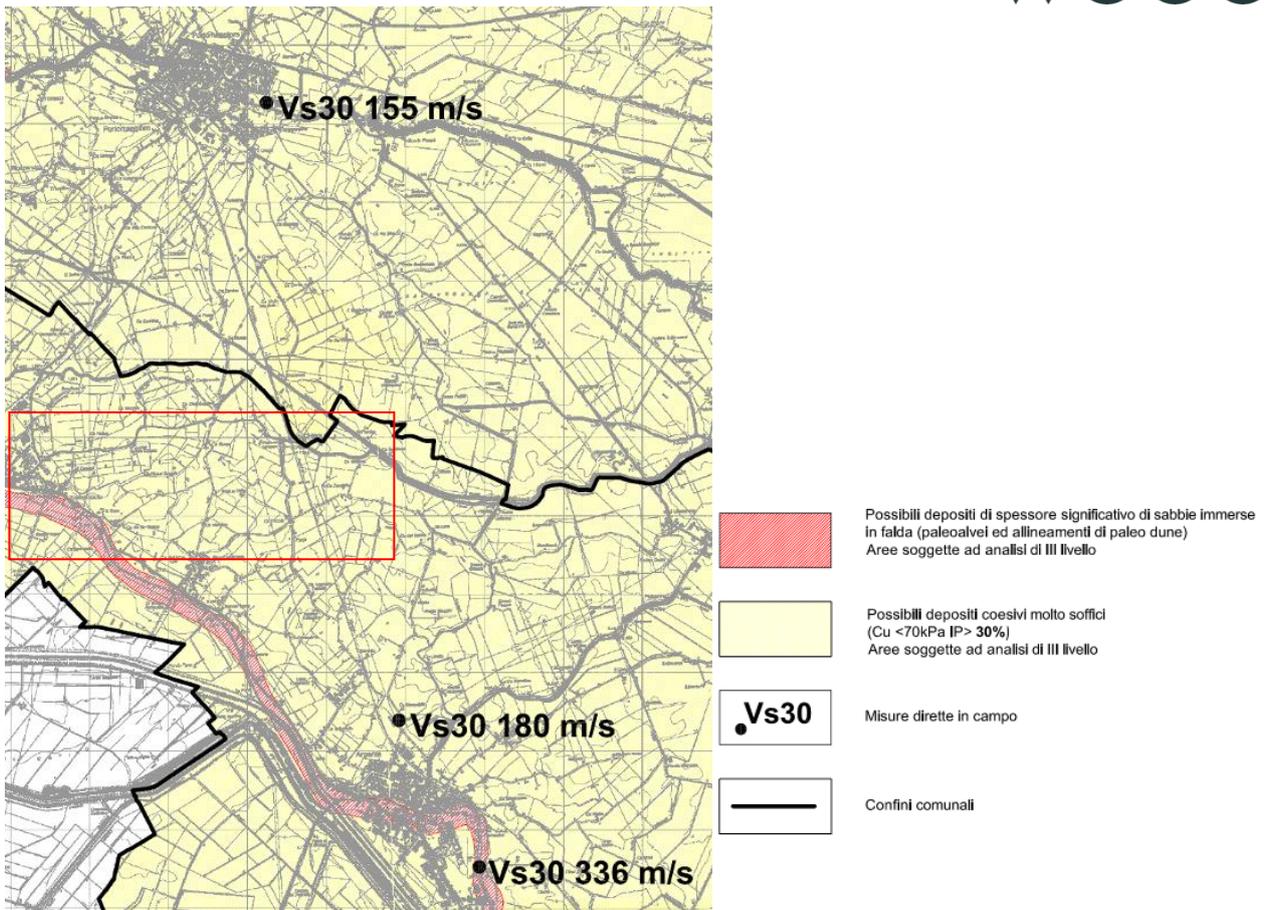
Figura 7-2 – Storia Sismica Locale, da progetto CPT115 INGV

## 7.1 Microzonazione sismica

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 stato redatto nel 2017 e successivamente integrato 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)".

Lo studio di microzonazione sismica di terzo livello si è basato su precedenti studi di primo e secondo livello, attraverso i quali sono state individuate, su base cartografica le aree suscettibili di effetti locali, di notevole interesse per le analisi successivamente eseguite al terzo livello di approfondimento.

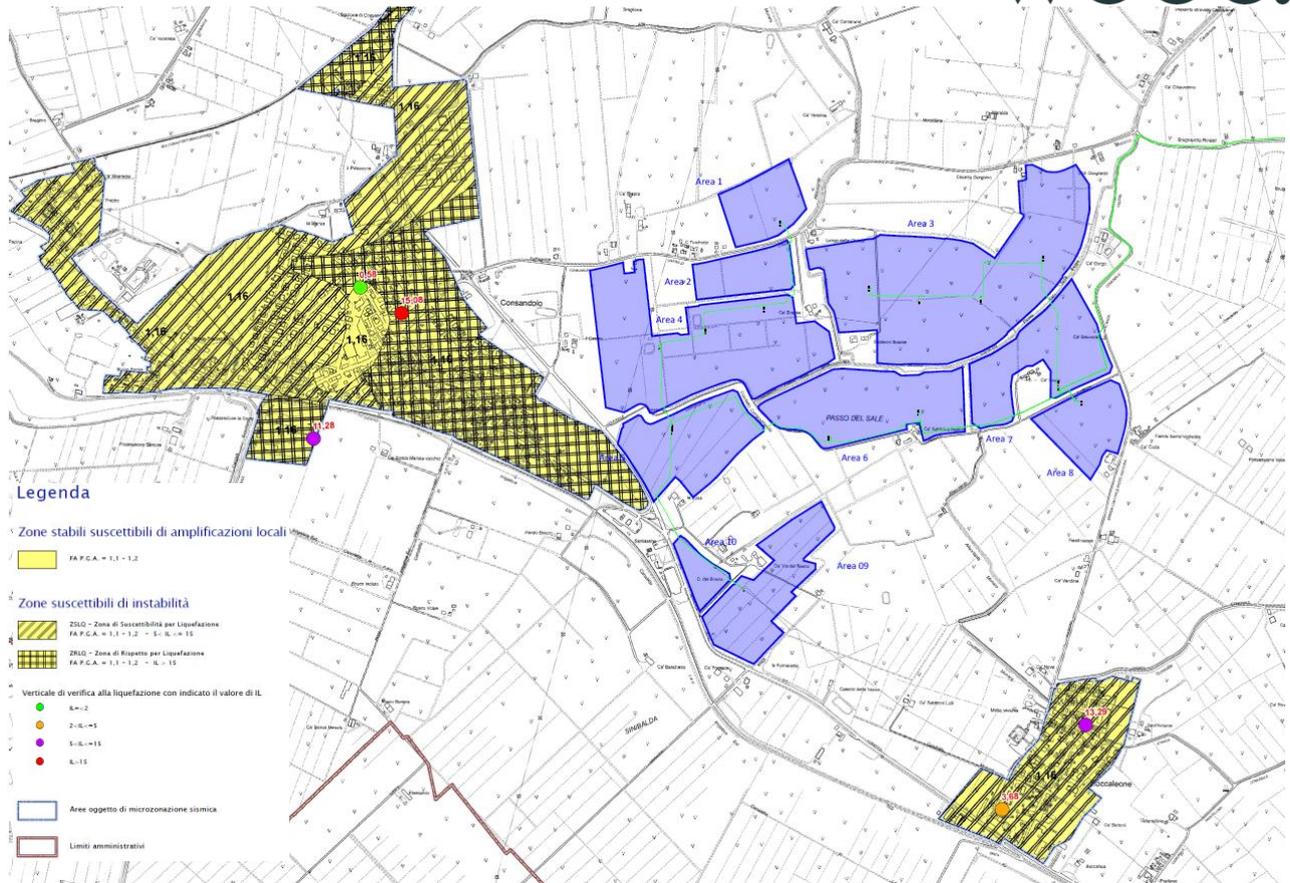
Dall'analisi della cartografia delle aree suscettibili di effetti locali riportata allo studio di microzonazione di I livello inserito all'interno del PSC in forma associata dell'unione dei comuni, si osservano aree caratterizzate da possibili depositi di spessore significativo immerse in falda (paleoalveo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



**Figura 7-3 – Cartografia delle aree suscettibili di effetti locali – PSC in forma associata**  
(territorio in esame evidenziato in rosso)

L'area in esame ricade prevalentemente in prossimità dell'abitato di Consandolo, a nord di Argenta. Dall'analisi delle informazioni emerse dalla microzonazione di III Livello per il comune di Argenta, e nel dettaglio per il territorio di Consandolo emerge che l'area di futura realizzazione dell'impianto agrivoltaico non rientra in un ambito sottoposto a microzonazione di III livello.

Ciò è possibile definirlo dalla cartografia allegata allo studio di Microzonazione, e nel dettaglio dalla Tavola 6b "FA P.G.A.", riportata in stralcio alla figura seguente, la quale mostra come per l'abitato di Consandolo siano presenti ampie zone suscettibili di instabilità connesse con la potenziale insorgenza di fenomeni di Liquefazione dei terreni. Ciò sarà da tenere in considerazione anche per i settori che saranno occupati dall'impianto Agrivoltaico, i quali si trovano in prossimità ai confini amministrativi dell'abitato di Consandolo, a tal riguardo si rimanda alle verifiche di potenziale liquefazione effettuate nell'apposito capitolo dell'elaborato in oggetto.



**Figura 7-4 – Carta di microzonazione sismica di III livello – FA P.G.A.**

In merito alla cabina utente, tale struttura ricade in prossimità dell’abitato di Bando, frazione di Argenta, per il quale areale lo studio di microzonazione si è concentrato sul solo territorio abitato. Pertanto, visto che la Cabina utente in progetto ricade in un settore esterno all’abitato, non è possibile eseguire alcuna valutazione in merito alla microzonazione sismica di tale porzione di territorio e non è possibile riportare alcuna cartografia di dettaglio.

## 8 Indagini geognostiche eseguite

Nell'area di indagine sono state eseguite le prove riportate nella seguente tabella.

**Tabella 8.1 – Indagini svolte**

N.	Data di esecuzione	Tipologia Indagine	Scopo
<b>PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CON PIEZOCONO</b>			
6	Settembre 2023	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"> <li>• lo sforzo necessario per la penetrazione della punta: qc;</li> <li>• l'attrito che si sviluppa sul manicotto posto al di sopra della punta: fs.</li> </ul> <p>Tali prove, sono state eseguite al fine di verificare:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• la capacità portante dei terreni fondali</li> <li>• verifica eventuale rischio sismico</li> </ul> <p>La punta è inoltre munita di un settore poroso e relativo trasduttore (piezocono) per la misurazione della pressione dell'acqua interstiziale nei pori durante l'avanzamento: u</p>
2		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>
2	Ottobre 2023	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>

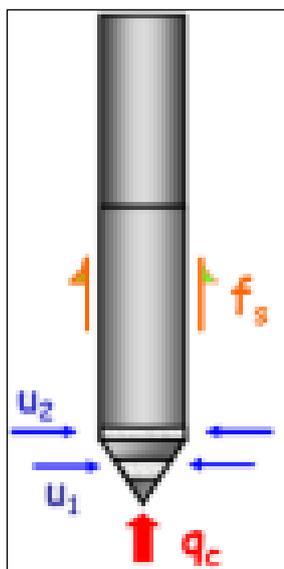
L'ubicazione delle indagini è riportata in tavola 1 allegata al presente documento.

### 8.1 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.

#### 8.1.1 Strumentazione utilizzata

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



**Figura 8-1 – Schema punta CPTU**



**Figura 8-2 – Penetrometro TG63-200**

Nella tabella seguente si riportano le caratteristiche del penetrometro utilizzato.

**Tabella 8.2 – Indagini svolte**

<b>Pesi e dimensioni</b>		
H (mm)	1520	
L (mm)	2450	
P (mm)	1120	
Peso (kg)	1140	
<b>Dati tecnici</b>		
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
<b>Caratteristiche tecnico-strumentali prova dinamica</b>		
Peso massa battente (kg)	63,5	
Peso sistema di battuta (kg)	1,8	
Diametro punta conica (mm)	51,0	
Peso aste (kg/m)	6,31	
Area di base punta (cm <sup>2</sup> )	20,43	
Altezza di caduta (m)	0,75	
Avanzamento punta (cm)	20	
Lunghezza aste (m)	1	
<b>Ancoraggio</b>		
Motori idraulici con riduttore	4	
Coppia [kgm]	160	
Sistema di ancoraggio	Aste elicoidali composte	
Aste elicoidali Ø x L (mm)	100 x 750	

### 8.1.2 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<sup>2</sup>)

**E<sub>s</sub>**: Modulo di elasticità longitudinale o modulo di Young (kg/cm<sup>2</sup>);

**G<sub>o</sub>**: Modulo di taglio massimo (kg/cm<sup>2</sup>);

**Su**: Coesione non drenata (kg/cm<sup>2</sup>);

**Dr**: Densità relativa (%);

**φ**: Angolo d'attrito interno (°);

**Y'**: Peso di Volume (t/m<sup>3</sup>).

Per maggiori dettagli si vedano i report in Allegato 1.

**Tabella 8.3 – Prova penetrometrica CPTU 01 – 20,0 m**

N	litologia	M (kg/cm <sup>2</sup> )	Es (kg/cm <sup>2</sup> )	G0 (kg/cm <sup>2</sup> )	Su (kg/cm <sup>2</sup> )	Dr (%)	φ (°)	Y' (t/m <sup>3</sup> )
<b>Da – 0,00 a – 2,30 metri dal p.c</b>								
1	Sabbia limosa e limo sabbioso con livelli di suolo densi e compatti	356	314	387	-	51,0	39,0	1,75
<b>Da – 2,30 a – 20,00 metri dal p.c.</b>								
2	Argilla limosa e limo argilloso con lenti centimetriche di materiale organico	86	546	453	0,66	-	-	1,74

**Tabella 8.4 – Prova penetrometrica CPTU 02 – 20,0 m**

N	litologia	M (kg/cm <sup>2</sup> )	Es (kg/cm <sup>2</sup> )	G0 (kg/cm <sup>2</sup> )	Su (kg/cm <sup>2</sup> )	Dr (%)	φ (°)	Y' (t/m <sup>3</sup> )
<b>Da – 0,00 a – 1,50 metri dal p.c.</b>								
1	Sabbia e sabbia limosa	339	296	346	-	62,0	41,0	1,76
<b>Da – 1,50 a – 2,30 metri dal p.c.</b>								
2	Argilla e argilla debolmente limosa	191	317	395	0,89	-	-	1,81
<b>Da – 2,30 a – 3,60 metri dal p.c.</b>								
3	Sabbia e sabbia limosa	553	446	559	-	46,7	38,3	1,81
<b>Da – 3,60 a – 8,00 metri dal p.c.</b>								
4	Argilla e argilla limosa	19	337	234	0,25	-	-	1,61
<b>Da – 8,00 a – 10,30 metri dal p.c.</b>								
5	Suolo organico, Torba e Argilla organica	9	-	247	0,20	-	-	1,60
<b>Da – 10,30 a – 20,00 metri dal p.c.</b>								
6	Argilla e argilla limosa con lenti di materiali organici (Torba e Argilla organica)	80	648	541	0,72	-	-	1,76

**Tabella 8.5 – Prova penetrometrica CPTU 03 – 20,0 m**

N	litologia	M (kg/cm <sup>2</sup> )	Es (kg/cm <sup>2</sup> )	G0 (kg/cm <sup>2</sup> )	Su (kg/cm <sup>2</sup> )	Dr (%)	φ (°)	Y' (t/m <sup>3</sup> )
<b>Da – 0,00 a – 6,10 metri dal p.c.</b>								
1	Sabbia limosa e limo sabbioso intervallato da lenti centimetriche debolmente argillose	242	309	333	-	41,6	37,1	1,72
<b>Da – 6,10 a – 14,20 metri dal p.c.</b>								
2	Argilla e argilla limosa con lenti di materiali organici (Torba e Argilla organica)	46	545	380	0,46	-	-	1,70
<b>Da – 14,20 a – 15,60 metri dal p.c.</b>								
3	Sabbia e sabbia limosa	888	737	921	-	51,7	39,3	1,85
<b>Da – 15,60 a – 20,00 metri dal p.c.</b>								
4	Argilla e argilla limosa con lenti di materiali organici (Torba e Argilla organica)	123	465	711	0,96	-	-	1,81

**Tabella 8.6 – Prova penetrometrica CPTU 04 – 20,0 m**

N	litologia	M (kg/cm <sup>2</sup> )	Es (kg/cm <sup>2</sup> )	G0 (kg/cm <sup>2</sup> )	Su (kg/cm <sup>2</sup> )	Dr (%)	φ (°)	Y' (t/m <sup>3</sup> )
1	<b>Da – 0,00 a – 3,40 metri dal p.c.</b>							
	Sabbia e sabbia limosa	388	347	420	-	50,3	39,0	1,79
2	<b>Da – 3,40 a – 14,40 metri dal p.c.</b>							
	Argilla e argilla limosa	47	359	297	0,44	-	-	1,64
3	<b>Da – 14,40 a – 15,20 metri dal p.c.</b>							
	Limo sabbioso e sabbia limosa	509	590	752	-	38,7	36,5	1,82
4	<b>Da – 15,20 a – 20,00 metri dal p.c.</b>							
	Argilla e argilla debolmente limosa	171	497	737	1,13	-	-	1,83

**Tabella 8.7 – Prova penetrometrica CPTU 05 – 20,0 m**

N	litologia	M (kg/cm <sup>2</sup> )	Es (kg/cm <sup>2</sup> )	G0 (kg/cm <sup>2</sup> )	Su (kg/cm <sup>2</sup> )	Dr (%)	φ (°)	Y' (t/m <sup>3</sup> )
1	<b>Da – 0,00 a – 1,30 metri dal p.c.</b>							
	Terreno argilloso limoso molto denso e compatto	254	354	323	1,52	-	-	1,83
2	<b>Da – 1,30 a – 5,00 metri dal p.c.</b>							
	Argilla e argilla limosa con lenti debolmente sabbiose	162	-	304	0,51	-	-	1,69
3	<b>Da – 5,00 a – 14,70 metri dal p.c.</b>							
	Sabbia e sabbia limosa	756	604	757	-	46,6	38,3	1,83
4	<b>Da – 14,70 a – 20,00 metri dal p.c.</b>							
	Argilla e argilla limosa	170	590	786	1,14	-	-	1,83

**Tabella 8.8 – Prova penetrometrica CPTU 06 – 20,0 m**

N	litologia	M (kg/cm <sup>2</sup> )	Es (kg/cm <sup>2</sup> )	G0 (kg/cm <sup>2</sup> )	Su (kg/cm <sup>2</sup> )	Dr (%)	φ (°)	Y' (t/m <sup>3</sup> )
1	<b>Da – 0,00 a – 1,70 metri dal p.c.</b>							
	Argilla e argilla limosa, molto densa e compatta nei primi 50 cm	175	228	258	0,92	-	-	1,76
2	<b>Da – 1,70 a – 3,60 metri dal p.c.</b>							
	Sabbia e sabbia limosa	362	294	369	-	42,1	37,3	1,70
3	<b>Da – 3,60 a – 13,50 metri dal p.c.</b>							
	Argilla e argilla debolmente limosa	51	239	263	0,43	-	-	1,61
4	<b>Da – 13,50 a – 17,50 metri dal p.c.</b>							

N	litologia	M (kg/cm <sup>2</sup> )	Es (kg/cm <sup>2</sup> )	G0 (kg/cm <sup>2</sup> )	Su (kg/cm <sup>2</sup> )	Dr (%)	φ (°)	Y' (t/m <sup>3</sup> )
	Argilla limosa e limo argilloso	262	536	531	1,25	-	-	1,73
5	<b>Da – 17,50 a – 20,00 metri dal p.c.</b>							
	Argilla e argilla debolmente limosa	200	-	740	1,25	-	-	1,83

**Tabella 8.9 – Prova penetrometrica SCPTU 01 – 30,0 m**

N	litologia	M (kg/cm <sup>2</sup> )	Es (kg/cm <sup>2</sup> )	G0 (kg/cm <sup>2</sup> )	Su (kg/cm <sup>2</sup> )	Dr (%)	φ (°)	Y' (t/m <sup>3</sup> )
1	<b>Da – 0,00 a – 19,60 metri dal p.c.</b>							
	Sabbia e sabbia limosa	696	570	708	-	47,8	38,4	1,80
2	<b>Da – 19,60 a – 30,00 metri dal p.c.</b>							
	Argilla e argilla limosa con lenti di materiali organici (Torba e Argilla organica)	131	849	877	1,22	-	-	1,82

**Tabella 8.10 – Prova penetrometrica SCPTU-CU – 30,0 m**

N	litologia	M (kg/cm <sup>2</sup> )	Es (kg/cm <sup>2</sup> )	G0 (kg/cm <sup>2</sup> )	Su (kg/cm <sup>2</sup> )	Dr (%)	φ (°)	Y' (t/m <sup>3</sup> )
1	<b>Da – 0,00 a – 1,20 metri dal p.c.</b>							
	Sabbia e sabbia limosa	321	267	361	-	65,5	41,5	1,79
2	<b>Da – 1,20 a – 23,10 metri dal p.c.</b>							
	Argilla e argilla limosa con lenti di materiali organici (Torba e Argilla organica)	92	359	458	0,70	-	-	1,75
3	<b>Da – 23,10 a – 24,10 metri dal p.c.</b>							
	Sabbia limosa e limo sabbioso	1141	1102	1349	-	43,9	37,7	1,94
4	<b>Da – 24,10 a – 30,00 metri dal p.c.</b>							
	Argilla e argilla debolmente limosa	129	-	846	1,23	-	-	1,81

## 8.2 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.

### 8.2.1 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

Le indagini sono state svolte in corrispondenza dell'Impianto Agrivoltaico e della Cabina Utente, come mostrato all'immagine successiva.



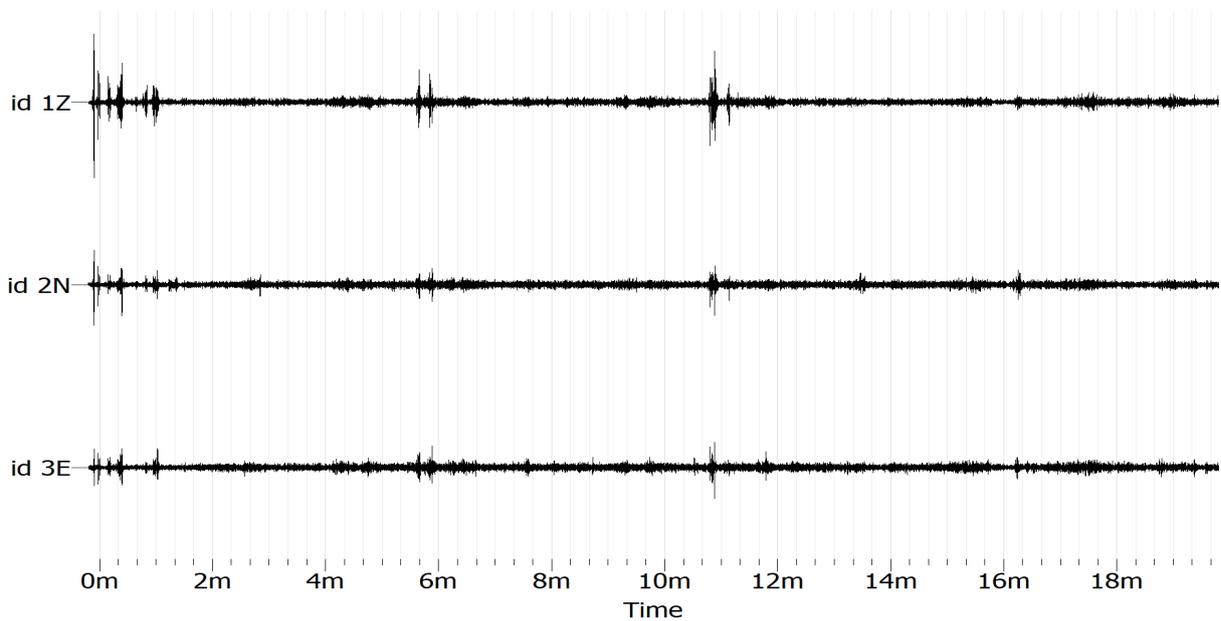
**Figura 8-3 – Ubicazione prove HVSR**

### 8.2.2 Risultati dell'indagine

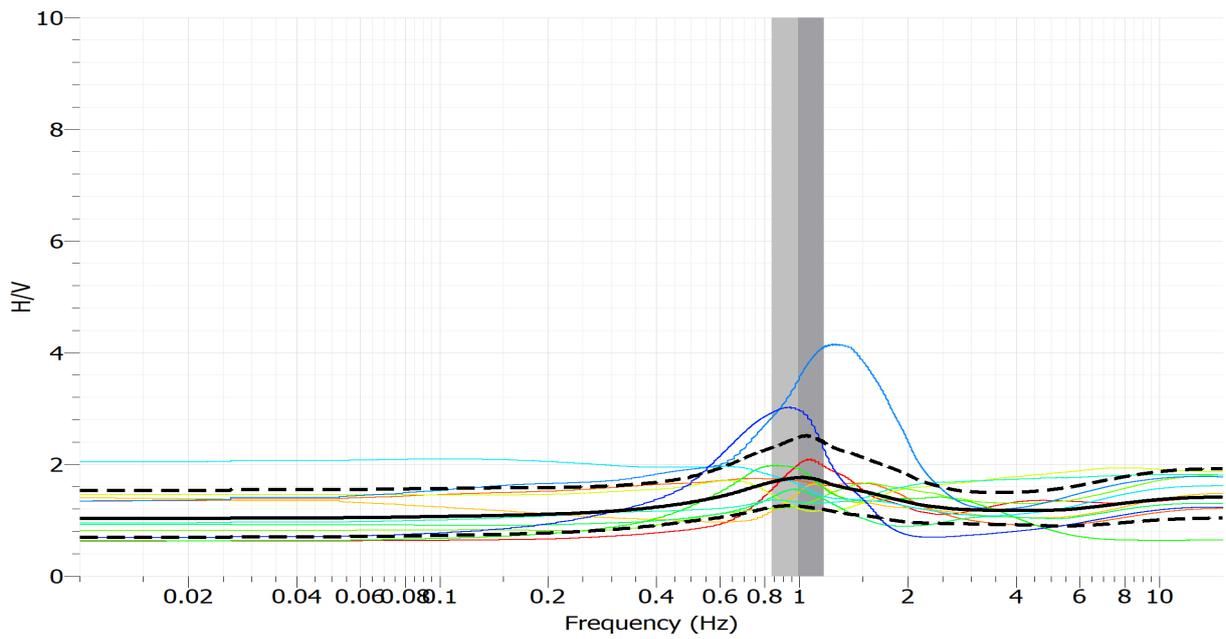
L'indagine ha permesso di valutare la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$  (m/s) ed individuare alcuni picchi indice di frequenze alle quali i siti in esame potrebbero entrare in risonanza in caso di evento sismico.

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

– **Prova HVSR 1**



**Figura 8-4 – Tracciati sismici prova HVSR 1**



**Figura 8-5 – Curva del rapporto H/V prova HVSR 1**

Grafico di Stazionarietà

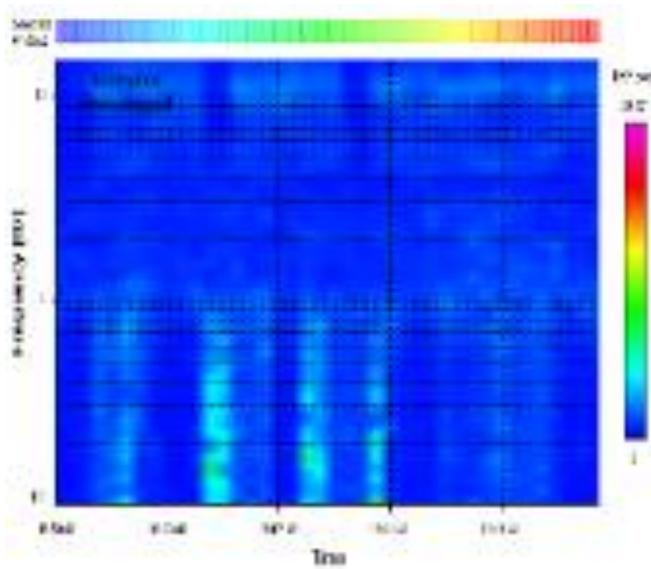
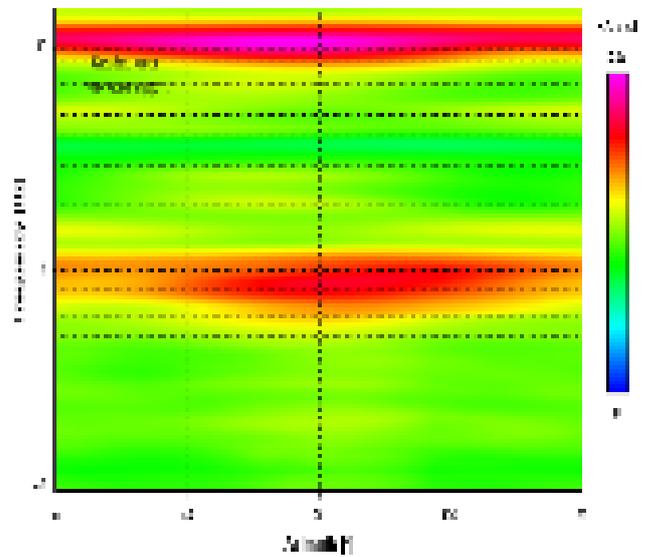


Grafico di Direzionalità



**Figura 8-6 – Grafici di stazionarietà e direzionalità prova HVSR 1**

**Tabella 8.11 – Criteri di ammissibilità curva HV**

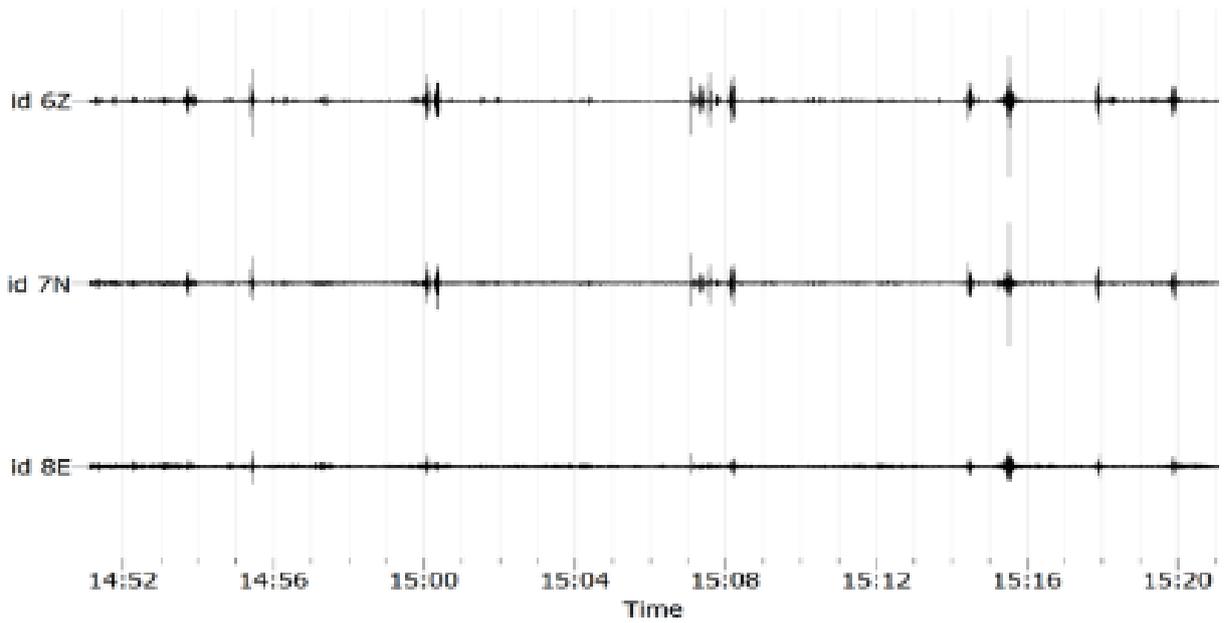
Criteri	Picco f0
Criterio 1	OK
Criterio 2	OK
Criterio 3	OK
Criterio 4	NO
Criterio 5	OK
Criterio 6	OK
Criterio 7	NO
Parametri	Valore
Finestra temporale	20 s
Frequenza massima	20 Hz
Numero di Campioni	40
f0	0,99 (0,83; 1,17)
A0	1,76 (1,25; 2,47)

Per la prova HVSR 1 si è individuato un picco alla frequenza f0 di 0,99 Hz e A0 1,76.  
L'analisi dell'indagine ha permesso di verificare la seguente successione della velocità delle onde sismiche.

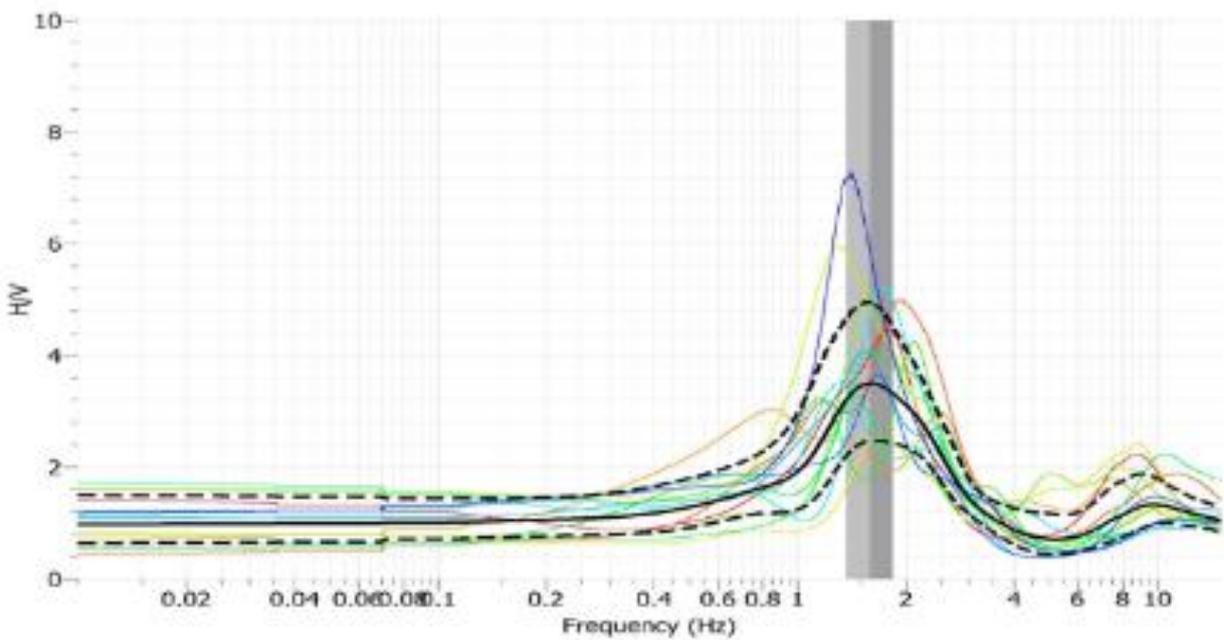
**Tabella 8.12 – Analisi del profilo delle velocità delle onde sismiche e VSeq**

Strato	Profondità (m)	Spessore (m)	Vs (m/s)	Profilo verticale di velocità delle Vs
Strato1	39,0	-39,0	207	
Strato 2	33,0	-72,0	343	
Strato 3	88,0	-160,0	442	
Strato 4	107,0	-267,0	582	
Strato 6	∞	∞	667	
<b>VSeq</b>	<b>207 m/s</b>			

- Prova HVSR 2



**Figura 8-7 – Tracciati sismici prova HVSR 2**



**Figura 8-8 – Curva del rapporto H/V prova HVSR 2**

Grafico di Stazionarietà

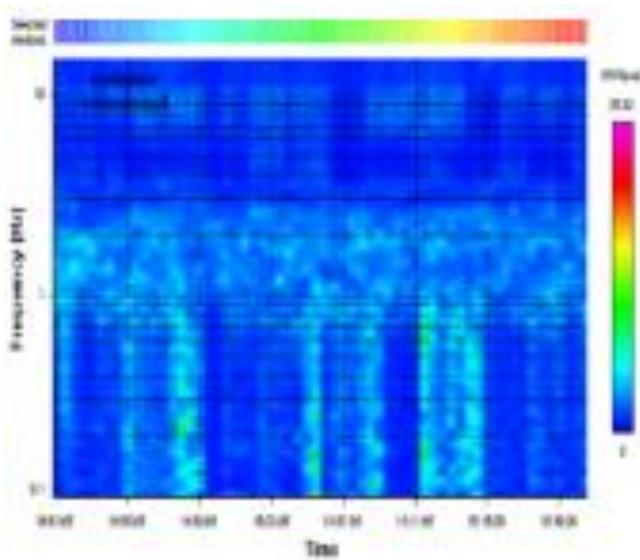


Grafico di Direzionalità

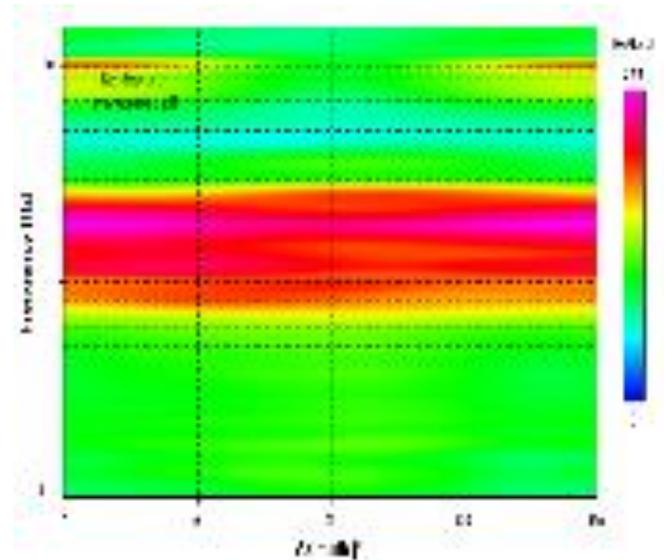


Figura 8-9 – Grafici di stazionarietà e direzionalità prova HVSR 2

Tabella 8.13 – Criteri di ammissibilità curva HV

Criteri	Picco f0
Criterio 1	OK
Criterio 2	OK
Criterio 3	OK
Criterio 4	OK
Criterio 5	OK
Criterio 6	OK
Criterio 7	NO
Parametri	Valore
Finestra temporale	20 s
Frequenza massima	20 Hz
Numero di Campioni	40
f0	1,47 (1,35; 1,87)
A0	3,49 (2,47; 4,94)

Per la prova HVSR 2 si è individuato un picco alla frequenza f0 di 1,47 Hz e A0 3,49.

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

**Tabella 8.14 – Analisi del profilo delle velocità delle onde sismiche e  $V_{Seq}$**

Strato	Profondità (m)	Spessore (m)	$V_s$ (m/s)	Profilo verticale di velocità delle $V_s$
Strato1	15,0	-15,0	170	
Strato 2	23,0	-38,0	288	
Strato 3	55,0	-93,0	440	
Strato 4	80,0	-173,0	480	
Strato 5	80,0	-253,0	525	
Strato 6	-	$\infty$	630	
<b><math>V_{Seq}</math></b>	<b>213 m/s</b>			

## 9 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.

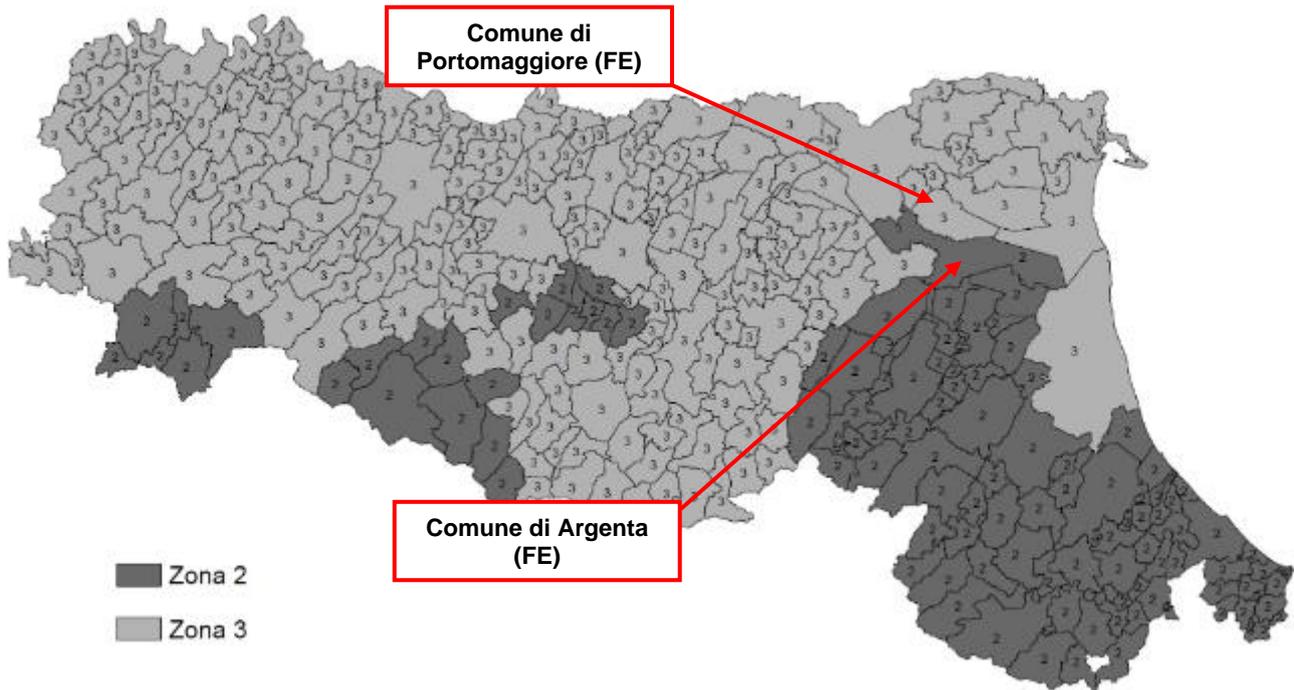
### 9.1 Classificazione sismica del sito

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 il Comune di Portomaggiore risulta classificato con codice ISTAT 38019 e come zona a rischio sismico di terza categoria (Zona 3), zona attribuita a comuni a sismicità moderata.**



**Figura 9-1 - 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: ED50: Long. 11,795973 - Lat. 44,652023
- Cabina Utente: ED50: Long. 11,850532 - Lat. 44,653018

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

- **$a_g$** : accelerazione orizzontale massima al sito;
- **Fo**: valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- **Tc\***: 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**

**Tabella 9.1 – Parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_c^*$  di cui al D.M. 17/01/2018 elaborati con Spettri-NTC ver. 1.0.3**

Impianto Agrivoltaico - Argenta				Cabina Utente - Portomaggiore					
FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO				FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO					
<input checked="" type="radio"/> Ricerca per coordinate		LONGITUDINE 11,79597	LATITUDINE 44,65202	<input checked="" type="radio"/> Ricerca per coordinate		LONGITUDINE 11,85053	LATITUDINE 44,65302		
<input type="radio"/> Ricerca per comune		REGIONE Emilia-Romagna	PROVINCIA Ferrara	COMUNE Argenta	<input type="radio"/> Ricerca per comune		REGIONE Emilia-Romagna	PROVINCIA Ferrara	COMUNE Portomaggiore
<b>Valori dei parametri <math>a_g</math>, <math>F_o</math>, <math>T_c^*</math> per i periodi di ritorno <math>T_R</math> di riferimento</b>									
$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_c^*$ [s]	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_c^*$ [s]		
30	0,044	2,486	0,260	30	0,043	2,497	0,261		
50	0,056	2,472	0,274	50	0,055	2,477	0,274		
72	0,067	2,471	0,282	72	0,065	2,477	0,283		
101	0,080	2,547	0,269	101	0,078	2,544	0,269		
140	0,094	2,567	0,270	140	0,092	2,571	0,269		
201	0,110	2,581	0,271	201	0,109	2,580	0,271		
475	0,157	2,585	0,274	475	0,155	2,587	0,274		
975	0,210	2,525	0,281	975	0,208	2,528	0,280		
2475	0,297	2,440	0,295	2475	0,295	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:

- **Impianto Agrivoltaico  $a_g = 0,157 g$**
- **Cabina Utente  $a_g = 0,155 g$**

## 9.2 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).

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



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
<b>Dorsale Ferrarese</b>	<b>912</b>	<b>6.14</b>	<b>0.12</b>	<b>6.14</b>	<b>-1.35</b>	<b>0.12</b>	<b>0.13</b>	<b>A</b>	<b>0.12</b>
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

**Figura 9-3 - Caratteristiche principali delle zone sismogenetiche ZS9**

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

### 9.3 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.

#### 9.3.1 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:

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

Dove:

- $h_i$  = spessore in metri dell'*i*-esimo strato;
- $V_{S,i}$  = 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  $V_{S,30}$ , potendo classificare il sottosuolo con riferimento alla Tabella 3.2.II delle NTC18, di seguito riportata.

**Tabella 9.4 – Categorie di sottosuolo secondo il D.M. 17/01/2018 (Tabella 3.2.II)**

<b>Categoria</b>	<b>Descrizione</b>	<b>V<sub>s,30</sub> (m/s)</b>
<b>A</b>	<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>B</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
<b>C</b>	<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
<b>D</b>	<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
<b>E</b>	<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>	---

Per l'area di indagine sono state condotte n.2 prove SCPTU, riferite rispettivamente all'area dove sorgerà l'Impianto Agrivoltaico ed all'area dove verrà realizzata la Cabina Utente. Inoltre, sono state condotte n.2 prove HVSR rispettivamente in corrispondenza dell'Impianto Agrivoltaico e la Cabina Utente.

Grazie a tali prove è stato possibile definire la categoria di suolo a cui appartiene il territorio in esame:

– **Impianto Agrivoltaico – prova SCPTU 01 e HVSR\_1**

Dall'elaborazione dei dati registrati è emersa una **V<sub>s30</sub> compresa tra 203,83 m/s (SCPTU 01 - v. All.2) e 207 m/s (HVSR\_1)** e di conseguenza il suolo risulta appartenente alla **Categoria C**: "*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente 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 180 m/s e 360 m/s*".

– **Cabina Utente – prova SCPTU-CU e HVSR\_2**

Dall'elaborazione dei dati registrati è emersa una **V<sub>s30</sub> compresa tra 148,67 m/s (SCPTU-CU- v. All.2) e 213 m/s (HVSR\_2)**. Al fine della classificazione del terreno, si ritiene maggiormente cautelativo considerare il valore inferiore tra i due ottenuti, ovvero quello risultato dalla prova SCPTU-CU 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*".

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

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

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

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

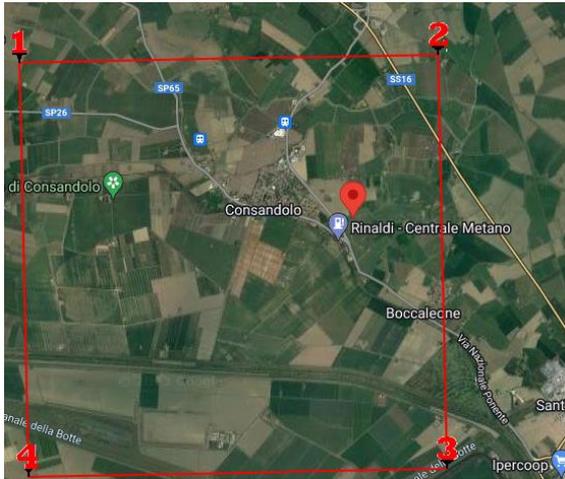
**Tabella 9.5 – Parametri per la determinazione dei coefficienti sismici.**

Parametro	Valore	Riferimento D.M. 17/01/18	Osservazioni / Considerazioni
<b>V<sub>N</sub></b> <b>Vita nominale</b>	<b>50 anni</b>	<b>Tabella 2.4.I</b> <i>"Costruzioni con livelli di prestazioni elevati"</i>	La vita nominale (V <sub>N</sub> ) 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.
<b>Classe d'uso</b>	<b>Classe II*</b>	<b>Punto 2.4.2</b>	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.
<b>C<sub>U</sub></b> <b>Coefficiente d'uso</b>	<b>1,0</b>	<b>Tabella 2.4.II</b> per la Classe II	Il valore del coefficiente d'uso C <sub>U</sub> è definito al variare della classe d'uso.
<b>V<sub>R</sub></b> <b>Periodo di riferimento per l'azione sismica</b>	<b>50 anni</b>	<b>Punto 2.4.3</b>	Le azioni sismiche sulle costruzioni vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V <sub>R</sub> che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale di progetto V <sub>N</sub> per il coefficiente d'uso C <sub>U</sub> : <b>V<sub>R</sub> = V<sub>N</sub> × C<sub>U</sub></b>
<b>Categoria del sottosuolo</b>	<i>Impianto Agrivoltaico</i> <b>Categoria C</b>	<b>Tabella 3.2.II</b>	<i>Si veda paragrafo precedente</i>
	<i>Cabina Utente</i> <b>Categoria D</b>		
<b>Categoria topografica</b>	<b>Categoria T1</b>	<b>Tabella 3.2.III</b> <i>Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°</i>	È funzione delle caratteristiche della superficie topografica

*\*Cautelativamente considerato la Classe d'uso pari a 2, sia per l'Impianto Agrivoltaico sia per la Cabina Utente*

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](http://www.geostru.com/geoapp/Parametri_Sismici.aspx)) utilizzando come dati di input i dati della tabella precedente.

Ubicazione: Impianto Agrivoltaico – 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	2.484	0.260
Danno (SLD)	50	0.057	2.475	0.274
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.158	2.585	0.274
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.210	2.524	0.282
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) us (m)

1 0.1

Cat. Sottosuolo C

Cat. Topografica T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,46	1,38

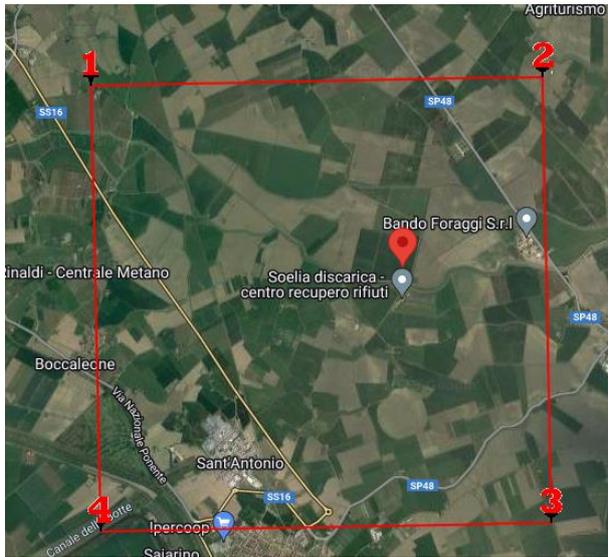
CC Coeff. funz categoria	1,64	1,61	1,61	1,59
--------------------------	------	------	------	------

ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00
-------------------------------	------	------	------	------

Acc.ne massima attesa al sito [m/s<sup>2</sup>] 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.013	0.017	0.055	0.081
kv	0.007	0.008	0.028	0.041
Amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.655	0.833	2.258	2.842
Beta	0.200	0.200	0.240	0.280

Ubicazione: Cabina Utente – Portomaggiore (FE)



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.

## Stati limite



Classe Edificio

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



Vita Nominale

50



Interpolazione

Media ponderata

**CU = 1**

Stato Limite	$T_r$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$	$T_c^*$ [s]
Operatività (SLO)	30	0.043	2.494	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			

## Coefficienti sismici



Tipo Stabilità dei pendii e fondazioni

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

H (m) us (m)

1 0.1



Cat. Sottosuolo D



Cat. Topografica T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,80	1,80	1,80	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/s<sup>2</sup>] 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.016	0.020	0.067	0.094
kv	0.008	0.010	0.034	0.047
Amax [m/s <sup>2</sup> ]	0.766	0.977	2.750	3.283
Beta	0.200	0.200	0.240	0.280

## 10 Valutazione del rischio di fenomeni di liquefazione

### 10.1 Generalità sul fenomeno

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

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

Nel contesto considerato, il problema principale che si pone in fase di progettazione è la suscettibilità alla liquefazione quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte 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.

### 10.2 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

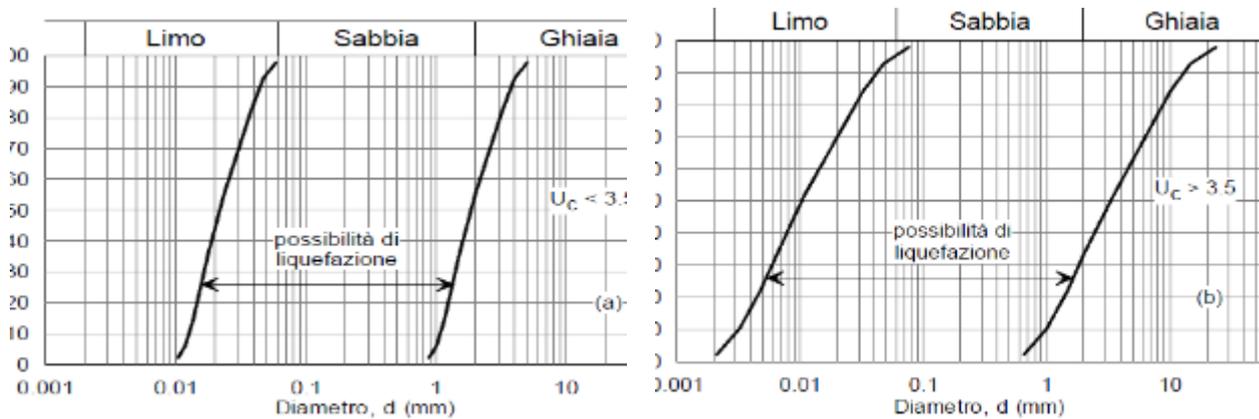
Proprio in relazione a quest'ultima normativa citata, prima della vera e propria verifica della suscettibilità di liquefazione, le NTC propongono una griglia di casi per i quali il sito d'indagine non presenta possibilità di liquefazione dei terreni.

In particolare le NTC recitano che:

**La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:**

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

3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)60 > 30$  oppure  $qc1N > 180$  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  $qc1N$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$  "



**Figura 10-1 - Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione (tratto Figura 7.11.1 (a) e (b) del D.M. 17/01/2018**

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

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

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:

$$F_L(z) = \frac{CRR_{M=7.5; \sigma'_v=1atm}}{CSR} \cdot MSF \cdot K_\sigma$$

(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  $\sigma'_{v0}$  per terremoto di magnitudo  $M=7,5$  e pressione efficace di riferimento  $\sigma'_v = 1$  atm;
- $K_\sigma$  è il fattore di correzione che tiene conto della pressione efficace alla profondità a cui la resistenza viene valutata;
- **CSR (Cyclic Stress Ratio) rappresenta la domanda di resistenza ciclica del terreno alla liquefazione;** è la tensione indotta dal terremoto:

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

dove:

- $a_{max,s}$  è il picco di accelerazione al piano campagna del terremoto di riferimento;
- $g$  è l'accelerazione di gravità;
- $\sigma_{v0}$  e  $\sigma'_{v0}$  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  $V_s$ .

### 10.2.1 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.;

**Tabella 10.1 – Tabella dei fattori di amplificazione Pianura 2**

$V_{S30}$ (m/s) →	150	200	250	300	350	400
PGA	1,7	1,7	1,7	1,6	1,5	1,5

Nel caso in esame, essendo i valori di  $V_{S30}$  ricavati dalle prove SCPTU compresi tra 148 e 203 m/s, cautelativamente il corrispondente valore del F.A. (fattore di amplificazione) applicato sarà, per entrambi i siti, 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°.

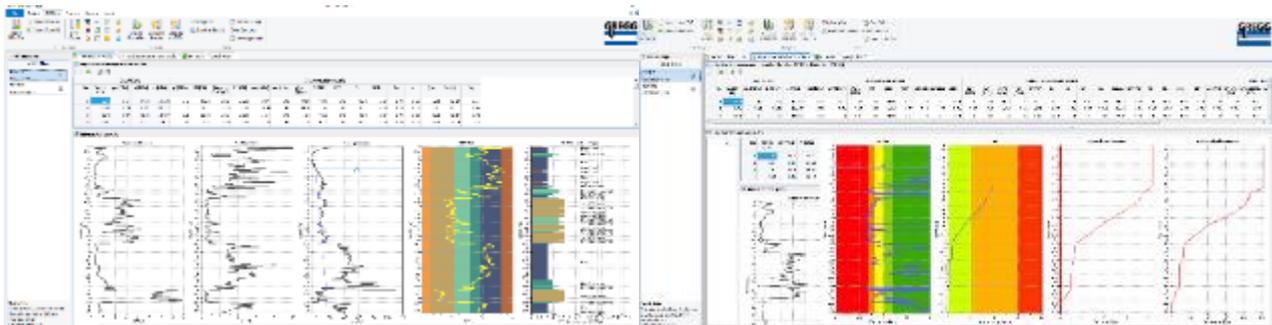
Quindi il valore di accelerazione massima sarà:

$$\begin{aligned} \text{Impianto Agrivoltaico } a_{\max} &= 1,7 \cdot 0,157 = 0,2669g = 2,61 \text{ m/s}^2 \\ \text{Cabina Utente } a_{\max} &= 1,7 \cdot 0,155 = 0,2635g = 2,58 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

In definitiva per le verifiche eseguite e descritte di seguito, è stata adottata un'accelerazione massima pari a **0,26g** per entrambi i siti di studio.

➤ **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.



**Figura 10-2 - 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):

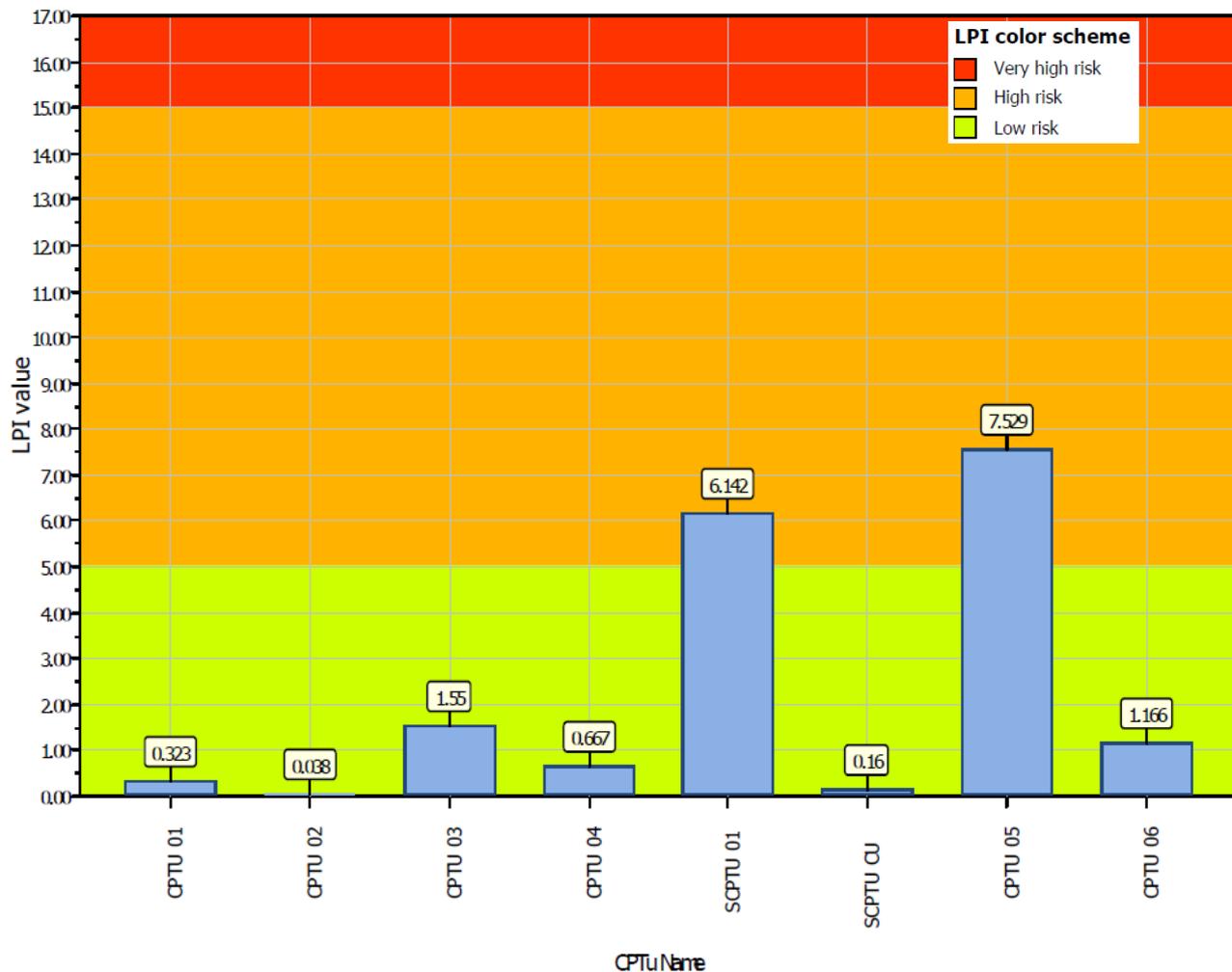
$$\begin{aligned} F(z) &= 0 && \text{per } F_L \geq 1.2 \\ F(z) &= 2 \cdot 10^6 \cdot \exp(-18.427 \cdot F_L) && \text{per } 1.2 > F_L > 0.95 \\ F(z) &= 1 - F_L && \text{per } F_L \leq 0.95 \end{aligned}$$

Per poter valutare la potenza degli effetti, la DGR 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

**Figura 10-3 - 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. 3).



**Figura 10-4 - Indice del potenziale di Liquefazione calcolato**

Dall'elaborazione dei risultati delle prove penetrometriche eseguite nell'area in esame, utilizzando i valori di accelerazione massima calcolati in precedenza, il sito risulta caratterizzato da un potenziale di liquefazione piuttosto variabile, generalmente compreso tra potenziale nullo e potenziale basso ( $0 < IL < 2$ ), con l'esclusione dell'area ove sono state condotte le prove SCPTU01 e CPTU5 (settore Impianto Agrivoltaico).

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.

## 11 Analisi di risposta sismica locale

### 11.1 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 Agrivoltaico ove ricade la prova SCPTU 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 come di seguito descritto:

- Analisi del modello del sottosuolo determinato dalla indagini dirette e indirette condotte in sito;
- Selezione di n. 28 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.

### 11.2 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:

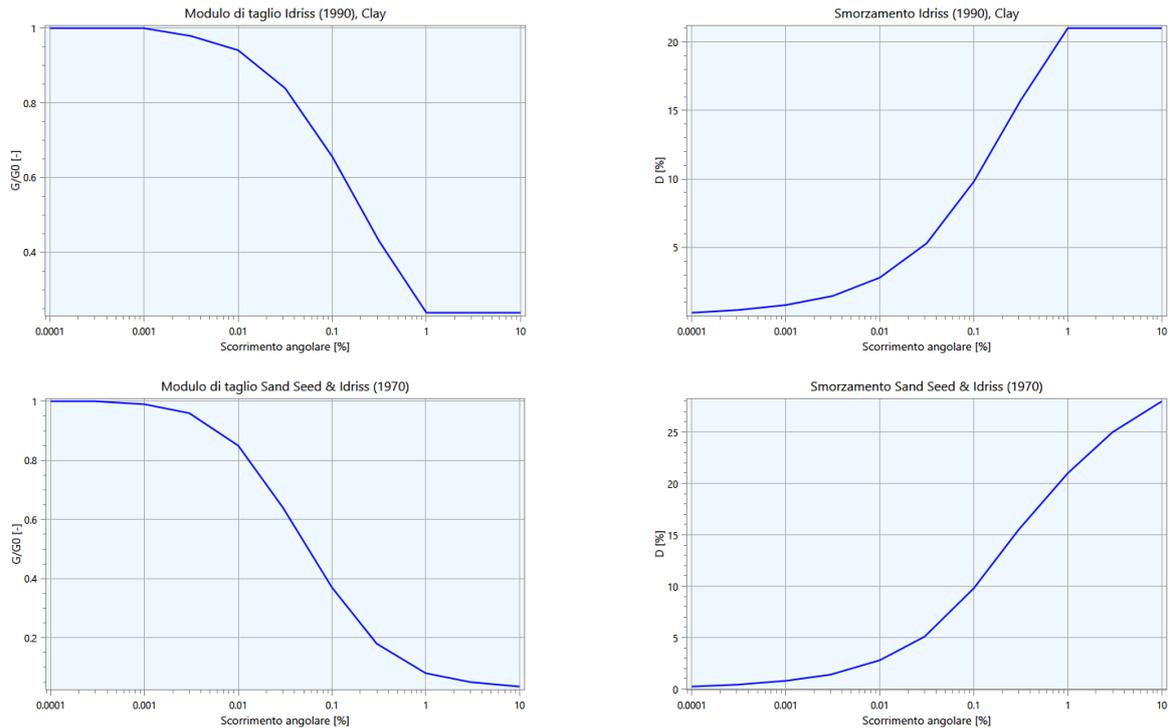
**Tabella 11.1 - caratteristiche meccaniche sismostrati**

Strato	S [m]	$\rho$ [Kg/m <sup>3</sup> ]	Vs [m/s]	Curva decadimento
Strato (1)	8.00	1800.00	170.00	Sand Seed & Idriss (1970)
Strato (2)	12.00	1800.00	220.00	Sand Seed & Idriss (1970)
Strato (3)	10.00	1800.00	190.00	Idriss (1990), Clay
Strato (4)	10.00	1900.00	240.00	Idriss (1990), Clay
Strato (5)	15.00	1900.00	300.00	Sand Seed & Idriss (1970)
Strato (6)	18.00	1900.00	360.00	Idriss (1990), Clay

dove:

- $S$  = spessore del singolo strato;
- $\rho$  = 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:



**Figura 11-2 – Curve di decadimento del modulo e di smorzamento utilizzate**

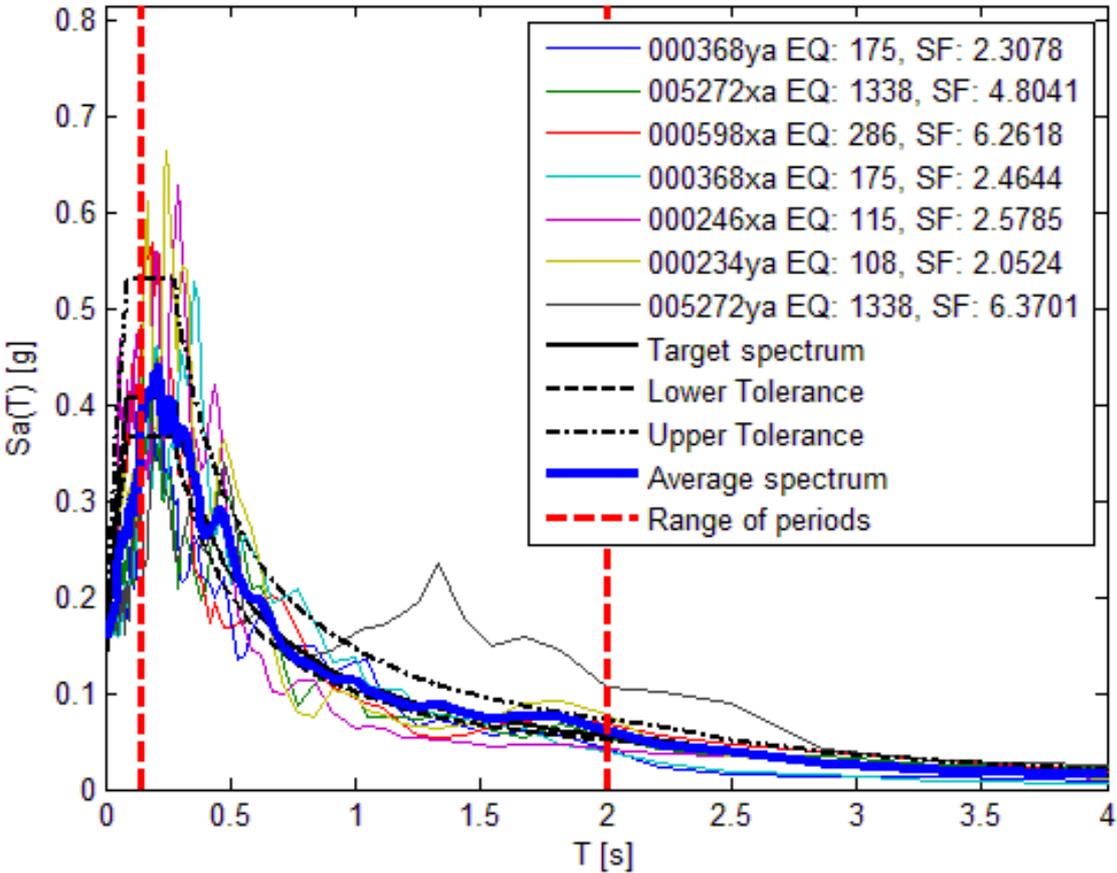
### 11.3 Calcolo del moto atteso in superficie

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:

SLV

Combination no. 1 ,  $SF_{mean} = 3.8342$



SLD

Combination no. 1 ,  $SF_{mean} = 1.1109$

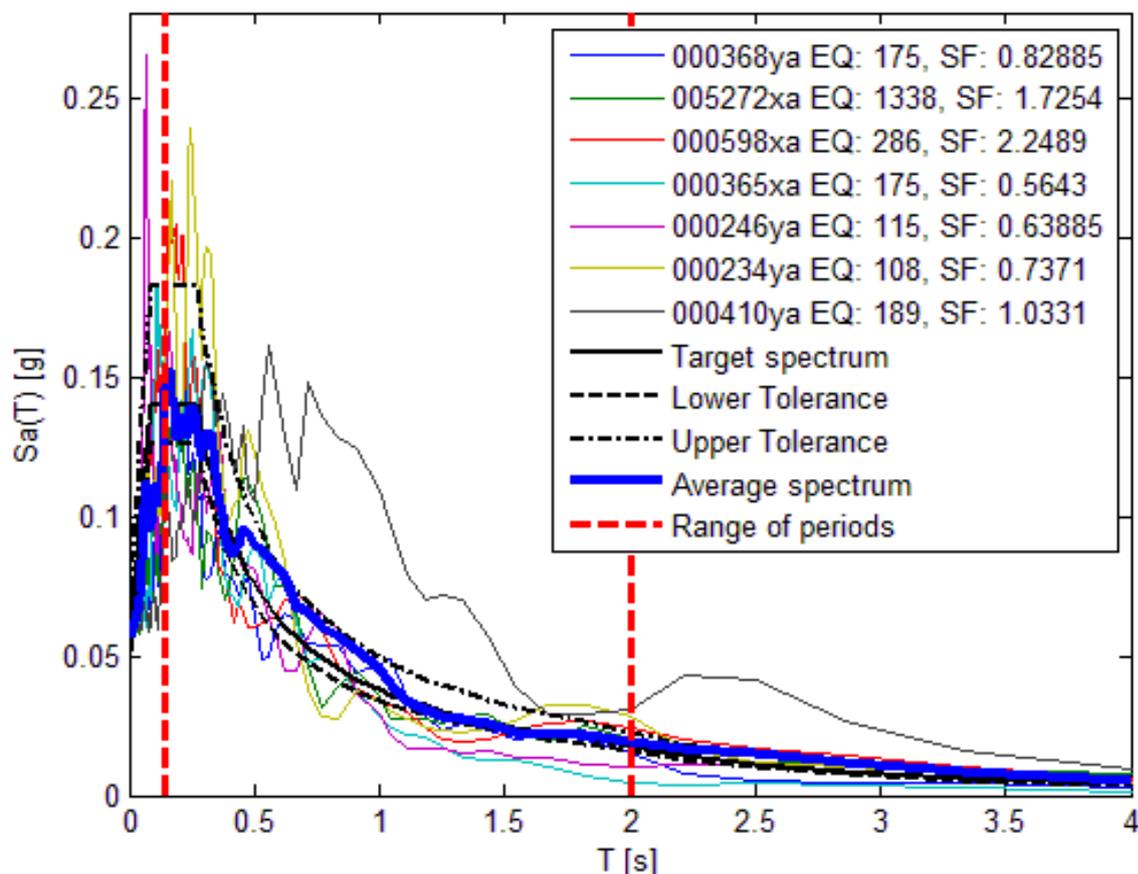


Figura 11-3 – spettri di input relativi terremoti utilizzati

## 11.4 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:

Tabella 11.4 - Condizioni di Carico

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)

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:

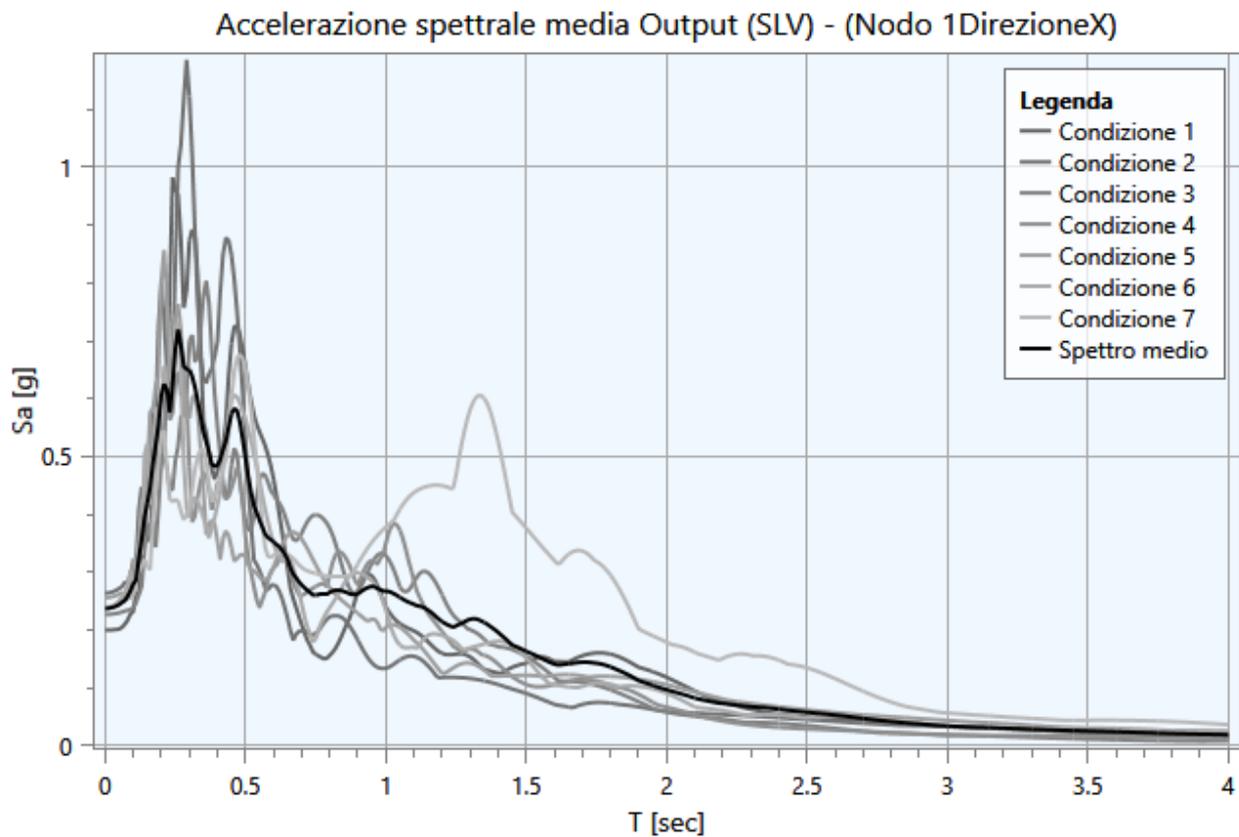
$$p \leq \frac{V_{s,min}}{8 f_{max}}$$

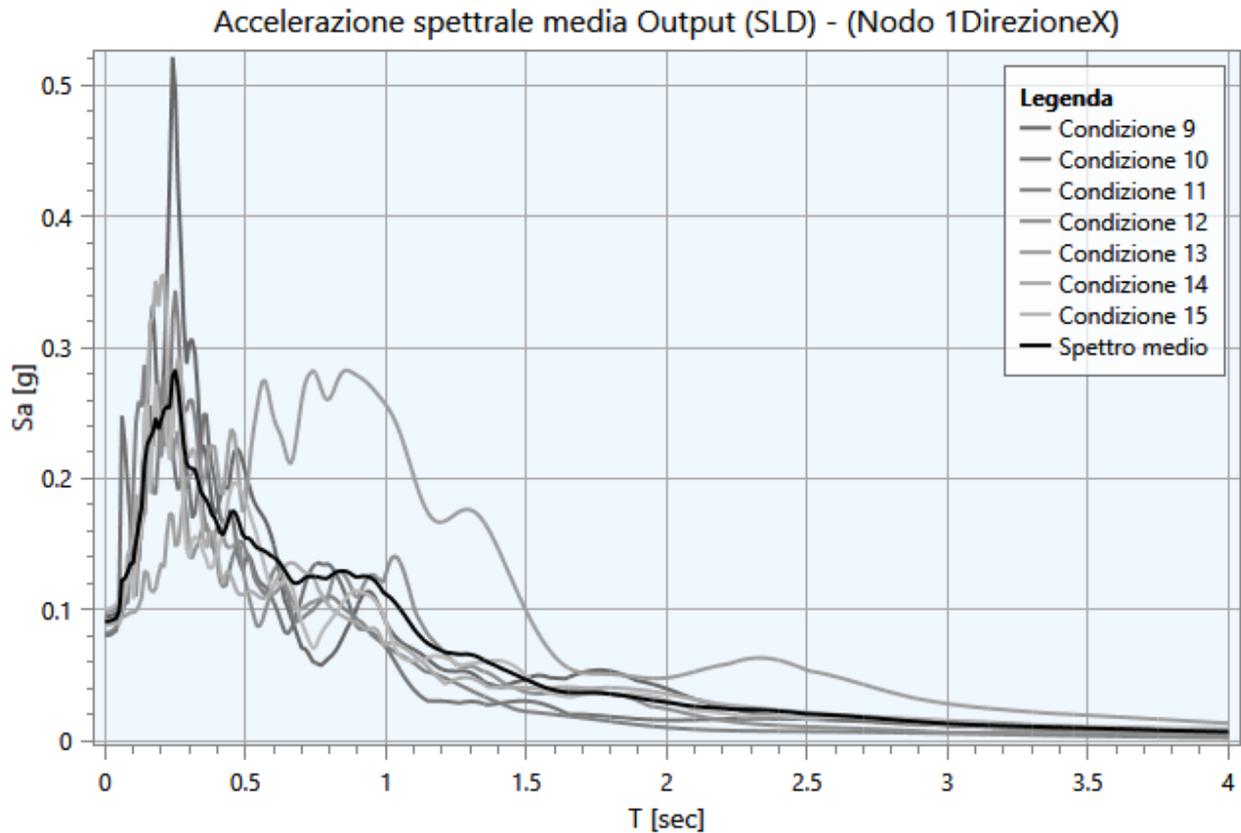
dove:

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

### 11.5 Spettri di risposta finali

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). La figura sottostante riporta gli spettri ottenuti per lo stato limite SLV:





**Figura 11-5 – Spettri di risposta in accelerazione attesi al sito**

### 11.5.1 Parametrizzazione dello spettro derivante dalla risposta sismica

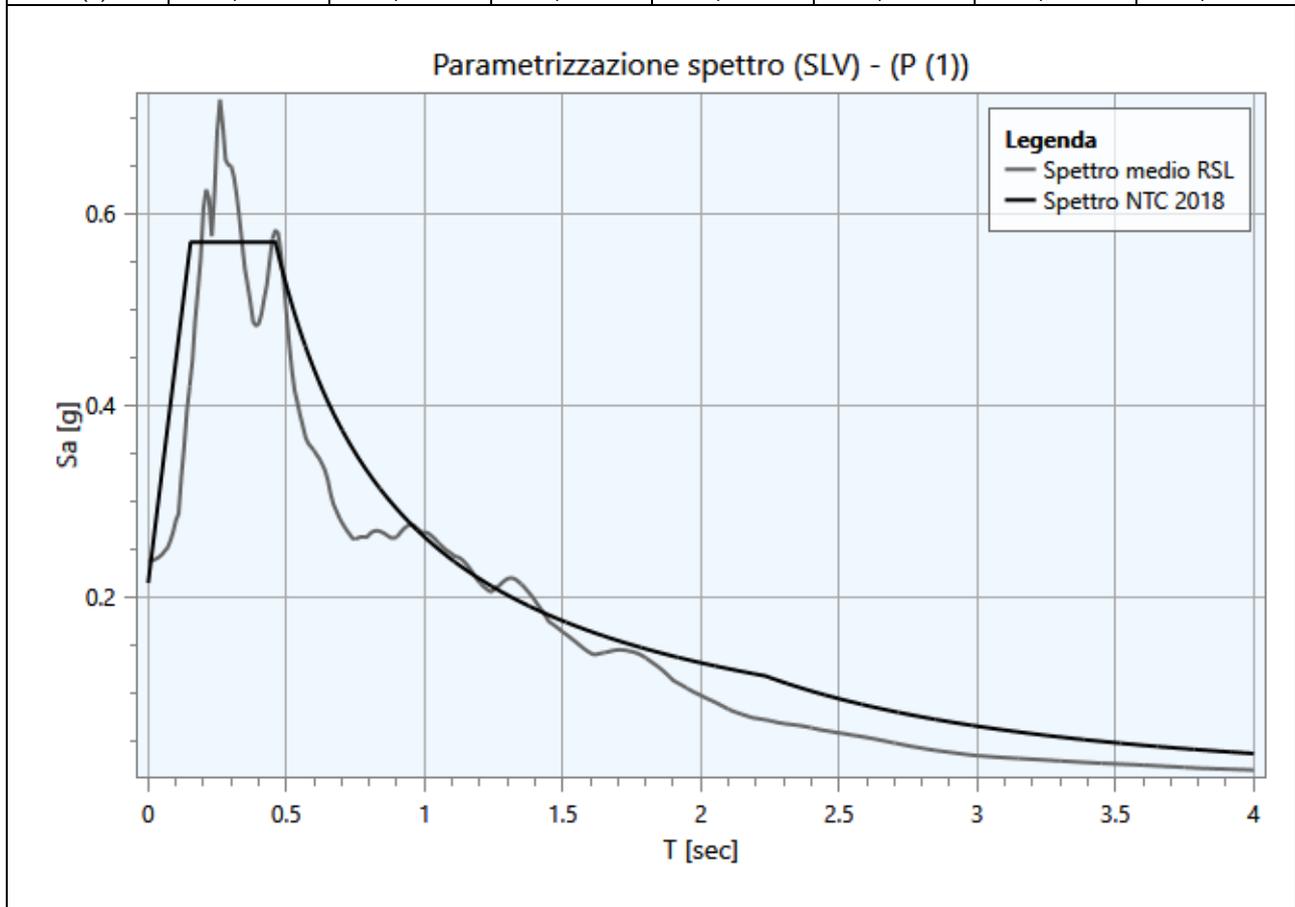
La parametrizzazione degli spettri di risposta ottenuti nei vari punti di controllo viene condotta mediante la procedura suggerita dagli "Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica" (GdL MS, 2008 – parti I e II – punto 2.5.4.3.1 pag 92). Partendo dallo spettro di risposta medio in accelerazione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

- l'individuazione del periodo per il quale è massimo il valore dello spettro in accelerazione ( $TA$ );
- il calcolo del valor medio dello spettro in accelerazione ( $SA$ ) nell'intorno tra  $0.5 TA - 1.5 TA$ ;
- l'individuazione del periodo per il quale è massimo il valore dello spettro in pseudovelocità ( $TV$ );
- il calcolo del valor medio dello spettro in pseudovelocità ( $SV$ ) nell'intorno tra  $0.8 TV - 1.2 TV$ ;
- il calcolo del valore di  $T_c = 2\pi \frac{SV}{SA}$ ;
- 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.

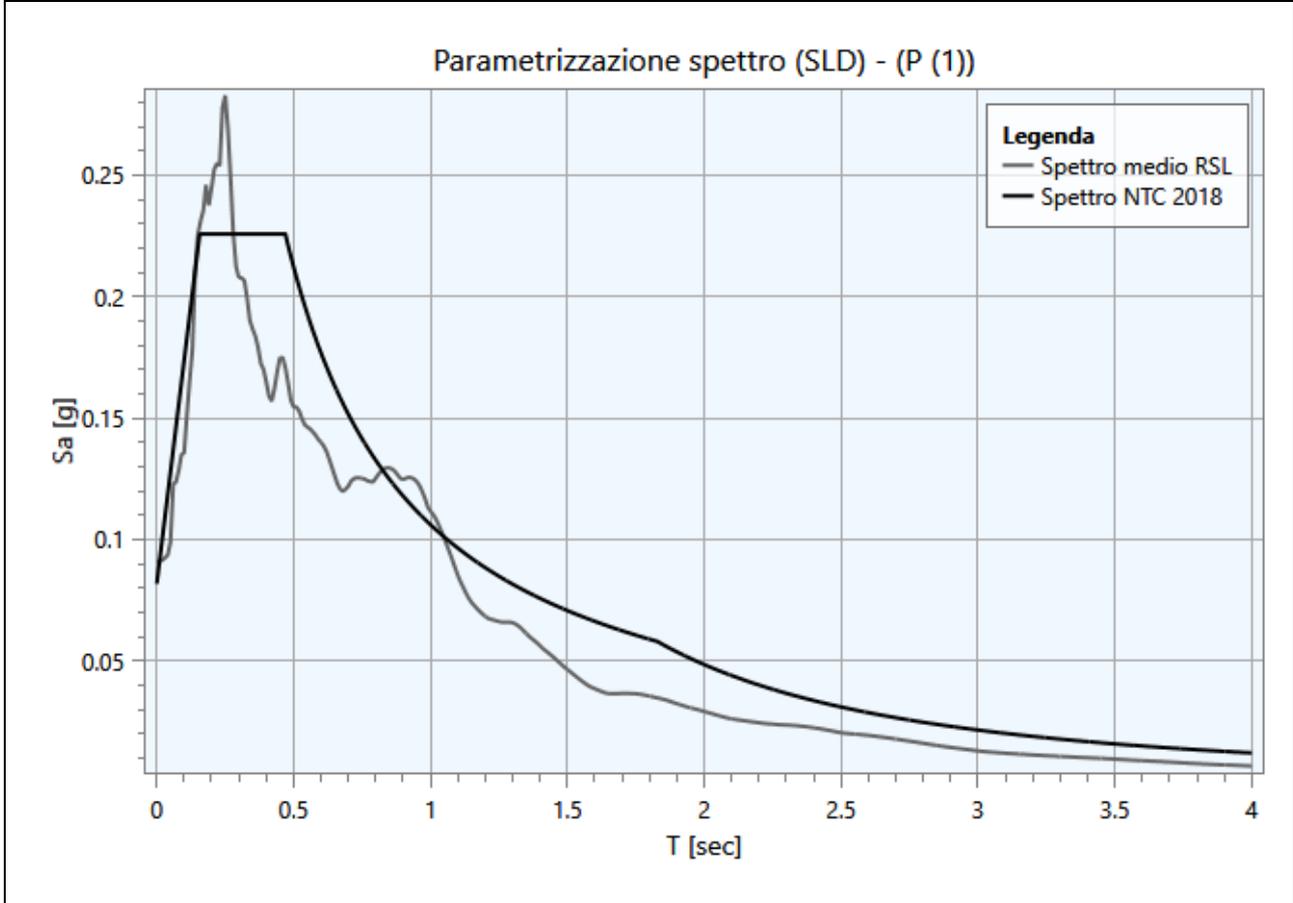
Tabella 11.6 - Parametri SLV

Punti di controllo	$A_g$ (g)	F0	S	$A_{max}$ (g)	$T_b$ (s)	$T_c$ (s)	$T_d$ (s)
P(1)	0,158	2,656	1,359	0,215	0,153	0,460	2,232



**Tabella 11.7 – Parametri SLD**

Punti di controllo	$A_g$ (g)	$F0$	$S$	$A_{max}$ (g)	$T_b$ (s)	$T_c$ (s)	$T_d$ (s)
P(1)	0,057	2,758	1,436	0,082	0,157	0,470	1,828



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.

### 11.6 Verifica potenziale di liquefazione Aree SCPTU 01-CPTU 05

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 05. 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 ( $0 < IL < 2$ ) riportata al capitolo 10.2.1 del presente documento.

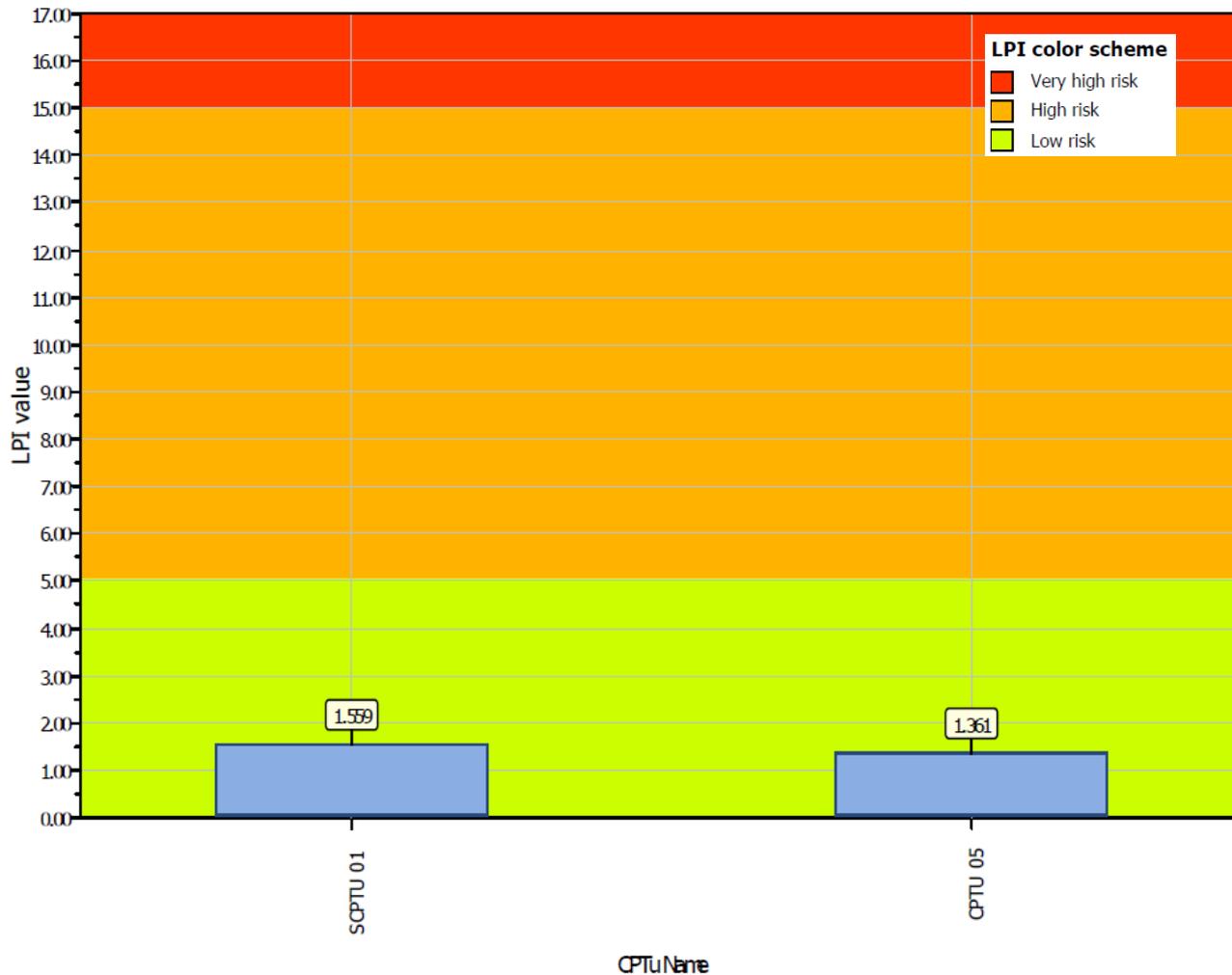


Figura 11-8 – Indice del potenziale di Liquefazione calcolato

## 12 Modello geologico e prime considerazioni geotecniche

### 12.1 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 oggetto di studio: Impianto Agrivoltaico e Cabina Utente.

In funzione all'estensione dell'Impianto Agrivoltaico, ad integrazione di quanto descritto di seguito, al fine di facilitare l'interpretazione dei caratteri stratigrafici, sono state tracciate alcune sezioni stratigrafiche orientative.

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.

### 12.2 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. Con particolare riferimento all'area dell'Impianto Agrivoltaico, è stato possibile individuare un settore a maggiore presenza di depositi sabbiosi e sabbioso-limosi di canale (paleo-alveo), a cui seguono depositi fini e coesivi con presenza di strati lenticolari di materiali organici.

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 l'area dell'Impianto Agrivoltaico e l'area della Cabina Utente, di seguito si descrivono i livelli di terreno principali.

#### ➤ **Sequenza stratigrafica – Impianto Agrivoltaico**

- **Primo livello (Orizzonte 1):** coltre superficiale, costituente il terreno agrario vegetale, di natura limoso argilloso e sabbiosi a cui seguono i depositi sabbioso limosi con spessori piuttosto variabili in funzione all'area di indagine. Nel dettaglio, nel settore prossimo all'abitato di Consandolo si rilevano spessori importanti di tali materiali soprattutto in corrispondenza della verticale di indagine SCPTU 1 e della verticale CPTU 5, dove, con buone probabilità, è stato intercettato un tratto di paleoalveo e/o ventaglio di rotta. Ad esclusione di tale areale, per l'intero Impianto Agrivoltaico, tale livello presenta spessori mediamente compresi tra 2,0 e 3,0 m e si trova spesso intervallato da materiali limoso argilloso e sabbiosi agrari.
- **Secondo livello (Orizzonte 2):** livello di terreno prevalentemente a carattere coesivo, costituito da alternanze di argille, argille limose e limi argilloso con lenti metriche di suolo organico argille organiche e torbe. Talvolta tale livello risulta essere intervallato da livelli centimetrici di materiali granulari, ovvero sabbioso-limosi con scarsa continuità orizzontale. Tale livello, come detto, caratterizza la maggior parte del sottosuolo del settore in esame, spingendosi sino a profondità massime prossime a -30,0 m da p.c.

In relazione alla ricostruzione litostratigrafica sopra riportata, al fine di comprendere al meglio i rapporti tra i diversi orizzonti stratigrafici individuati, alla tavola 1 ed alle figure seguenti sono state realizzate le rappresentazioni grafiche della sequenza litostratigrafica descritta.

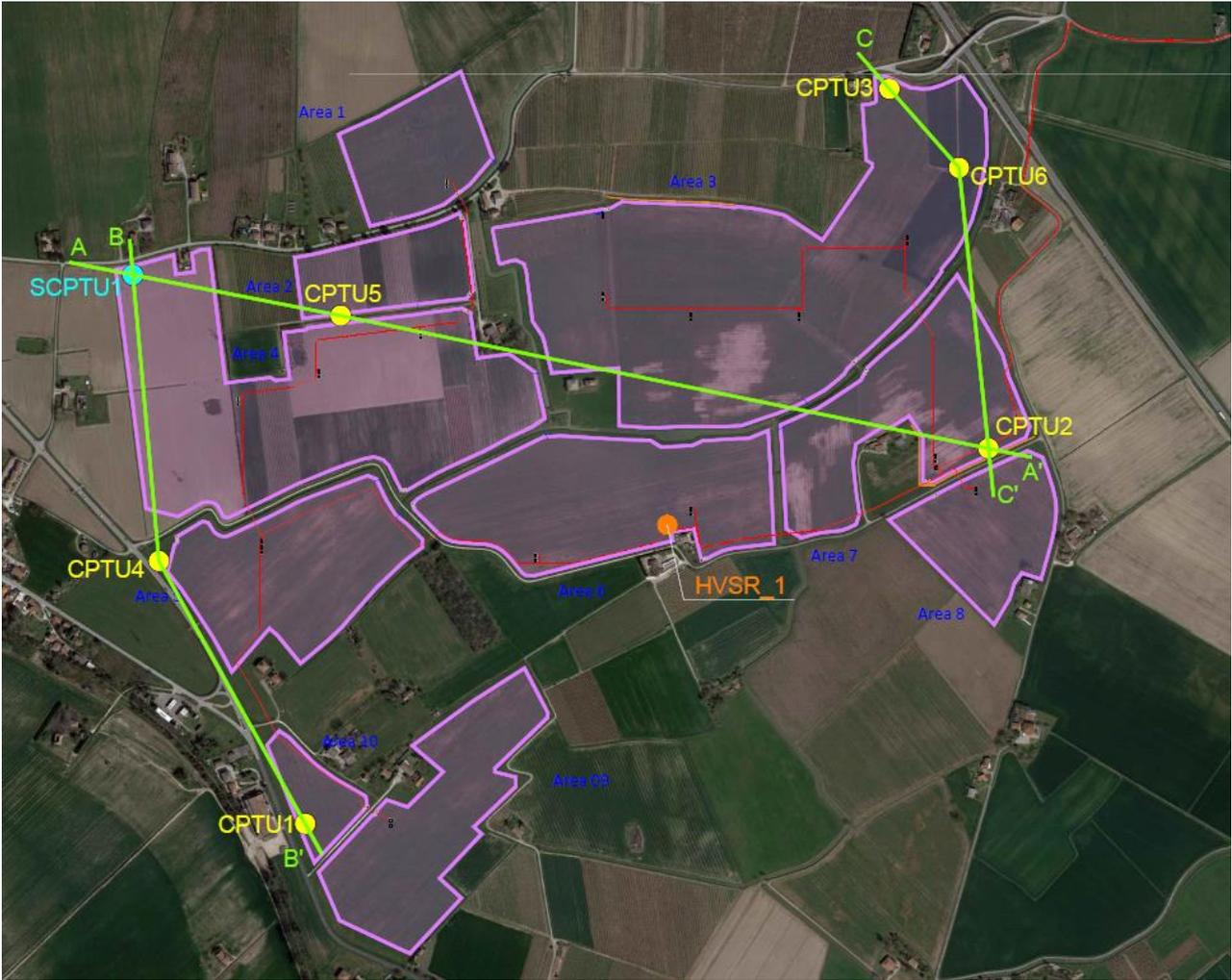


Figura 12-1 – Stralcio tracce sezioni stratigrafiche (v. Tav. 1)

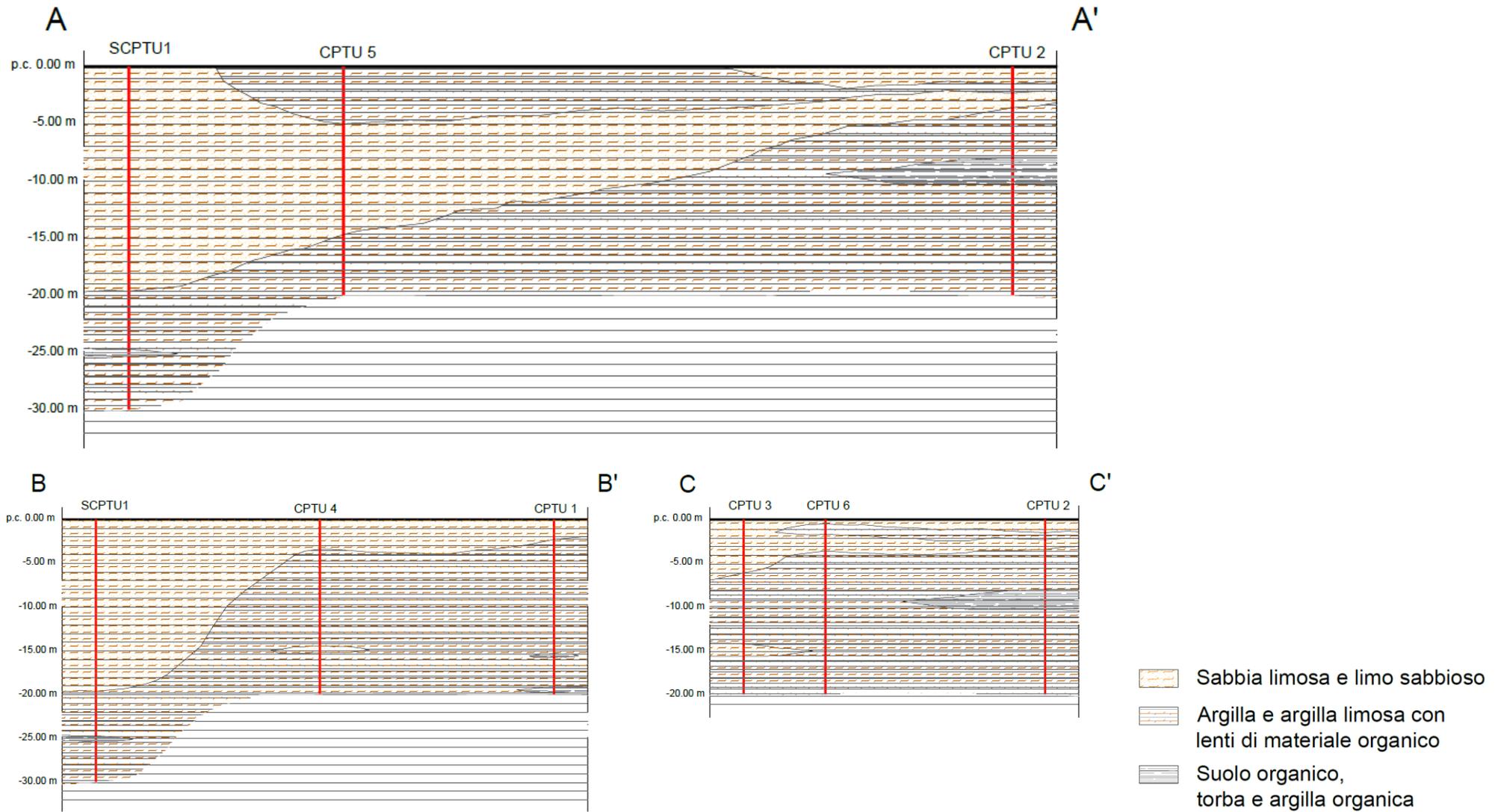


Figura 12-2 – Stralci sezioni stratigrafiche (v. Tav. 1)

➤ **Sequenza stratigrafica – Cabina Utente**

In corrispondenza dell'area occupata dall'impianto RTN, sita in comune di Portomaggiore, si rinviene una sequenza stratigrafica caratterizzata da due livelli principali di terreno, come descritto di seguito:

- **Primo livello (Orizzonte A):** terreni agricoli superficiali, di spessore limitato e costituiti da materiali limoso sabbiosi e sabbioso limosi. Tale primo livello, parte del suolo agrario, si rinviene sino ad una profondità massima di circa -1,20 metri dal p.c. locale.
- **Secondo livello (Orizzonte B):** terreni a carattere coesivo, di spessore plurimetrico, costituiti da argille e argilla limose con lenti di materiali organici torbosi (entro i primi 10 m da p.c.). Si rileva uno spessore, netto, di materiale a carattere granulare sabbioso limoso tra -23,10 e -24,10 m da p.c. Ad ogni modo, il livello di terreno in oggetto risulta essere caratterizzato per lo più da materiali a carattere coesivo sino la massima profondità indagata di -30,0 m da p.c.

## 12.3 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.

**Tabella 12.3 – Livello falda**

ID	Livello statico della falda da p.c. (m)
<b>Impianto Agrivoltaico</b>	
CPTU 1	-2,70
CPTU 2	-2,80
CPTU 3	-2,60
CPTU 4	-2,10
CPTU 5	-2,20
CPTU 6	-1,90
SCPTU 01	-2,80
<b>Cabina Utente</b>	
SCPTU-CU	-2,00

Come è possibile osservare dalle quote della tavola d'acqua rispetto al piano campagna (soggiacenza), rilevate nel corso dell'esecuzione delle prove penetrometriche, si rileva come la falda, in corrispondenza dell'Impianto Agrivoltaico, mostri una certa uniformità, con valori medi che si attestano intorno ai -2,40 metri da p.c.. Si osserva una sola eccezione a quanto mediamente registrato in sito, in corrispondenza della prova CPTU 6, posta all'estremità orientale dell'area dell'Impianto Agrivoltaico. Tale eccezione è, con ogni probabilità, dovuta alla presenza, in prossimità all'area di indagine, di alcuni corsi d'acqua di bonifica che potrebbero aver determinato tale locale avvicinamento della falda al piano campagna.

Per quanto riguarda l'area della Cabina utente, il solo dato a disposizione permette di stabilire come la quota della falda sia posta a circa -2,00 m dal p.c.

In linea generale, la profondità della falda non risulta essere un carattere ostativo alla realizzazione delle strutture in progetto. Se ne dovrà comunque tenere conto all'atto della progettazione definitiva delle strutture di fondazione e/o di opere di scavo che prevedano un approfondimento superiore o prossimo alle quote di soggiacenza registrate.

## 12.4 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.

Così come fatto per la caratterizzazione stratigrafica, in relazione alla distanza che intercorre tra l’area dell’Impianto Agrivoltaico e l’area della Cabina Utente, di seguito si descrivono separatamente i caratteri geotecnici caratteristici dei terreni indagati.

### 12.4.1 Impianto agrivoltaico

**Orizzonte 1:** depositi prevalentemente sabbiosi e sabbioso limosi, i quali si trovano sull’intero sito di studio mediamente entro i primi -3,0 m da p.c. ad esclusione del settore sotteso alle prove SCPTU 01 e CPTU 5 dove l’orizzonte in esame si spinge sino a profondità massime di -19 m da p.c.

Tale orizzonte di terreno rappresenta, pertanto, la porzione superficiale prevalentemente a vocazione agricola dei terreni ove ricadrà il futuro Impianto Agrivoltaico. Tali materiali si presentano con buone qualità geotecniche, in particolare con angoli di attrito buoni e tipici di sabbie a bassa percentuale di materiali fini, sia nei termini medi sia nei termini minimi. Unica eccezione risulta dalle prove SCPTU 01 e CPTU 5, le quali hanno individuato tale primo orizzonte sino a profondità massime pari a -19,0 m da p.c., ciò dovuto alla particolare conformazione del territorio in esame. Infatti, si ipotizza che il settore di territorio sotteso alle prove penetrometriche qui citate si trovi in corrispondenza di un ampio ventaglio di rotta, ipotesi avvalorata dalla ricostruzione geomorfologica del territorio in esame (v. Tav. 3 e Par. 5.0).

**Tabella 12.4 – Caratteri geotecnici Orizzonte 1**

Parametro	U.M.	Media	Min
Modulo edometrico M	Kg/cm <sup>2</sup>	508,9	242
Modulo elastico - Young Es	Kg/cm <sup>2</sup>	450,7	294
Modulo di taglio massimo Go	Kg/cm <sup>2</sup>	555,2	333
Coesione non drenata Su	Kg/cm <sup>2</sup>	-	-
Densità relativa Dr *	%	47,85	38,7
Angolo di attrito φ *	°	38,42	36,5
Peso di Volume γ	t/m <sup>3</sup>	1,783	1,7

**Orizzonte 2:** costituito da materiali coesivi argillosi e argilloso limosi alternati da livelli di materiale organico (argille organiche e torbe).

Orizzonte di terreno principale per la maggior parte del territorio esaminato, si presenta con caratteri geotecnici ed in particolare di coesione non drenata da medi a scarsi, in particolare mostra valori piuttosto scarsi in corrispondenza dei settori occupati da alte percentuale di materiali organici. Ciò nonostante, in media, presenta valori di Cu discreti, come mostrato alla tabella successiva.

**Tabella 12.5 – Caratteri geotecnici Orizzonte 2**

Parametro	U.M.	Media	Min
Modulo edometrico M	Kg/cm <sup>2</sup>	128,1	9,0
Modulo elastico - Young Es	Kg/cm <sup>2</sup>	465,0	228,0
Modulo di taglio massimo Go	Kg/cm <sup>2</sup>	475,1	234,0
Coesione non drenata Su	Kg/cm <sup>2</sup>	0,82	0,20
Densità relativa Dr *	%	-	-
Angolo di attrito φ *	°	-	-
Peso di Volume γ	t/m <sup>3</sup>	1,7	1,6

## 12.4.2 Cabina Utente

**Orizzonte A:** Coltre agraria costituita da materiali granulari, sabbiosi e sabbioso limosi con spessori modesti.

Questo primo orizzonte presenta caratteri geotecnici buoni, seppure, data la sua scarsa estensione verticale, non è da considerarsi un orizzonte caratterizzante l'area della cabina utente. Questo è da qualificarsi come orizzonte superficiale a prevalente carattere agrario; infatti, mostra uno spessore non superiore a 2,0 m da p.c.

**Tabella 12.6 – Caratteri geotecnici Orizzonte A**

Parametro	U.M.	Valori da SCPTU
Modulo edometrico M	Kg/cm <sup>2</sup>	321
Modulo elastico - Young Es	Kg/cm <sup>2</sup>	267
Modulo di taglio massimo Go	Kg/cm <sup>2</sup>	361
Coesione non drenata Su	Kg/cm <sup>2</sup>	-
Densità relativa Dr *	%	65,5
Angolo di attrito φ *	°	41,5
Peso di Volume γ	t/m <sup>3</sup>	1,79

**Orizzonte B:** Materiali a carattere coesivo, costituiti da argille e argille limose con lenti di materiali organici (Torba e Argilla organica). Si rileva un livello metrico di materiale granulare tra 23 e 24 m da p.c.

Orizzonte di terreno principale dell'area ove si prevede la realizzazione della Cabina Utente, mostra caratteri prettamente coesivi con una moderata presenza di materiali organici. Ciò si rispecchia nei valori di coesione, che risultano da buoni a discreti. Da notare, come mostrato alla tabella successiva, che, all'interno di questo orizzonte, è stato rilevato uno spessore metrico di materiali granulari, con basse percentuali di materiali coesivi, avente angolo di attrito buono tipico di materiali sabbiosi.

**Tabella 12.7 – Caratteri geotecnici Orizzonte B**

Parametro	U.M.	Media	Min
Modulo edometrico M	Kg/cm <sup>2</sup>	110,5	92
Modulo elastico - Young Es	Kg/cm <sup>2</sup>	359	359
Modulo di taglio massimo Go	Kg/cm <sup>2</sup>	652	458
Coesione non drenata Su	Kg/cm <sup>2</sup>	0,97	0,70
*Densità relativa Dr *	%	43,9	
*Angolo di attrito φ *	°	37,9	
Peso di Volume γ	t/m <sup>3</sup>	1,78	1,75

\* relativi al livello granulare posto a -23/-24 m da p.c.

## 13 Conclusioni

Le indagini eseguite ed il presente studio, redatto conformemente ai contenuti tecnici delle NTC ed in ottemperanza al D.M. 17/01/2018, hanno permesso di approfondire gli aspetti utili alla progettazione, fornendo informazioni sulle caratteristiche geologiche, idrogeologiche e geotecniche del territorio esaminato, di seguito riassunte:

Dal punto di vista **Geologico**, le litologie presenti nel territorio in esame sono costituite prevalentemente da litotipi coesivi costituiti da materiali argillosi e argillosi limosi contenenti materiali organici, quali torbe ed argille organiche. Al tetto ed alternati a tali materiali fini sono stati individuati livelli a maggiore carattere incoerente, costituiti da sabbie limose e debolmente limose, talvolta in miscele ternarie di sabbie limi e argille. Da rilevare, nella porzione dell’Impianto Agrivoltaico prossima al territorio dell’abitato di Consandolo, un settore a prevalente carattere granulare – sabbie e sabbie limose/limi sabbiosi – da associare alla presenza di ampi ventagli di rotta e tracimazione, come si è potuto constatare dalla cartografia e dalla descrizione geomorfologica dell’area di studio.

In conclusione, le litologie riscontrate dalla caratterizzazione geologica/geotecnica condotta hanno permesso di confermare l’assetto geologico generale descritto agli strumenti urbanistici vigenti. Inoltre, le analisi dei risultati delle prove penetrometriche effettuate permettono di affermare che, in linea generale, dei caratteri geotecnici da scarsi a discreti, solo localmente buoni, soprattutto nelle porzioni a maggior presenza di litologie granulari.

Dal punto di vista **Geomorfologico**, l’area in cui ricade il progetto ricade in un territorio a vocazione agricola, con una debole urbanizzazione e per lo più concentrata in corrispondenza dell’abitato di Consandolo. La storia geomorfologica del settore in esame, come ampiamente descritto ai capitoli introduttivi, risulta essere strettamente connessa allo sviluppo della pianura Ferrarese ed alle divagazioni dei corsi d’acqua un tempo caratterizzanti il territorio esaminato, nonché fortemente influenzata dalle opere di regimazione idraulica che hanno permesso lo sfruttamento delle terre e che hanno determinato l’obliterazione di molte strutture geomorfologiche un tempo caratterizzanti il territorio in esame (canali, valli salmastre e di acqua dolce, depositi di rotta e riempimento di canale ecc...). In merito alla realizzazione dell’impianto Agrivoltaico, dall’analisi della cartografia geomorfologica del settore, non si rilevano fenomeni geomorfologici che ne possano ostacolare la realizzazione. Da attenzionare, in particolare nella porzione settentrionale dell’impianto Agrivoltaico, la presenza di strutture sepolte di origine alluvionale, tra cui coni di rotta e tracciati di paleovalle.

In merito all’analisi del **Rischio Idraulico e Idrogeologico**, l’intera area di Progetto risulta ricadere prevalentemente in aree a bassa probabilità di eventi alluvionali, ad esclusione di piccolissime porzioni di settori occupati dall’Impianto Agrivoltaico che ricadono in porzioni di territorio classificate P2, ovvero con una media probabilità di eventi alluvionali derivanti dal reticolo secondario di pianura. In analogia, la cartografia del rischio idraulico classifica le aree di realizzazione del progetto in esame come Rischio Moderato o Nullo (R1) sia per il reticolo principale sia per il reticolo secondario e solo localmente (vie di comunicazione prossime al reticolo secondario) classificate con rischio medio R2. Infine, in merito alle caratteristiche idrogeologiche e l’interferenza con la falda superficiale, si rileva che, per il settore dell’Impianto Agrivoltaico, la falda presenta una soggiacenza media pari a -2,40 m da p.c. con una sostanziale uniformità per l’intero settore. Mentre per l’area della Cabina Utente, la lettura risultata dalla prova SCPTU ha rilevato una soggiacenza di -2,0 m da p.c. Tali quote saranno da attenzionare qualora il progetto prevedesse attività di scavo che dovessero intercettare la soggiacente falda.

Dal punto di vista **Sismico**, il settore in esame risulta rientrare per lo più in area caratterizzata da sismicità elevata (Zona 2), ad esclusione dei settori ricadenti nel comune di Portomaggiore (Cabina Utente) che ricadono in settore a sismicità moderata (Zona 3). Ciò nonostante, l’intero sito risulta ricompreso nell’area geologica denominata “Dorsale Ferrarese”, caratterizzata uno scenario di magnitudo  $M_w = 6,14$  ed una accelerazione sismica compresa tra 0,157 e 0,155 g.

Le prove condotte in sito hanno permesso di classificare i terreni di fondazione come appartenenti alla categoria C (Impianto Agrivoltaico) ed alla categoria D (Cabina Utente).

Infine, dalla verifica del potenziale di liquefazione, in corrispondenza dei punti di indagine, il sito è risultato, per la maggior parte, avere un potenziale di liquefazione da basso a nullo, con l’esclusione del settore indagato dalle prove CPTU 05 e SCPTU 01, le quali, in relazione alle caratteristiche geologiche, idrogeologiche e stratigrafiche locali, hanno evidenziato un potenziale di liquefazione da moderato ad alto.

Per tale ragione, si è proceduto all’analisi degli effetti sismici di sito mediante approccio non semplificato (terzo livello di approfondimento). Tali analisi, relative al solo settore delle citate prove penetrometriche, hanno permesso di individuare un’accelerazione massima attesa per il sito in esame pari a 0,215 g (nelle condizioni più gravose SLV). Adottando tale valore nella verifica della potenziale liquefazione, anche l’area sottesa alle prove CPTU 05 e SCPTU 01 risulta rientrare entro valori caratteristici di “**potenziale basso**”, secondo la scala di Sonmez ( $0 > IL > 2$ ).

Dal punto di vista **Geotecnico**, sulla base delle informazioni raccolte dalle indagini geognostiche condotte, si può affermare come le caratteristiche generali dei terreni di fondazione varino da medie a scarse in funzione alla percentuale di materiali fini coesivi con materiali organici (torbe). Si rileva un miglioramento di tali caratteristiche in corrispondenza dei settori a maggior percentuale di terreni sabbiosi-sabbioso limosi, materiali che si rilevano sia al tetto dei livelli coesivi, sia in lenti e strati da centimetrici a metrici intervallati ai materiali coesivi che caratterizzano la maggior parte del volume caratteristico dell'area di studio. Come si è già detto, ciò è rilevato per l'intera area di studio ad esclusione del settore sotteso alle prove SCPTU 01 e CPTU 05 che rilevano, invece, tali materiali dal piano campagna sino a profondità pari a circa -19,0 m da p.c.

In conclusione, sulla base delle informazioni raccolte, adottando specifiche procedure progettuali in grado di sopperire alle scarse qualità geotecniche dei terreni argilloso/limosi organici e torbosi, l'installazione dell'impianto agrivoltaico risulta, pertanto, compatibile con l'assetto locale.

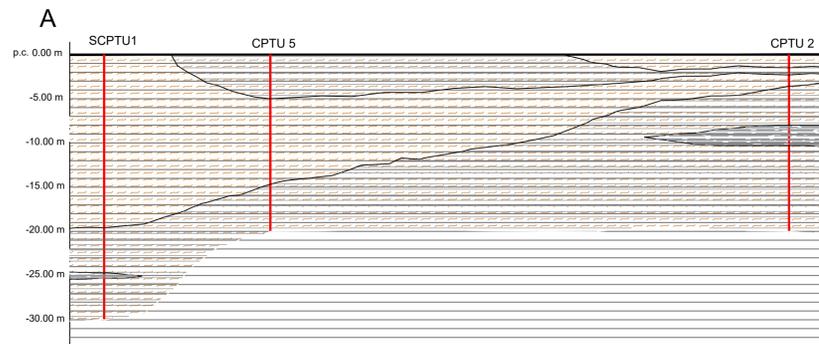
Dall'indagine geologica, idrogeologica, geotecnica e sismica condotta sull'area, e tenuto conto delle prescrizioni sopra descritte in fase progettuale, si ritiene che l'opera possa essere realizzata in condizioni di sicurezza geologica, idrogeologica ed idraulica.



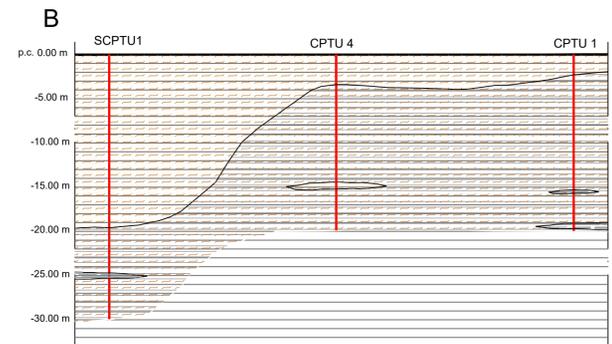
- Prove penetrometriche CPTU
- Prove penetrometriche SCPTU
- Prove HVSR
- Tracce sezioni litostratigrafiche
- Sabbia limosa e limo sabbioso
- Argilla e argilla limosa con lenti di materiale organico
- Suolo organico, torba e argilla organica
- Impianto agrivoltaico



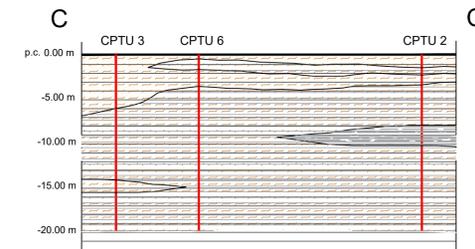
Sezione litostratigrafica A - A'  
 scala orizzontale 1:8.000  
 scala verticale 1:400



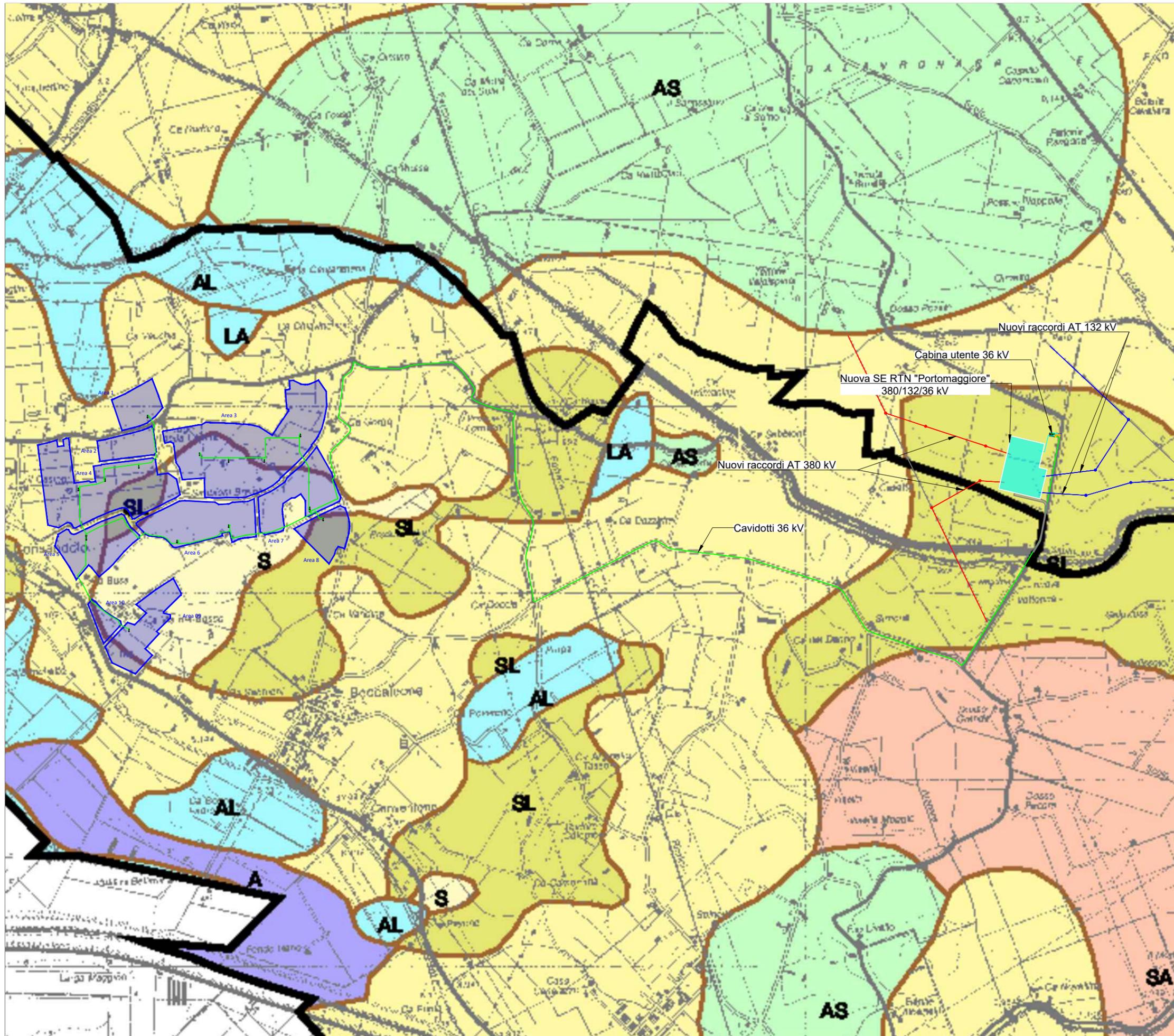
Sezione litostratigrafica B - B'  
 scala orizzontale 1:8.000  
 scala verticale 1:400



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



COMMITTENTE <b>Newagro S.r.l.</b> Via Sebastiano Caboto, 15 20094 Corsico (MI)		PROGETTISTA <b>wood.</b> Dott. Geol. Linda Collina			
0	APR-24	EMESSO PER ITER AUTORIZZATIVO	SG	GV	LC
REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONI	BY	CHD	APP
<b>Impianto agrivoltaico "Consandolo" da 57.002,4 kWp,                  opere connesse ed infrastrutture indispensabili                  Comuni di Argenta e Portomaggiore (FE)</b>					
<b>PROGETTO DEFINITIVO IMPIANTO AGRIVOLTAICO ED                  OPERE ELETTRICHE DI UTENZA</b>					
<b>TAV. 01                  Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche                  e traccia sezione stratigrafica</b>					
Questo documento è di proprietà di Newagro S.r.l. e il detentore certifica che il documento è stato ricevuto legalmente. Ogni utilizzo, riproduzione o divulgazione del documento deve essere oggetto di specifica autorizzazione da parte di Newagro S.r.l.				N° PROGETTO 06N1024A	SCALA 1:10.000



**LEGENDA**

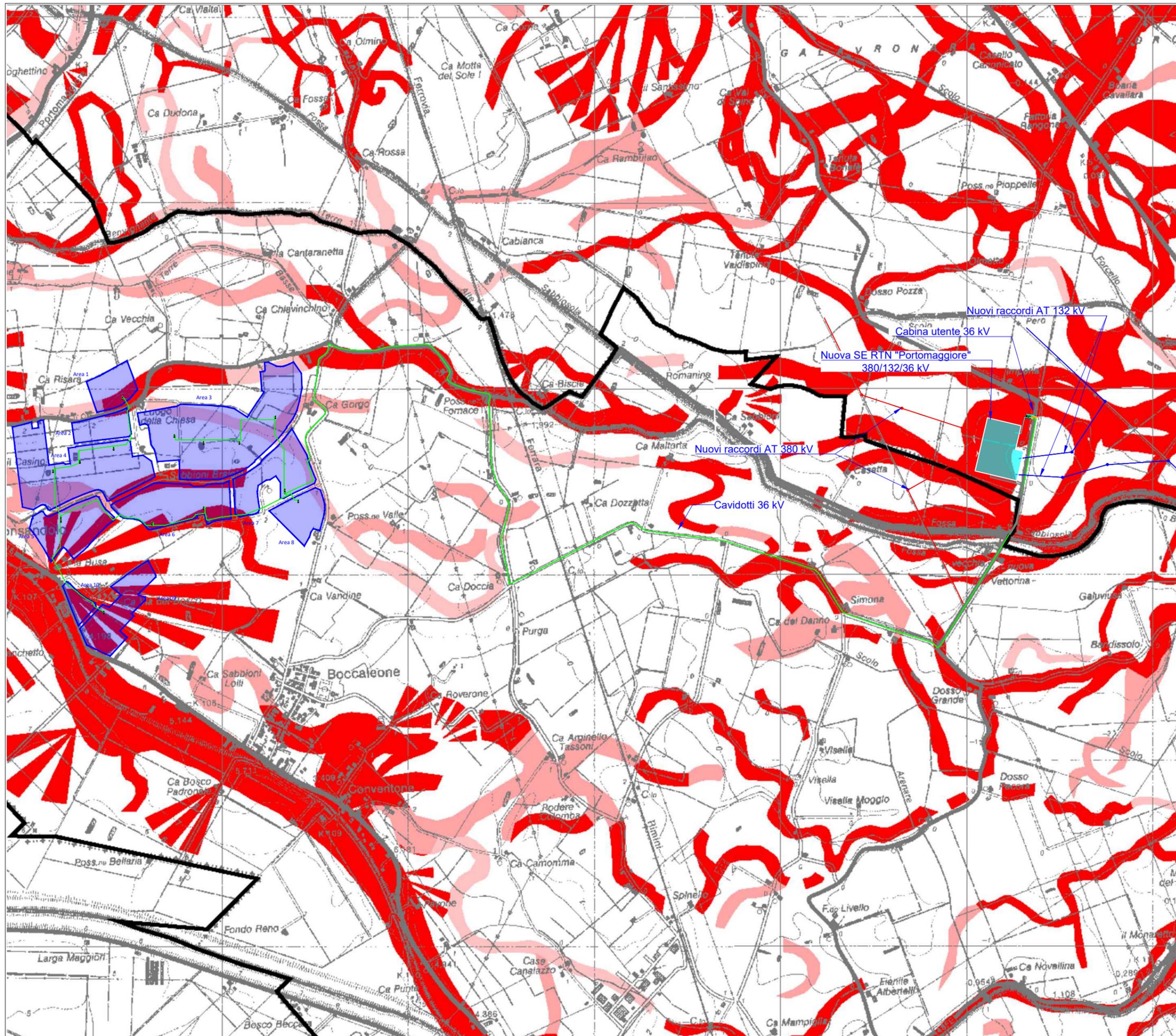
- Confini comunali
- A - Argilla
- AL - Argilla limosa
- ALS - Argilla limosa sabbiosa
- AS - Argilla sabbiosa
- L - Limo
- LA - Limo argilloso
- LS - Limo sabbioso
- S - Sabbia
- SA - Sabbia argillosa
- SL - sabbia limosa
- T - Torba

Impianto Agrivoltaico



Nuovi raccordi AT 132 kV  
 Cabina utente 36 kV  
 Nuova SE RTN "Portomaggiore" 380/132/36 kV  
 Nuovi raccordi AT 380 kV  
 Cavidotti 36 kV

COMMITTENTE		<b>wood</b>	PROGETTISTA	
Newagro S.r.l. Via Sebastiano Caboto, 15 20094 Corsico (MI)			Dott. Geol. Linda Collina	
0	APR-24	EMISSO PER ITER AUTORIZZATIVO	SG	GV
REV.	DATA	DESCRIZIONE	BY	CHD
REVISIONI				
<b>Impianto agrivoltaico "Consandolo" da 57.002,4 kWp, opere connesse ed infrastrutture indispensabili Comuni di Argenta e Portomaggiore (FE)</b>				
<b>PROGETTO DEFINITIVO IMPIANTO AGRIVOLTAICO ED OPERE DI UTENZA ELETTRICHE DI UTENZA</b>				
<b>TAV. 02</b>				
<b>Carta litologia di superficie</b>				
Questo documento è di proprietà di Newagro S.r.l. e il detentore certifica che il documento è stato ricevuto legalmente. Ogni utilizzo, riproduzione o divulgazione del documento deve essere oggetto di specifica autorizzazione da parte di Newagro S.r.l.		N° PROGETTO	0BN1024A	
		SCALA	1:20.000	

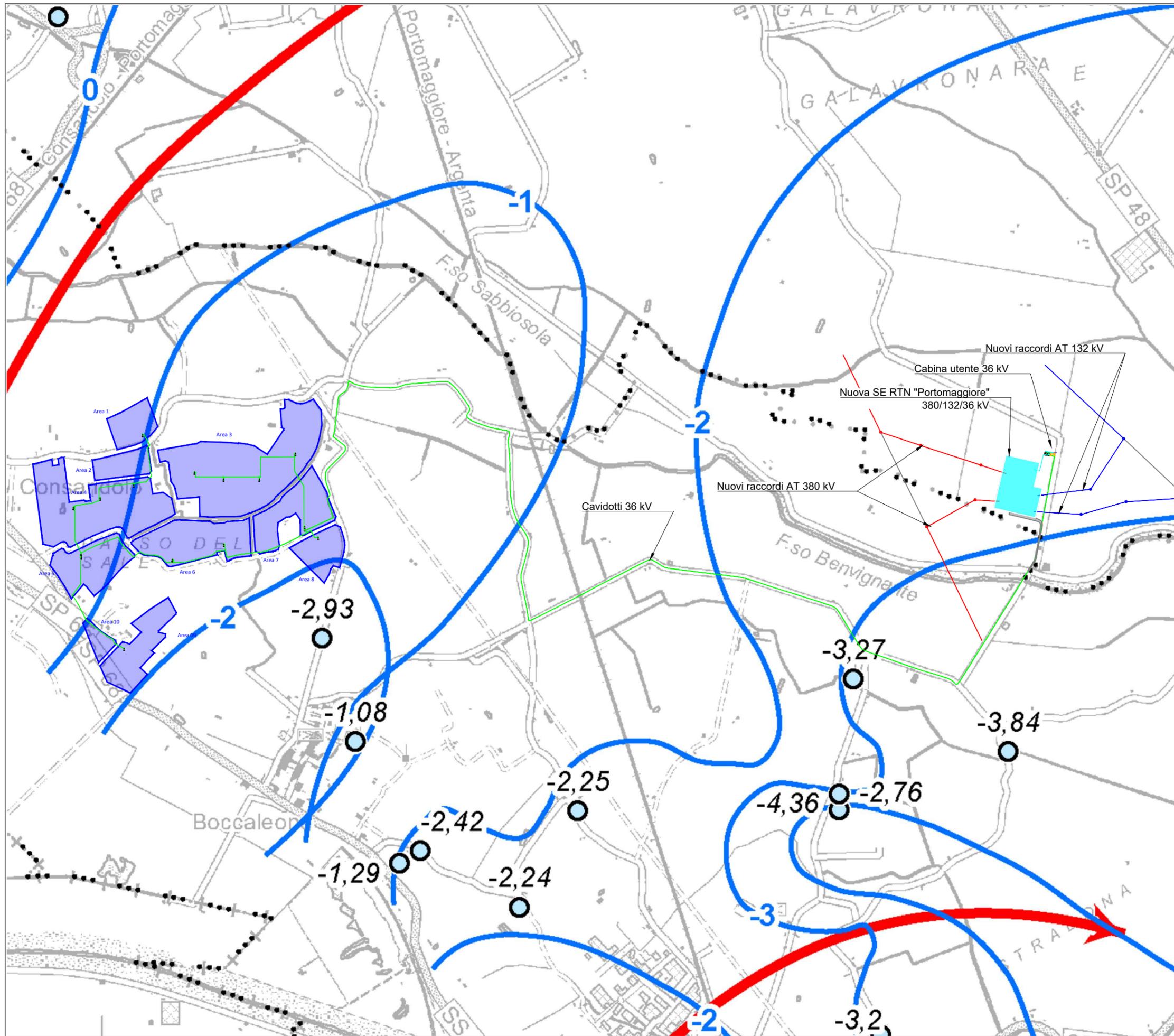


### LEGENDA

- Confini comunali
- Tracce di migrazione di meandri e di anse fluviali
- Cordonali litoranei affioranti
- Cordonali litoranei sepolti
- Paleovalve di ubicazione sicura
- Paleovalve di ubicazione incerta
- Depositi di rotta e tracimazione
- Impianto Agrivoltaico



COMMITTENTE		<b>wood.</b>		PROGETTISTA	
Newagro S.r.l. Via Sebastiano Caboto, 15 20094 Corsico (MI)				Dott. Geol. Linda Collina	
REV.	DATA	DESCRIZIONE	BY	CHD	APP
0	APR-24	EMISSO PER ITER AUTORIZZATIVO	SG	GV	LC
<b>Impianto agrivoltaico "Consandolo" da 57.002,4 kWp, opere connesse ed infrastrutture indispensabili Comuni di Argenta e Portomaggiore (FE)</b>					
<b>PROGETTO DEFINITIVO IMPIANTO AGRIVOLTAICO ED OPERE DI UTENZA ELETTRICHE DI UTENZA</b>					
<b>TAV. 03 Carta geomorfologica</b>					
Questo documento è di proprietà di Newagro S.r.l. e il detentore certifica che il documento è stato ricevuto legalmente. Ogni utilizzo, riproduzione o divulgazione del documento deve essere oggetto di specifica autorizzazione da parte di Newagro S.r.l.				N° PROGETTO	0BN1024A
				SCALA	1:20.000

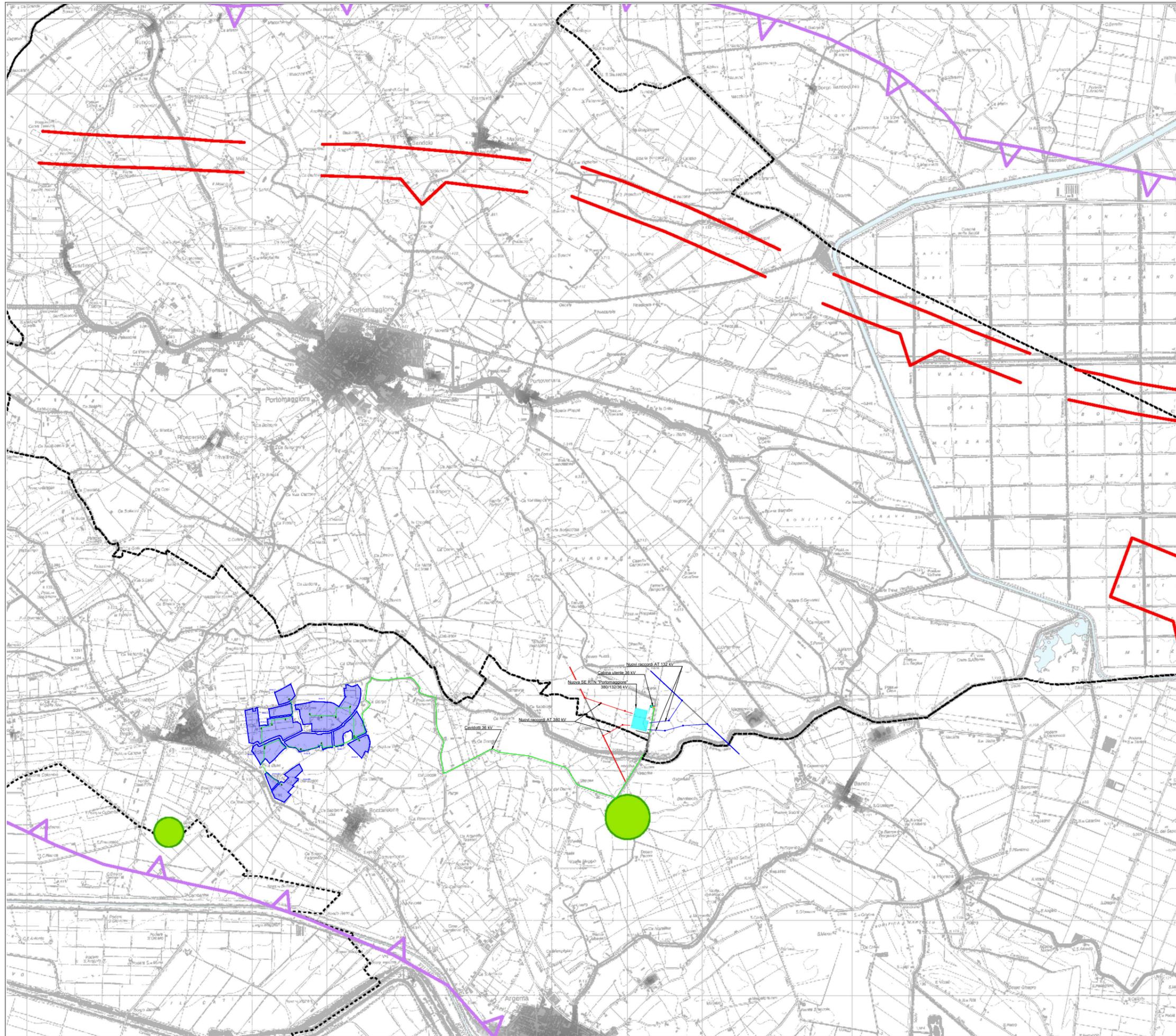


**LEGENDA**

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



COMMITTENTE		wood		PROGETTISTA	
Newagro S.r.l. Via Sebastiano Caboto, 15 20094 Corsico (MI)		Dott. Geol. Linda Collina			
0	APR-24	EMISSO PER ITER AUTORIZZATIVO	DESCRIZIONE	SG	GV
REV.	DATA	REVISIONI	BY	CHD	APP
<b>Impianto agrivoltaico "Consandolo" da 57.002,4 kWp, opere connesse ed infrastrutture indispensabili Comuni di Argenta e Portomaggiore (FE)</b>					
<b>PROGETTO DEFINITIVO IMPIANTO AGRIVOLTAICO ED OPERE DI UTENZA ELETTRICHE DI UTENZA</b>					
<b>TAV. 04 Carta idrogeologica</b>					
Questo documento è di proprietà di Newagro S.r.l. e il detentore certifica che il documento è stato ricevuto legalmente. Ogni utilizzo, riproduzione o divulgazione del documento deve essere oggetto di specifica autorizzazione da parte di Newagro S.r.l.				N° PROGETTO	0BN1024A
				SCALA	1:20.000



### LEGENDA

- Strutture attive e recenti (<1 Ma)**
  - Sovrascorrimenti
  - Fronti di accavallamento della successione carbonatica meso-cenozoica
  - Fronti di accavallamento del basamento
- Fronti dei principali sovrascorrimenti di età Pliocene - Pleistocene inferiore (4.5-1 Ma)**
  - Sovrascorrimento riattivato
  - Sovrascorrimento con possibili riattivazioni
- Epicentri dei terremoti macrosismici**
  - $4 < M < 5$
  - $5 < M < 5.5$
- Cartografia di base**
  - Limiti comunali
  - Corsi d'acqua, invasi, valli e zone umide
  - Aree urbanizzate
- Impianto Agrivoltaico



COMMITTENTE		<b>wood</b>		PROGETTISTA	
Newagro S.r.l. Via Sebastiano Caboto, 15 20094 Corsico (MI)				Dott. Geol. Linda Collina	
0	APR-24	EMISSO PER ITER AUTORIZZATIVO	DESCRIZIONE	SG	GV
REV.	DATA	REVISIONI	REVISIONI	BY	CHD
<b>Impianto agrivoltaico "Consandolo" da 57.002,4 kWp, opere connesse ed infrastrutture indispensabili Comuni di Argenta e Portomaggiore (FE)</b>					
<b>PROGETTO DEFINITIVO IMPIANTO AGRIVOLTAICO ED OPERE DI UTENZA ELETTRICHE DI UTENZA</b>					
<b>TAV. 05</b>					
<b>Carta degli elementi sismotettonici</b>					
Questo documento è di proprietà di Newagro S.r.l. e il detentore certifica che il documento è stato ricevuto legalmente. Ogni utilizzo, riproduzione o divulgazione del documento deve essere oggetto di specifica autorizzazione da parte di Newagro S.r.l.				N° PROGETTO	OBN1024A
				SCALA	1:50.000

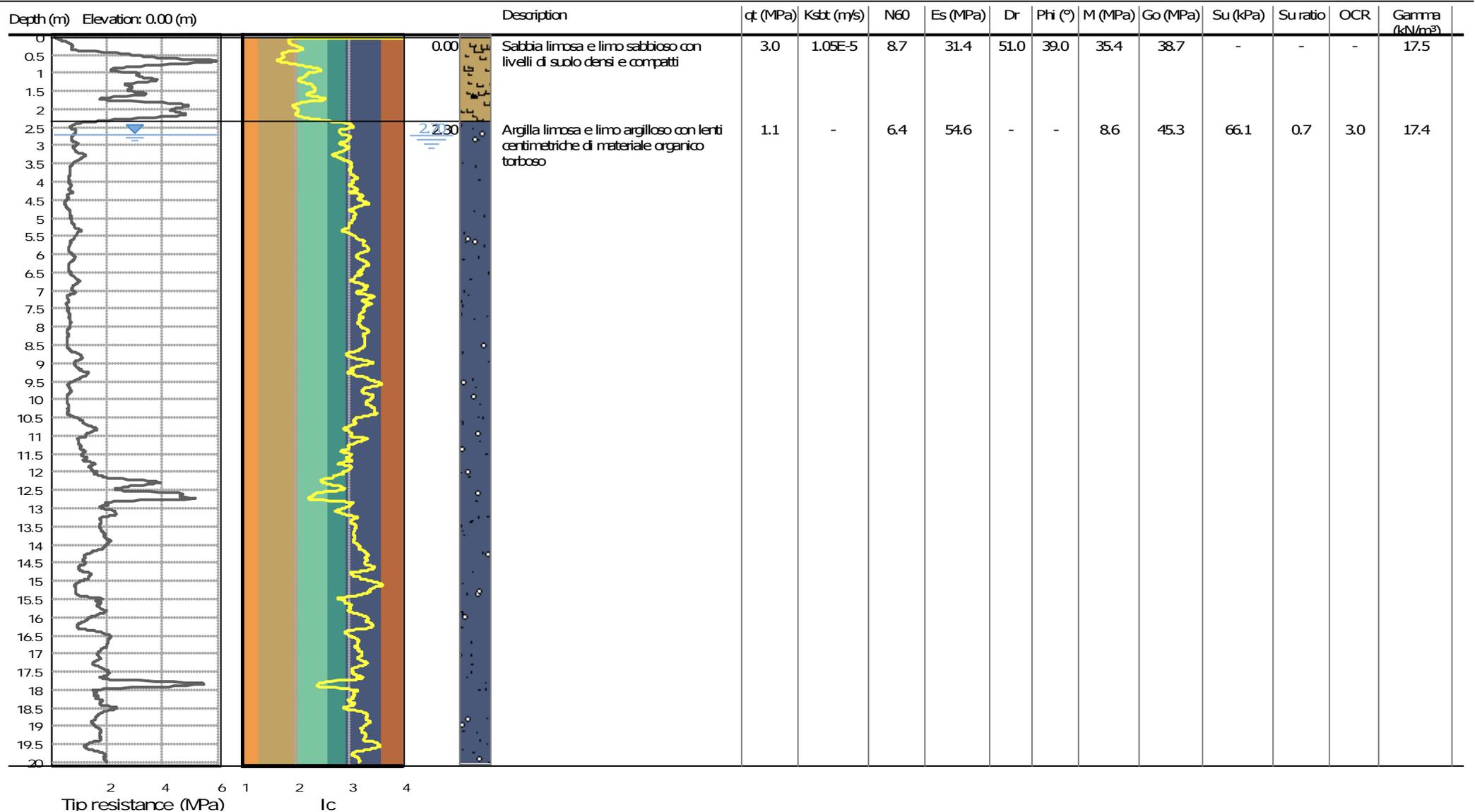
**Appendice 1**

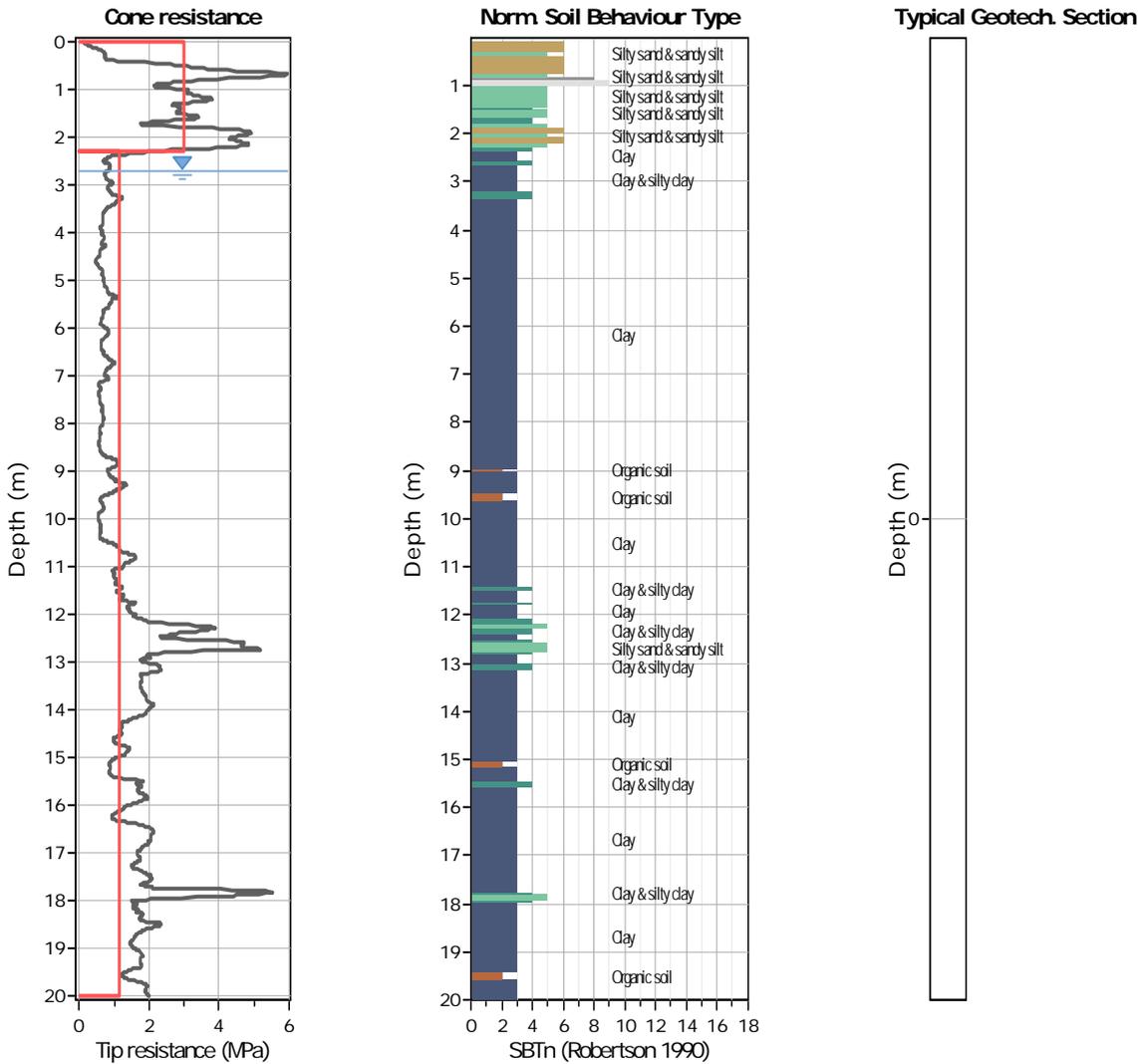
**Project: Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica - Impianto agrivoltaico 57.002 MWp**

**Location: Comuni di Argenta e Portomaggiore (FE)**

**CPT: CPTU 01**

Total depth: 20.00 m, Date: 27/09/2023





### Tabular results

<b>::: Layer No: 1 :::</b>		
<b>Code:</b> 1	<b>Start depth:</b> 0.00 (m), <b>End depth:</b> 2.30 (m)	
<b>Description:</b> Sabbia limosa e limo sabbioso con livelli di suolo densi e compatti		
<b>Basic results</b>		
Total cone resistance: 2.98 ±1.44 MPa	<b>Estimation results</b>	
Sleeve friction: 57.88 ±33.96 kPa	Permeability: 1.05E-05 ±1.70E-05 m/s	Constrained Mod.: 35.36 ±15.81 MPa
SBT <sub>n</sub> : 5	N60: 8.65 ±3.67 blows	Go: 38.69 ±16.11 MPa
SBT <sub>n</sub> description: Silty sand & sandy silt	Es: 31.42 ±12.71 MPa	Su: 0.00 ±0.00 kPa
	Dr (%): 51.00 ±8.59	Su ratio: 0.00 ±0.00
	φ (degrees): 39.02 ±1.58 °	O.C.R.: 0.00 ±0.00
	Unit weight: 17.55 ±1.58 kN/m <sup>3</sup>	

**:: Layer No: 2 ::****Code:** 2      **Start depth:** 2.30 (m), **End depth:** 20.00 (m)**Description:** Argilla limosa e limo argilloso con lenti centimetriche di materiale organico torboso**Basic results**

Total cone resistance: 1.14 ±0.80 MPa

Sleeve friction: 43.92 ±31.60 kPa

SBT<sub>n</sub>: 3SBT<sub>n</sub> description: Clay**Estimation results**

Permeability: 0.00E+00 ±1.15E-07 m/s

N60: 6.44 ±3.23 blows

Es: 54.62 ±14.89 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.39 ±0.82 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 8.61 ±11.48 MPa

Go: 45.29 ±20.82 MPa

Su: 66.07 ±39.53 kPa

Su ratio: 0.66 ±0.33

O.C.R.: 3.03 ±1.50

**Summary table of mean values**

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT <sub>N60</sub> (blows/30cm)	E <sub>s</sub> (MPa)	D <sub>r</sub>	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G <sub>0</sub> (MPa)	Undrained strength, S <sub>u</sub> (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
0.00	2.30	1.05E-05	8.7	31.4	51.0	39.0	35.4	38.7	0.0	0.0	0.0	17.5
2.30		(±1.70E-05)	(±3.7)	(±12.7)	(±8.6)	(±1.6)	(±15.8)	(±16.1)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.6)
2.30	17.70	0.00E+00	6.4	54.6	0.0	0.0	8.6	45.3	66.1	0.7	3.0	17.4
20.00		(±1.15E-07)	(±3.2)	(±14.9)	(±0.0)	(±0.0)	(±11.5)	(±20.8)	(±39.5)	(±0.3)	(±1.5)	(±0.8)

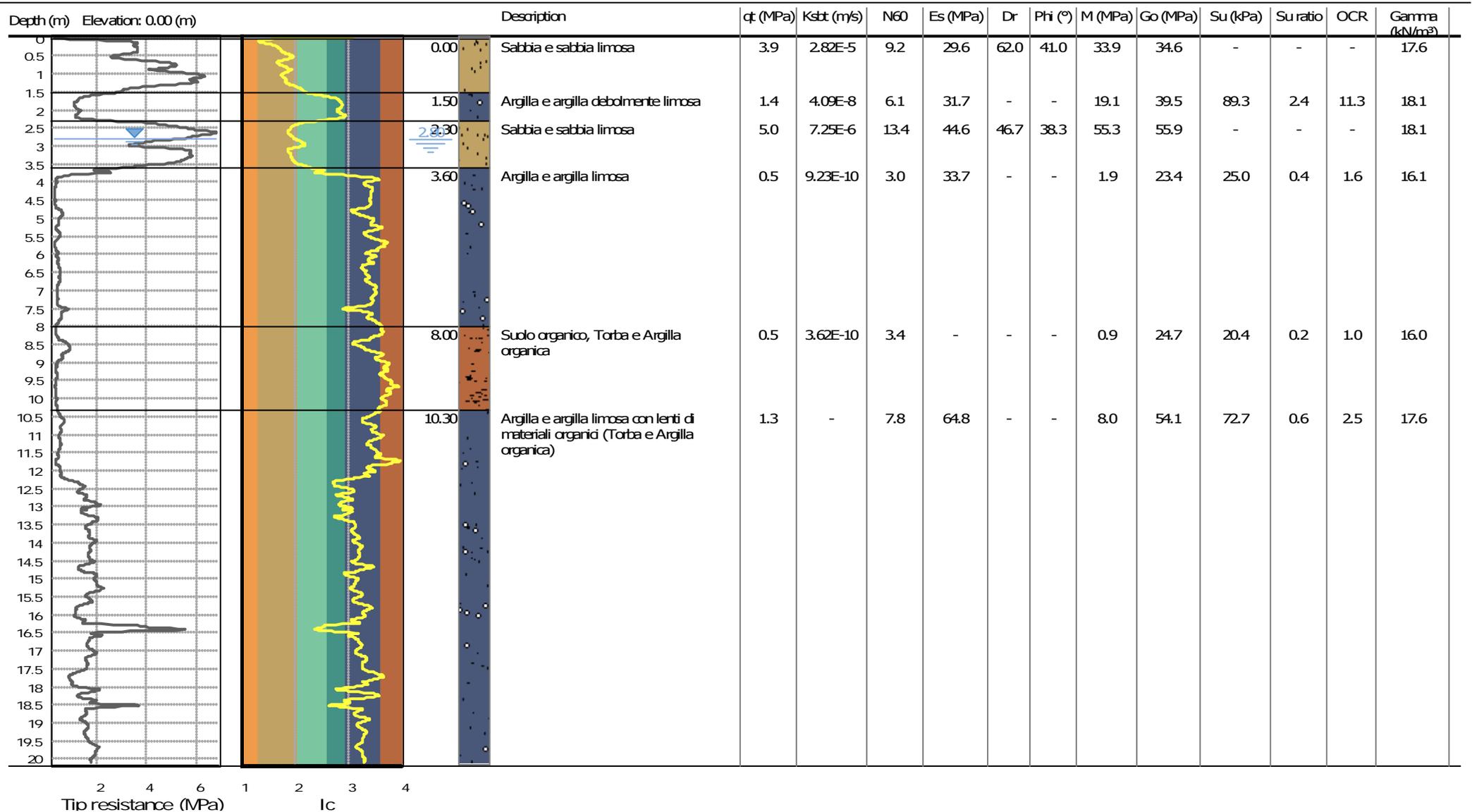
Depth values presented in this table are measured from free ground surface

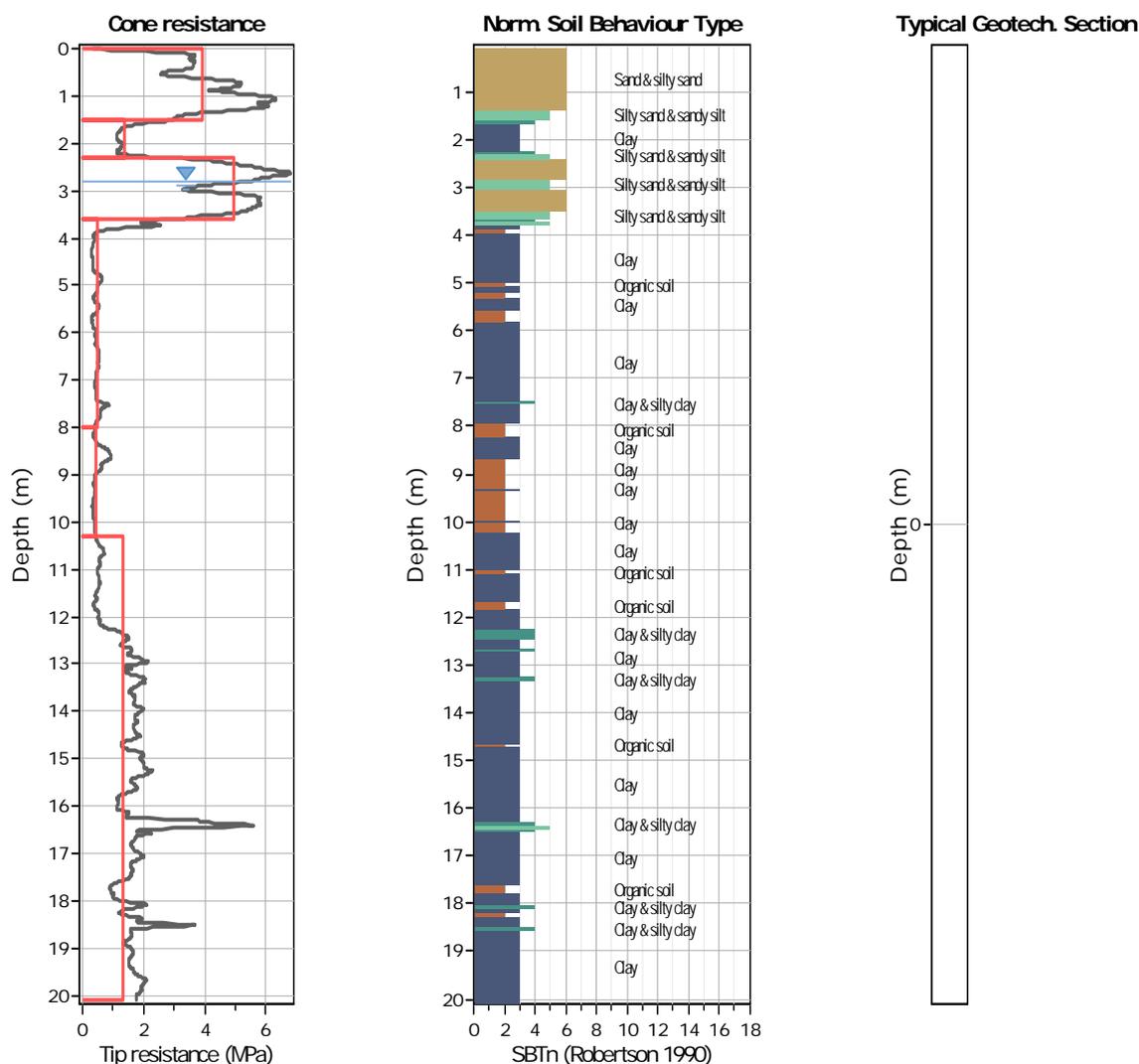
**Project: Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica - Impianto agrivoltaico 57.002 MWp**

**Location: Comuni di Argenta e Portomaggiore (FE)**

**CPT: CPTU 02**

Total depth: 20.10 m, Date: 27/09/2023





### Tabular results

<b>::: Layer No: 1 :::</b>		
<b>Code:</b> 1	<b>Start depth:</b> 0.00 (m), <b>End depth:</b> 1.50 (m)	
<b>Description:</b> Sabbia e sabbia limosa		
<b>Basic results</b>		
Total cone resistance:	3.92 ±1.31 MPa	
Sleeve friction:	32.24 ±21.46 kPa	
SBT <sub>n</sub> :	6	
SBT <sub>n</sub> description:	Sand & silty sand	
<b>Estimation results</b>		
Permeability:	2.82E-05 ±1.51E-04 m/s	Constrained Mod.: 33.90 ±13.09 MPa
N60:	9.24 ±3.20 blows	Go: 34.56 ±12.74 MPa
Es:	29.55 ±8.85 MPa	Su: 0.00 ±0.00 kPa
Dr (%):	61.95 ±6.34	Su ratio: 0.00 ±0.00
φ (degrees):	41.00 ±1.03 °	O.C.R.: 0.00 ±0.00
Unit weight:	17.60 ±1.09 kN/m <sup>3</sup>	

::: Layer No: 2 :::		
<b>Code:</b> 2	<b>Start depth:</b> 1.50 (m), <b>End depth:</b> 2.30 (m)	
<b>Description:</b> Argilla e argilla debolmente limosa		
<b>Basic results</b>	<b>Estimation results</b>	
Total cone resistance: 1.40 ±0.48 MPa	Permeability: 4.09E-08 ±4.34E-07 m/s	Constrained Mod.: 19.06 ±6.79 MPa
Sleeve friction: 77.29 ±10.80 kPa	N60: 6.11 ±1.04 blows	Go: 39.52 ±2.40 MPa
SBT <sub>n</sub> : 3	Es: 31.70 ±3.65 MPa	Su: 89.28 ±16.29 kPa
SBTn description: Clay	Dr (%): 0.00 ±0.00	Su ratio: 2.44 ±0.38
	φ (degrees): 0.00 ±0.00 °	O.C.R.: 11.26 ±1.77
	Unit weight: 18.12 ±0.10 kN/m <sup>3</sup>	
::: Layer No: 3 :::		
<b>Code:</b> 3	<b>Start depth:</b> 2.30 (m), <b>End depth:</b> 3.60 (m)	
<b>Description:</b> Sabbia e sabbia limosa		
<b>Basic results</b>	<b>Estimation results</b>	
Total cone resistance: 4.96 ±1.03 MPa	Permeability: 7.25E-06 ±6.14E-06 m/s	Constrained Mod.: 55.34 ±5.55 MPa
Sleeve friction: 49.23 ±8.66 kPa	N60: 13.42 ±1.93 blows	Go: 55.89 ±4.70 MPa
SBT <sub>n</sub> : 6	Es: 44.59 ±3.75 MPa	Su: 0.00 ±0.00 kPa
SBTn description: Sand & silty sand	Dr (%): 46.71 ±4.59	Su ratio: 0.00 ±0.00
	φ (degrees): 38.30 ±0.96 °	O.C.R.: 0.00 ±0.00
	Unit weight: 18.08 ±0.23 kN/m <sup>3</sup>	
::: Layer No: 4 :::		
<b>Code:</b> 4	<b>Start depth:</b> 3.60 (m), <b>End depth:</b> 8.00 (m)	
<b>Description:</b> Argilla e argilla limosa		
<b>Basic results</b>	<b>Estimation results</b>	
Total cone resistance: 0.48 ±0.39 MPa	Permeability: 9.23E-10 ±8.97E-08 m/s	Constrained Mod.: 1.86 ±6.21 MPa
Sleeve friction: 18.77 ±8.65 kPa	N60: 3.03 ±1.21 blows	Go: 23.38 ±5.68 MPa
SBT <sub>n</sub> : 3	Es: 33.70 ±2.01 MPa	Su: 24.99 ±15.51 kPa
SBTn description: Clay	Dr (%): 0.00 ±0.00	Su ratio: 0.35 ±0.25
	φ (degrees): 0.00 ±0.00 °	O.C.R.: 1.64 ±1.16
	Unit weight: 16.08 ±0.56 kN/m <sup>3</sup>	
::: Layer No: 5 :::		
<b>Code:</b> 5	<b>Start depth:</b> 8.00 (m), <b>End depth:</b> 10.30 (m)	
<b>Description:</b> Suolo organico, Torba e Argilla organica		
<b>Basic results</b>	<b>Estimation results</b>	
Total cone resistance: 0.45 ±0.18 MPa	Permeability: 3.62E-10 ±6.97E-10 m/s	Constrained Mod.: 0.91 ±1.99 MPa
Sleeve friction: 18.32 ±19.59 kPa	N60: 3.40 ±0.93 blows	Go: 24.69 ±8.50 MPa
SBT <sub>n</sub> : 2	Es: 0.00 ±0.00 MPa	Su: 20.42 ±13.03 kPa
SBTn description: Organic soil	Dr (%): 0.00 ±0.00	Su ratio: 0.22 ±0.15
	φ (degrees): 0.00 ±0.00 °	O.C.R.: 1.03 ±0.70
	Unit weight: 16.03 ±0.77 kN/m <sup>3</sup>	

## .: Layer No: 6 .:

**Code:** 6      **Start depth:** 10.30 (m), **End depth:** 20.10 (m)**Description:** Argilla e argilla limosa con lenti di materiali organici (Torba e Argilla organica)**Basic results**

Total cone resistance: 1.32 ±0.71 MPa

Sleeve friction: 49.26 ±41.30 kPa

SBT<sub>n</sub>: 3SBT<sub>n</sub> description: Clay**Estimation results**

Permeability: 0.00E+00 ±4.33E-08 m/s

N60: 7.79 ±2.98 blows

Es: 64.80 ±5.19 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.58 ±1.16 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 7.96 ±11.18 MPa

Go: 54.14 ±21.76 MPa

Su: 72.74 ±42.62 kPa

Su ratio: 0.55 ±0.30

O.C.R.: 2.54 ±1.39

**Summary table of mean values**

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT <sub>N60</sub> (blows/30cm)	E <sub>s</sub> (MPa)	D <sub>r</sub>	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G <sub>0</sub> (MPa)	Undrained strength, S <sub>u</sub> (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
0.00	1.50	2.82E-05	9.2	29.6	62.0	41.0	33.9	34.6	0.0	0.0	0.0	17.6
1.50		(±1.51E-04)	(±3.2)	(±8.8)	(±6.3)	(±1.0)	(±13.1)	(±12.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.1)
1.50	0.80	4.09E-08	6.1	31.7	0.0	0.0	19.1	39.5	89.3	2.4	11.3	18.1
2.30		(±4.34E-07)	(±1.0)	(±3.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±6.8)	(±2.4)	(±16.3)	(±0.4)	(±1.8)	(±0.1)
2.30	1.30	7.25E-06	13.4	44.6	46.7	38.3	55.3	55.9	0.0	0.0	0.0	18.1
3.60		(±6.14E-06)	(±1.9)	(±3.7)	(±4.6)	(±1.0)	(±5.5)	(±4.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.2)
3.60	4.40	9.23E-10	3.0	33.7	0.0	0.0	1.9	23.4	25.0	0.4	1.6	16.1
8.00		(±8.97E-08)	(±1.2)	(±2.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±6.2)	(±5.7)	(±15.5)	(±0.3)	(±1.2)	(±0.6)
8.00	2.30	3.62E-10	3.4	0.0	0.0	0.0	0.9	24.7	20.4	0.2	1.0	16.0
10.30		(±6.97E-10)	(±0.9)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±2.0)	(±8.5)	(±13.0)	(±0.2)	(±0.7)	(±0.8)
10.30	9.80	0.00E+00	7.8	64.8	0.0	0.0	8.0	54.1	72.7	0.6	2.5	17.6
20.10		(±4.33E-08)	(±3.0)	(±5.2)	(±0.0)	(±0.0)	(±11.2)	(±21.8)	(±42.6)	(±0.3)	(±1.4)	(±1.2)

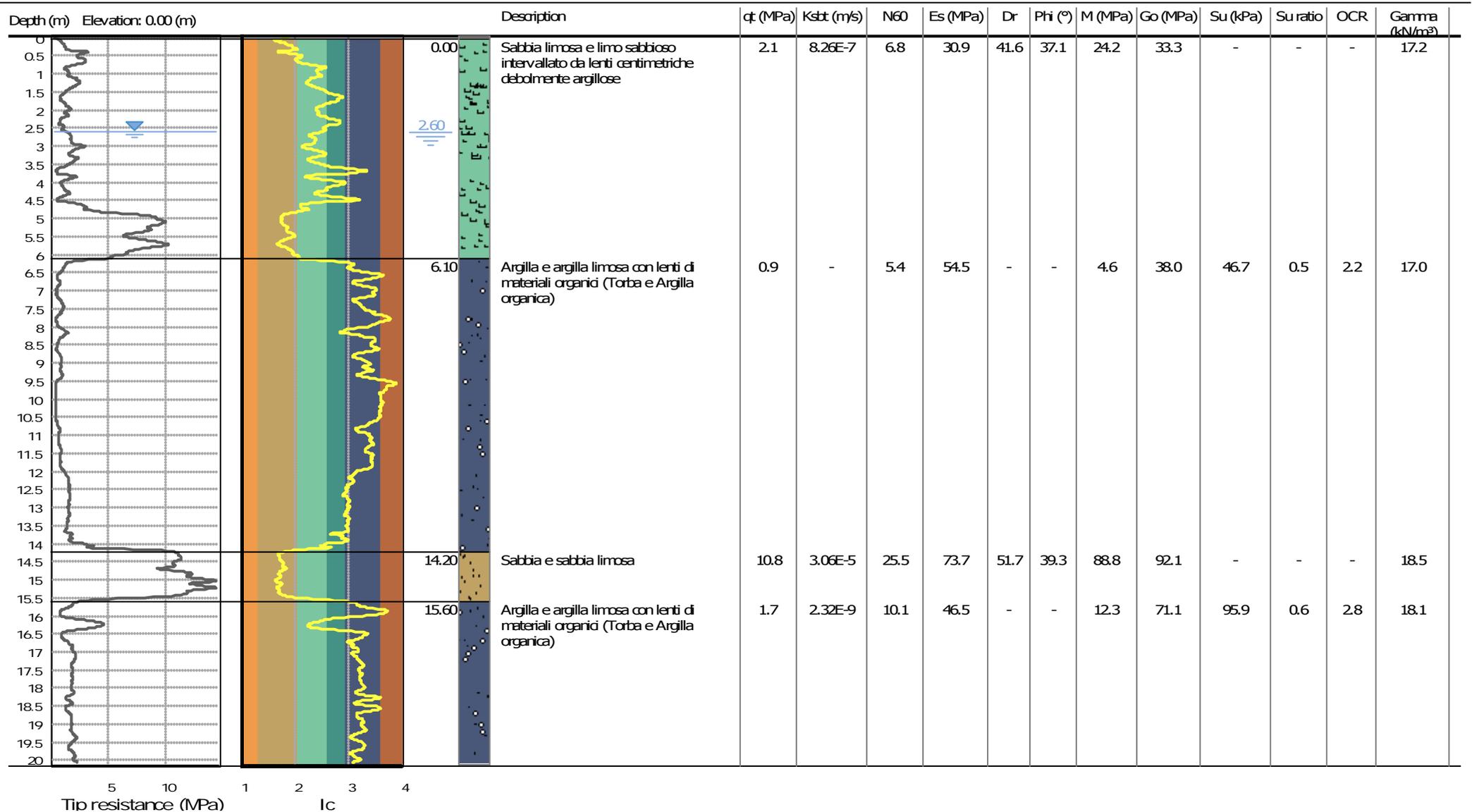
Depth values presented in this table are measured from free ground surface

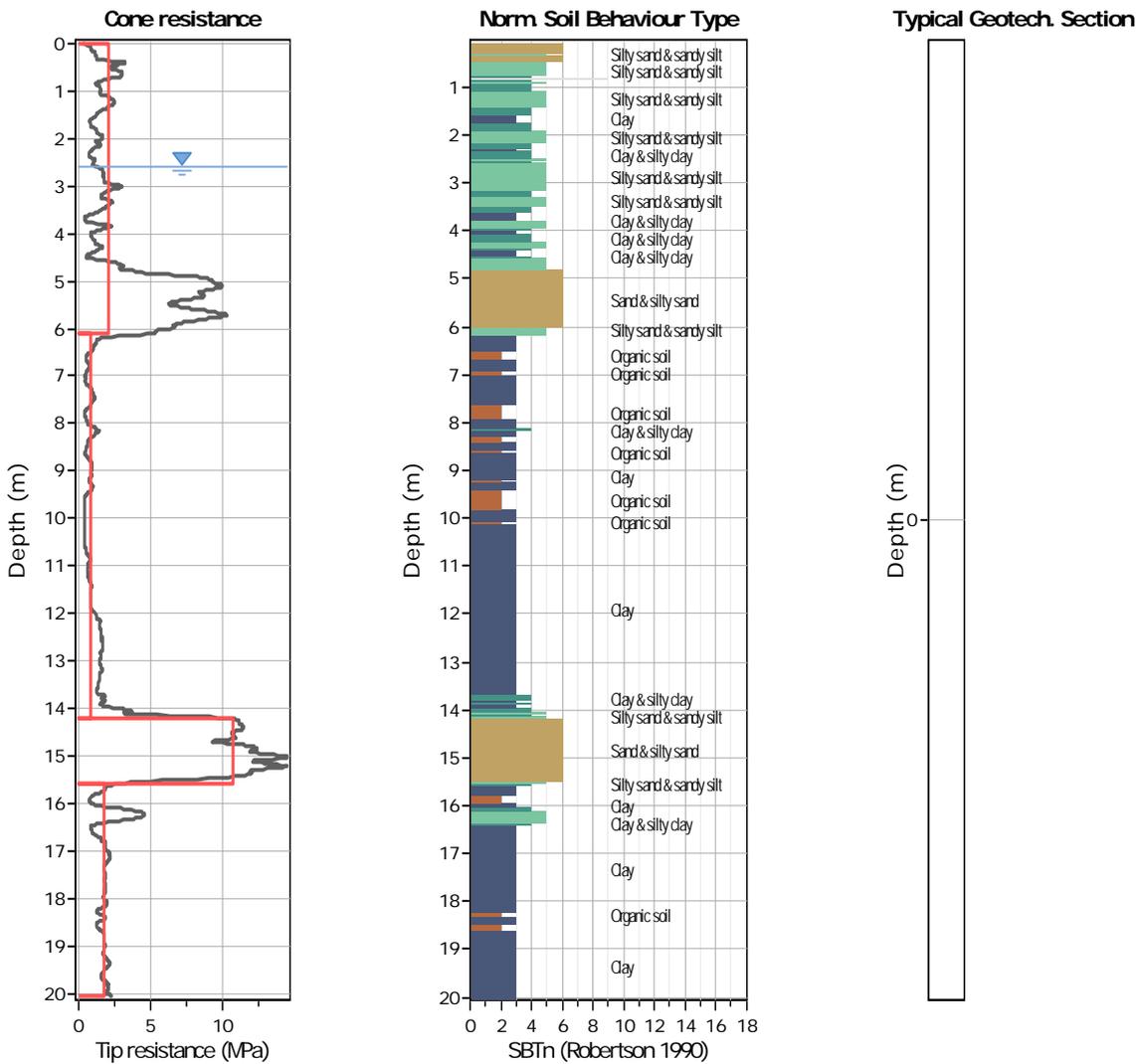
**Project: Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica - Impianto agrivoltaico 57.002 MWp**

**Location: Comuni di Argenta e Portomaggiore (FE)**

**CPT: CPTU 03**

Total depth: 20.06 m, Date: 27/09/2023





**Tabular results**

<b>::: Layer No: 1 :::</b>		
<b>Code:</b> 1	<b>Start depth:</b> 0.00 (m), <b>End depth:</b> 6.10 (m)	
<b>Description:</b> Sabbia limosa e limo sabbioso intervallato da lenti centimetriche debolmente argillose		
<b>Basic results</b>	<b>Estimation results</b>	
Total cone resistance: 2.05 ±2.92 MPa	Permeability: 8.26E-07 ±1.70E-05 m/s	Constrained Mod.: 24.19 ±24.49 MPa
Sleeve friction: 0.00 ±42.15 kPa	N60: 6.78 ±6.25 blows	Go: 33.31 ±20.19 MPa
SBT <sub>n</sub> : 5	Es: 30.92 ±17.77 MPa	Su: 0.00 ±0.00 kPa
SBT <sub>n</sub> description: Silty sand & sandy silt	Dr (%): 41.64 ±12.22	Su ratio: 0.00 ±0.00
	φ (degrees): 37.11 ±2.80 °	O.C.R.: 0.00 ±0.00
	Unit weight: 17.17 ±1.04 kN/m <sup>3</sup>	

**::: Layer No: 2 :::****Code:** 2      **Start depth:** 6.10 (m), **End depth:** 14.20 (m)**Description:** Argilla e argilla limosa con lenti di materiali organici (Torba e Argilla organica)**Basic results**

Total cone resistance: 0.88 ±0.93 MPa

Sleeve friction: 33.98 ±22.71 kPa

SBT<sub>n</sub>: 3SBT<sub>n</sub> description: Clay**Estimation results**

Permeability: 0.00E+00 ±6.29E-07 m/s

N60: 5.36 ±2.74 blows

Es: 54.50 ±3.92 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.99 ±0.85 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 4.57 ±12.85 MPa

Go: 38.04 ±13.50 MPa

Su: 46.73 ±36.09 kPa

Su ratio: 0.48 ±0.31

O.C.R.: 2.21 ±1.45

**::: Layer No: 3 :::****Code:** 3      **Start depth:** 14.20 (m), **End depth:** 15.60 (m)**Description:** Sabbia e sabbia limosa**Basic results**

Total cone resistance: 10.78 ±2.42 MPa

Sleeve friction: 55.85 ±12.37 kPa

SBT<sub>n</sub>: 6SBT<sub>n</sub> description: Sand & silty sand**Estimation results**

Permeability: 3.06E-05 ±2.77E-05 m/s

N60: 25.46 ±3.68 blows

Es: 73.75 ±5.12 MPa

Dr (%): 51.70 ±4.51

φ (degrees): 39.27 ±0.94 °

Unit weight: 18.53 ±0.21 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 88.82 ±12.81 MPa

Go: 92.13 ±6.44 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

**::: Layer No: 4 :::****Code:** 4      **Start depth:** 15.60 (m), **End depth:** 20.06 (m)**Description:** Argilla e argilla limosa con lenti di materiali organici (Torba e Argilla organica)**Basic results**

Total cone resistance: 1.75 ±0.66 MPa

Sleeve friction: 71.67 ±34.99 kPa

SBT<sub>n</sub>: 3SBT<sub>n</sub> description: Clay**Estimation results**

Permeability: 2.32E-09 ±2.17E-07 m/s

N60: 10.07 ±1.88 blows

Es: 46.48 ±1.78 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 18.12 ±0.72 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 12.30 ±11.20 MPa

Go: 71.10 ±14.27 MPa

Su: 95.93 ±26.24 kPa

Su ratio: 0.60 ±0.17

O.C.R.: 2.78 ±0.79

**Summary table of mean values**

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT <sub>N60</sub> (blows/30cm)	E <sub>s</sub> (MPa)	D <sub>r</sub>	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G <sub>o</sub> (MPa)	Undrained strength, S <sub>u</sub> (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
0.00	6.10	8.26E-07	6.8	30.9	41.6	37.1	24.2	33.3	0.0	0.0	0.0	17.2
6.10		(±1.70E-05)	(±6.2)	(±17.8)	(±12.2)	(±2.8)	(±24.5)	(±20.2)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.0)
6.10	8.10	0.00E+00	5.4	54.5	0.0	0.0	4.6	38.0	46.7	0.5	2.2	17.0
14.20		(±6.29E-07)	(±2.7)	(±3.9)	(±0.0)	(±0.0)	(±12.9)	(±13.5)	(±36.1)	(±0.3)	(±1.4)	(±0.8)
14.20	1.40	3.06E-05	25.5	73.7	51.7	39.3	88.8	92.1	0.0	0.0	0.0	18.5
15.60		(±2.77E-05)	(±3.7)	(±5.1)	(±4.5)	(±0.9)	(±12.8)	(±6.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.2)
15.60	4.46	2.32E-09	10.1	46.5	0.0	0.0	12.3	71.1	95.9	0.6	2.8	18.1
20.06		(±2.17E-07)	(±1.9)	(±1.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±11.2)	(±14.3)	(±26.2)	(±0.2)	(±0.8)	(±0.7)

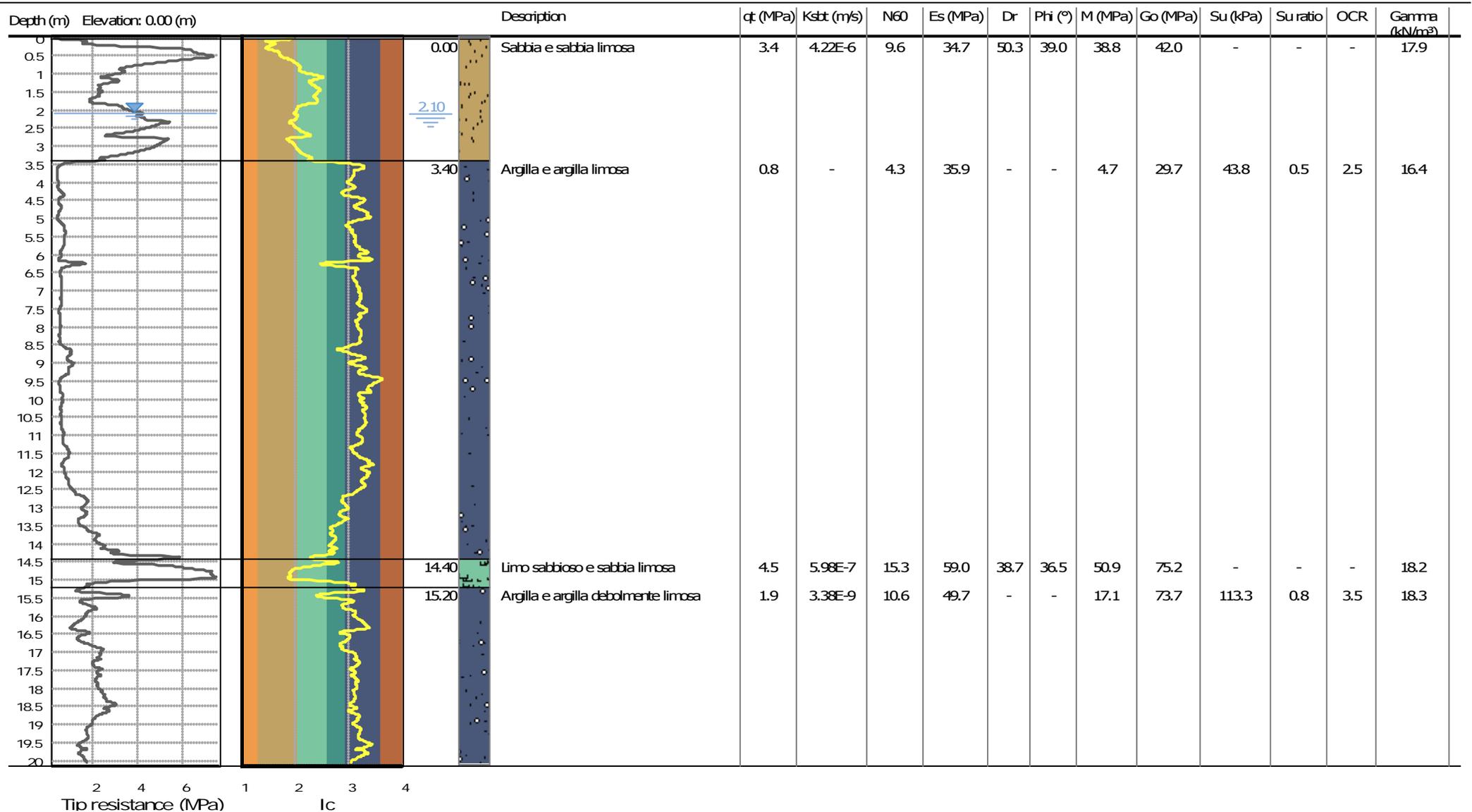
Depth values presented in this table are measured from free ground surface

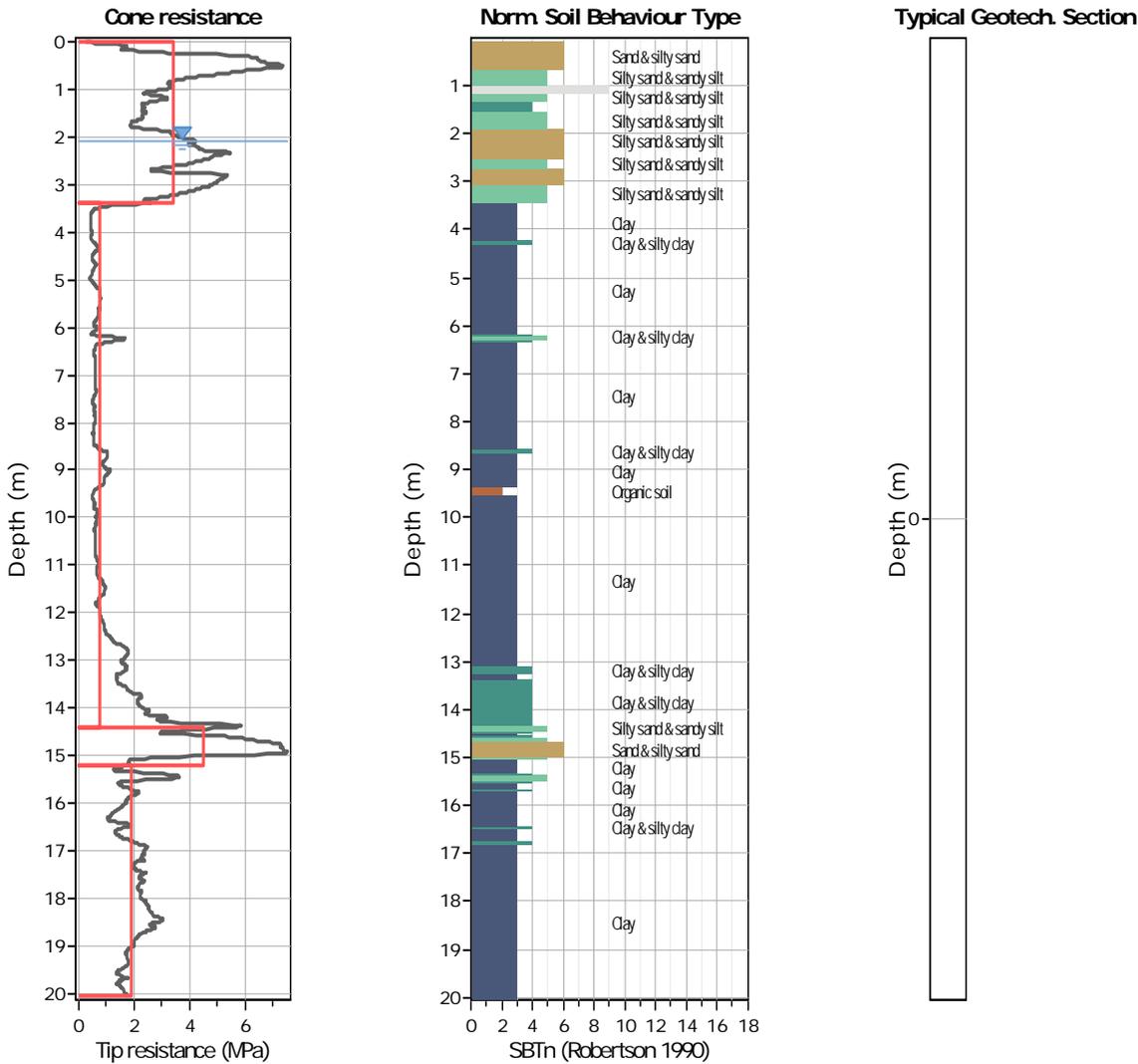
**Project: Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica - Impianto agrivoltaico 57.002 MWp**

**Location: Comuni di Argenta e Portomaggiore (FE)**

**CPT: CPTU 04**

Total depth: 20.05 m, Date: 27/09/2023





### Tabular results

::: Layer No: 1 :::		
<b>Code:</b> 1	<b>Start depth:</b> 0.00 (m), <b>End depth:</b> 3.40 (m)	
<b>Description:</b> Sabbia e sabbia limosa		
<b>Basic results</b>		
Total cone resistance:	3.41 ±1.49 MPa	
Sleeve friction:	0.00 ±69.00 kPa	
SBT <sub>n</sub> :	6	
SBT <sub>n</sub> description:	Sand & silty sand	
<b>Estimation results</b>		
Permeability:	4.22E-06 ±6.27E-05 m/s	Constrained Mod.: 38.80 ±12.56 MPa
N60:	9.62 ±3.08 blows	Go: 41.99 ±11.50 MPa
Es:	34.70 ±8.10 MPa	Su: 0.00 ±0.00 kPa
Dr (%):	50.32 ±14.63	Su ratio: 0.00 ±0.00
φ (degrees):	38.95 ±2.41 °	O.C.R.: 0.00 ±0.00
Unit weight:	17.90 ±1.08 kN/m <sup>3</sup>	

**::: Layer No: 2 :::****Code:** 2      **Start depth:** 3.40 (m), **End depth:** 14.40 (m)**Description:** Argilla e argilla limosa**Basic results**

Total cone resistance: 0.78 ±0.68 MPa

Sleeve friction: 21.82 ±16.48 kPa

SBT<sub>n</sub>: 3SBT<sub>n</sub> description: Clay**Estimation results**

Permeability: 0.00E+00 ±8.22E-08 m/s

N60: 4.34 ±2.45 blows

Es: 35.93 ±20.81 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.44 ±0.80 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 4.74 ±10.24 MPa

Go: 29.65 ±13.14 MPa

Su: 43.83 ±35.90 kPa

Su ratio: 0.54 ±0.29

O.C.R.: 2.51 ±1.33

**::: Layer No: 3 :::****Code:** 3      **Start depth:** 14.40 (m), **End depth:** 15.20 (m)**Description:** Limo sabbioso e sabbia limosa**Basic results**

Total cone resistance: 4.50 ±2.14 MPa

Sleeve friction: 56.86 ±33.66 kPa

SBT<sub>n</sub>: 5SBT<sub>n</sub> description: Silty sand & sandy silt**Estimation results**

Permeability: 5.98E-07 ±8.42E-06 m/s

N60: 15.34 ±3.37 blows

Es: 59.03 ±7.04 MPa

Dr (%): 38.71 ±3.67

φ (degrees): 36.51 ±0.96 °

Unit weight: 18.21 ±0.50 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 50.91 ±21.14 MPa

Go: 75.24 ±9.77 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

**::: Layer No: 4 :::****Code:** 4      **Start depth:** 15.20 (m), **End depth:** 20.05 (m)**Description:** Argilla e argilla debolmente limosa**Basic results**

Total cone resistance: 1.92 ±0.50 MPa

Sleeve friction: 80.76 ±48.38 kPa

SBT<sub>n</sub>: 3SBT<sub>n</sub> description: Clay**Estimation results**

Permeability: 3.38E-09 ±5.25E-08 m/s

N60: 10.56 ±2.31 blows

Es: 49.74 ±2.60 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 18.29 ±0.72 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 17.09 ±9.96 MPa

Go: 73.72 ±18.58 MPa

Su: 113.27 ±32.25 kPa

Su ratio: 0.77 ±0.22

O.C.R.: 3.55 ±1.02

**Summary table of mean values**

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT <sub>N60</sub> (blows/30cm)	E <sub>s</sub> (MPa)	D <sub>r</sub>	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G <sub>0</sub> (MPa)	Undrained strength, S <sub>u</sub> (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
0.00	3.40	4.22E-06	9.6	34.7	50.3	39.0	38.8	42.0	0.0	0.0	0.0	17.9
3.40		(±6.27E-05)	(±3.1)	(±8.1)	(±14.6)	(±2.4)	(±12.6)	(±11.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.1)
3.40	11.00	0.00E+00	4.3	35.9	0.0	0.0	4.7	29.7	43.8	0.5	2.5	16.4
14.40		(±8.22E-08)	(±2.4)	(±20.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±10.2)	(±13.1)	(±35.9)	(±0.3)	(±1.3)	(±0.8)
14.40	0.80	5.98E-07	15.3	59.0	38.7	36.5	50.9	75.2	0.0	0.0	0.0	18.2
15.20		(±8.42E-06)	(±3.4)	(±7.0)	(±3.7)	(±1.0)	(±21.1)	(±9.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.5)
15.20	4.85	3.38E-09	10.6	49.7	0.0	0.0	17.1	73.7	113.3	0.8	3.5	18.3
20.05		(±5.25E-08)	(±2.3)	(±2.6)	(±0.0)	(±0.0)	(±10.0)	(±18.6)	(±32.3)	(±0.2)	(±1.0)	(±0.7)

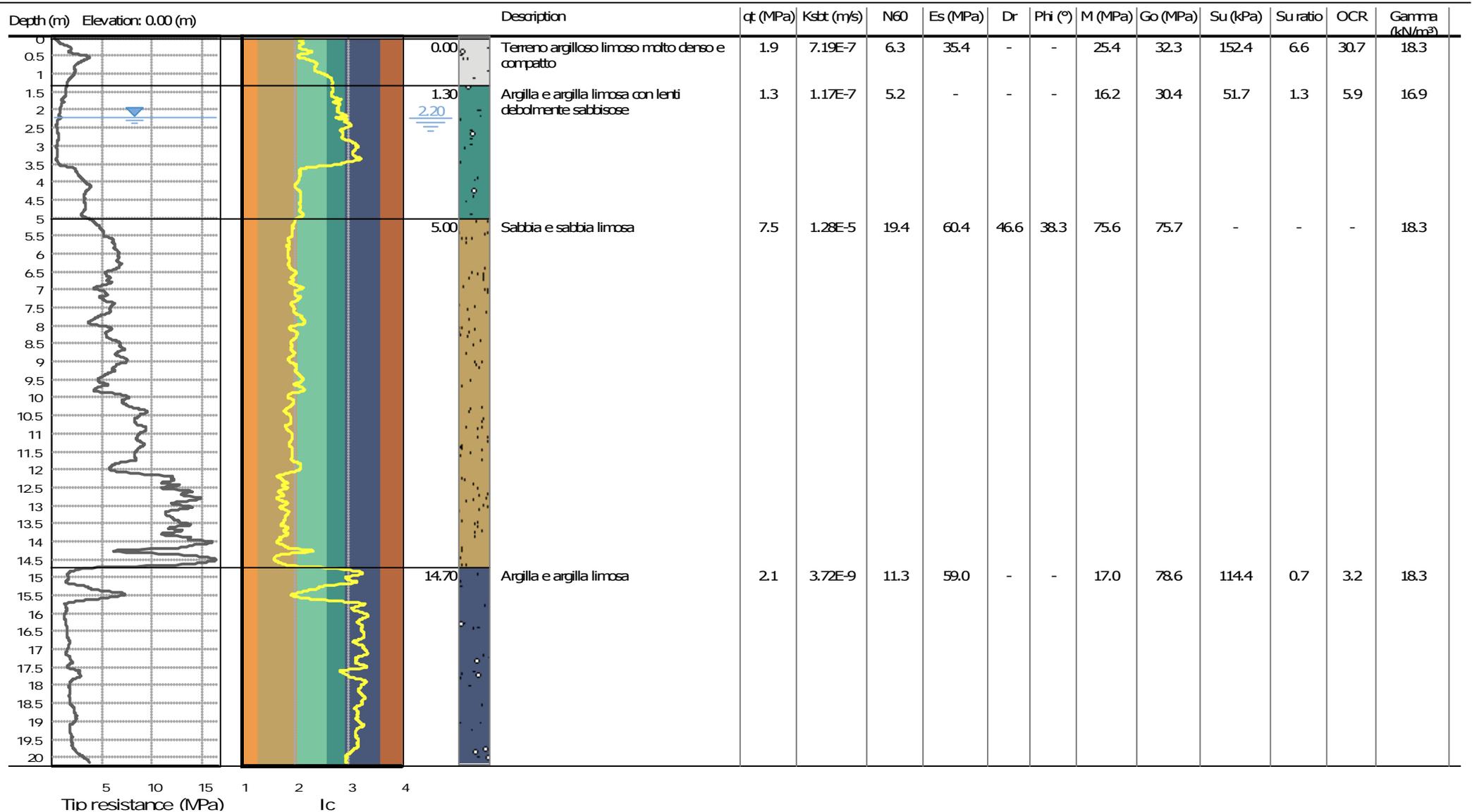
Depth values presented in this table are measured from free ground surface

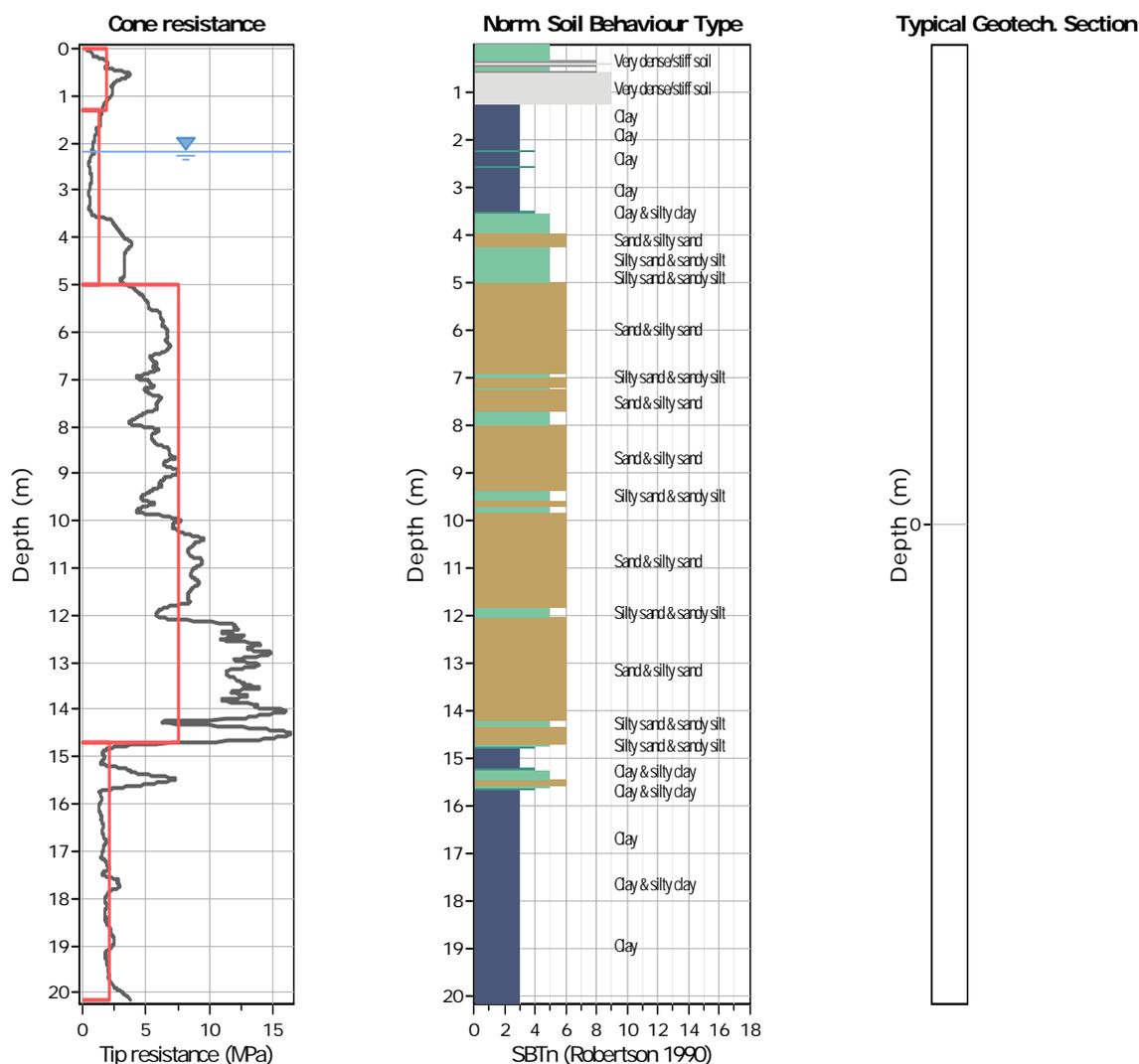
**Project: Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica - Impianto agrivoltaico 57.002 MWp**

**Location: Comuni di Argenta e Portomaggiore (FE)**

**CPT: CPTU 05**

Total depth: 20.15 m, Date: 08/11/2023





### Tabular results

::: Layer No: 1 :::		
<b>Code:</b> 1	<b>Start depth:</b> 0.00 (m), <b>End depth:</b> 1.30 (m)	
<b>Description:</b> Terreno argilloso limoso molto denso e compatto		
<b>Basic results</b>		
Total cone resistance:	1.88 ±0.83 MPa	
Sleeve friction:	78.49 ±50.36 kPa	
SBT <sub>n</sub> :	9	
SBT <sub>n</sub> description:	Very dense/stiff soil	
<b>Estimation results</b>		
Permeability:	7.19E-07 ±1.97E-06 m/s	Constrained Mod.: 25.41 ±11.14 MPa
N60:	6.28 ±2.73 blows	Go: 32.31 ±14.98 MPa
Es:	35.38 ±5.07 MPa	Su: 152.35 ±32.73 kPa
Dr (%):	0.00 ±0.00	Su ratio: 6.64 ±2.10
φ (degrees):	0.00 ±0.00 °	O.C.R.: 30.70 ±9.69
Unit weight:	18.25 ±1.05 kN/m <sup>3</sup>	

**::: Layer No: 2 :::****Code:** 2      **Start depth:** 1.30 (m), **End depth:** 5.00 (m)**Description:** Argilla e argilla limosa con lenti debolmente sabbiose**Basic results**

Total cone resistance: 1.33 ±1.26 MPa

Sleeve friction: 27.68 ±21.20 kPa

SBT<sub>n</sub>: 4SBT<sub>n</sub> description: Clay & silty clay**Estimation results**

Permeability: 1.17E-07 ±2.63E-06 m/s

N60: 5.23 ±2.83 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.92 ±0.62 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 16.16 ±15.68 MPa

Go: 30.38 ±8.34 MPa

Su: 51.73 ±23.71 kPa

Su ratio: 1.29 ±0.91

O.C.R.: 5.95 ±4.22

**::: Layer No: 3 :::****Code:** 3      **Start depth:** 5.00 (m), **End depth:** 14.70 (m)**Description:** Sabbia e sabbia limosa**Basic results**

Total cone resistance: 7.55 ±3.22 MPa

Sleeve friction: 53.21 ±21.32 kPa

SBT<sub>n</sub>: 6SBT<sub>n</sub> description: Sand & silty sand**Estimation results**

Permeability: 1.28E-05 ±1.93E-05 m/s

N60: 19.39 ±6.51 blows

Es: 60.42 ±16.39 MPa

Dr (%): 46.56 ±6.36

φ (degrees): 38.26 ±1.29 °

Unit weight: 18.33 ±0.55 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 75.63 ±20.43 MPa

Go: 75.72 ±20.55 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

**::: Layer No: 4 :::****Code:** 4      **Start depth:** 14.70 (m), **End depth:** 20.15 (m)**Description:** Argilla e argilla limosa**Basic results**

Total cone resistance: 2.08 ±1.13 MPa

Sleeve friction: 81.84 ±33.35 kPa

SBT<sub>n</sub>: 3SBT<sub>n</sub> description: Clay**Estimation results**

Permeability: 3.72E-09 ±1.45E-06 m/s

N60: 11.35 ±2.61 blows

Es: 58.99 ±7.30 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 18.34 ±0.47 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 17.01 ±16.73 MPa

Go: 78.58 ±14.34 MPa

Su: 114.35 ±36.08 kPa

Su ratio: 0.69 ±0.21

O.C.R.: 3.20 ±0.98

**Summary table of mean values**

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT <sub>N60</sub> (blows/30cm)	E <sub>s</sub> (MPa)	D <sub>r</sub>	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G <sub>o</sub> (MPa)	Undrained strength, S <sub>u</sub> (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
0.00	1.30	7.19E-07	6.3	35.4	0.0	0.0	25.4	32.3	152.4	6.6	30.7	18.3
1.30		(±1.97E-06)	(±2.7)	(±5.1)	(±0.0)	(±0.0)	(±11.1)	(±15.0)	(±32.7)	(±2.1)	(±9.7)	(±1.0)
1.30	3.70	1.17E-07	5.2	0.0	0.0	0.0	16.2	30.4	51.7	1.3	5.9	16.9
5.00		(±2.63E-06)	(±2.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±15.7)	(±8.3)	(±23.7)	(±0.9)	(±4.2)	(±0.6)
5.00	9.70	1.28E-05	19.4	60.4	46.6	38.3	75.6	75.7	0.0	0.0	0.0	18.3
14.70		(±1.93E-05)	(±6.5)	(±16.4)	(±6.4)	(±1.3)	(±20.4)	(±20.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.5)
14.70	5.45	3.72E-09	11.3	59.0	0.0	0.0	17.0	78.6	114.4	0.7	3.2	18.3
20.15		(±1.45E-06)	(±2.6)	(±7.3)	(±0.0)	(±0.0)	(±16.7)	(±14.3)	(±36.1)	(±0.2)	(±1.0)	(±0.5)

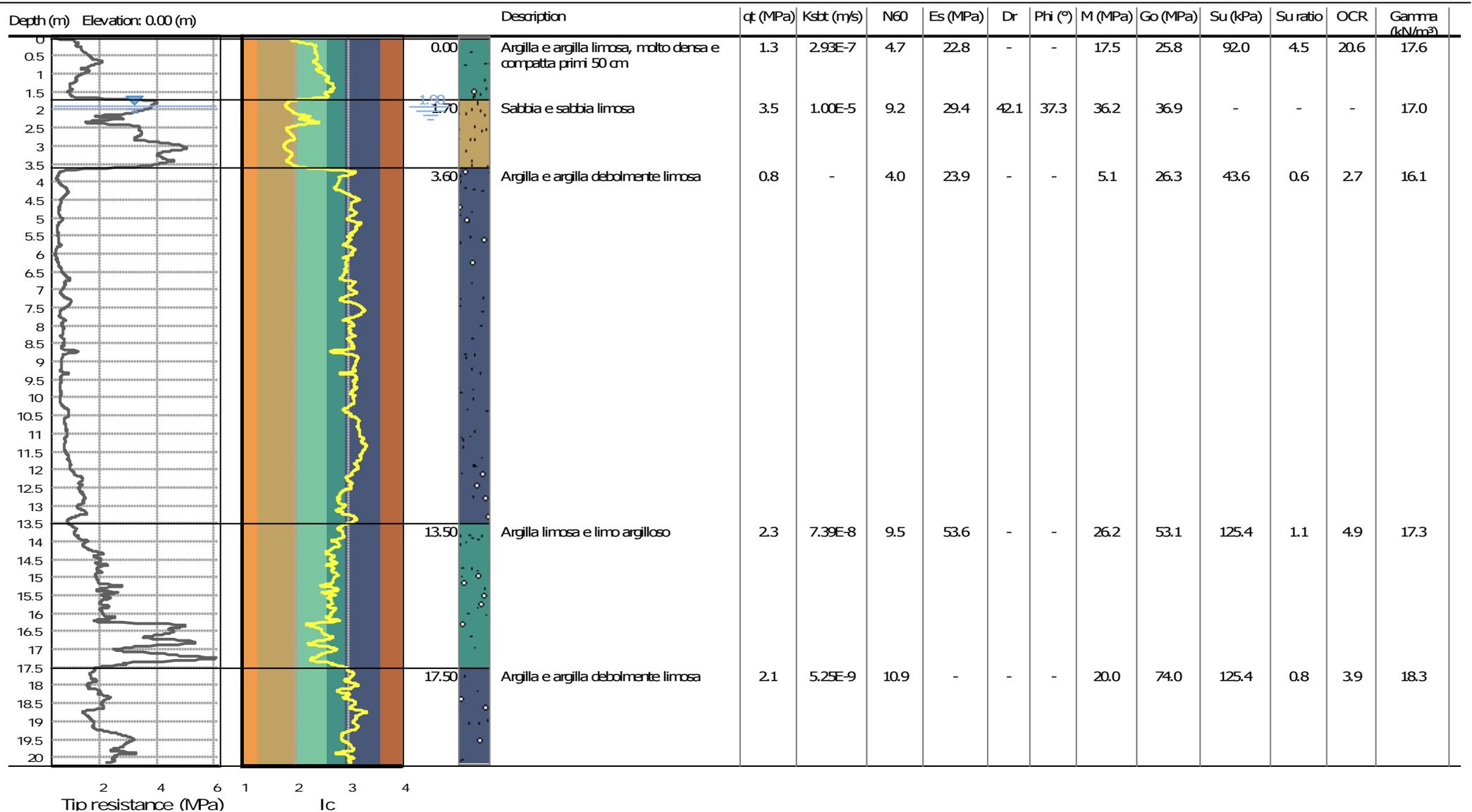
Depth values presented in this table are measured from free ground surface

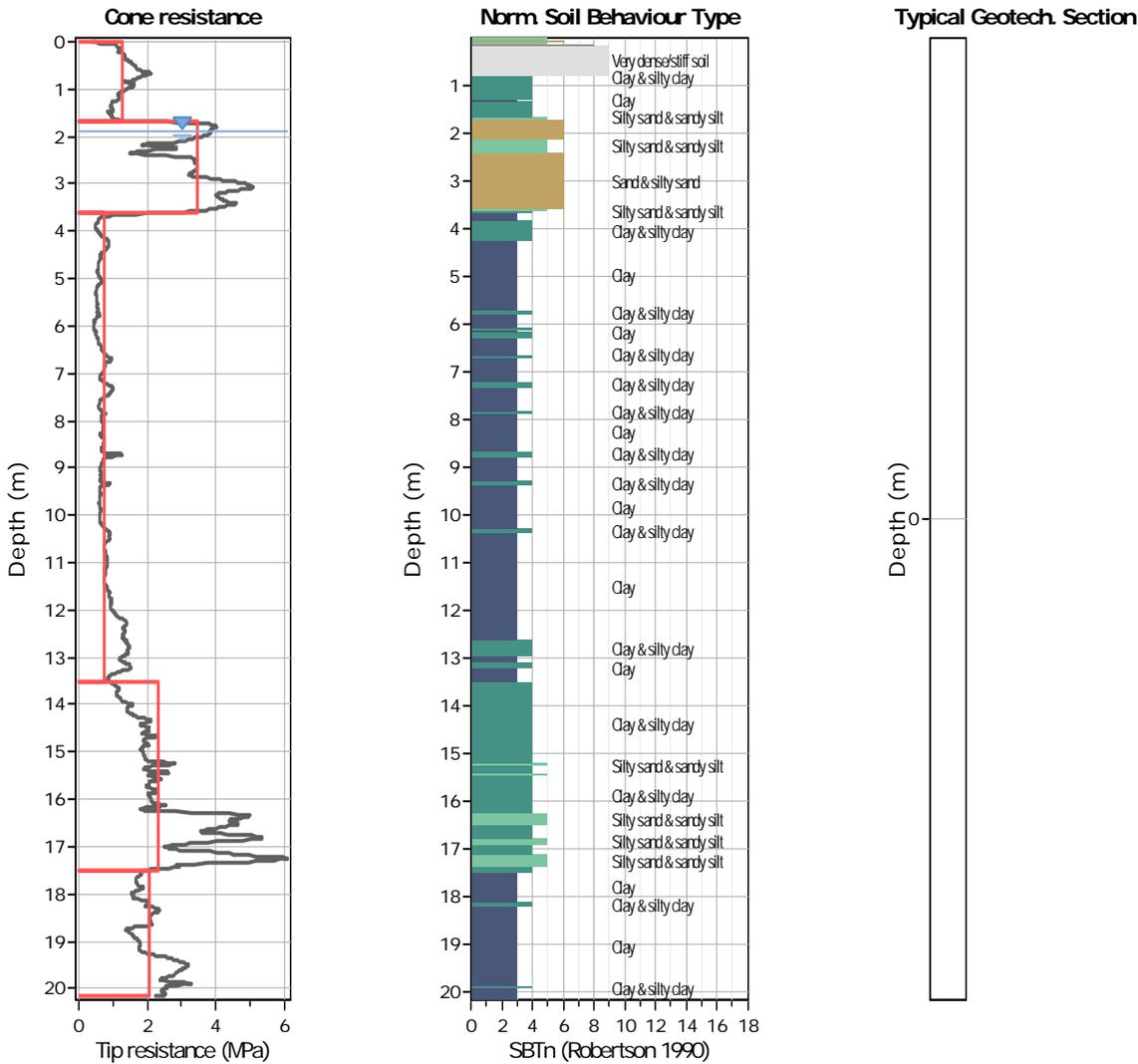
**Project: Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica - Impianto agrivoltaico 57.002 MWp**

**Location: Comuni di Argenta e Portomaggiore (FE)**

**CPT: CPTU 06**

Total depth: 20.15 m, Date: 08/11/2023





### Tabular results

<b>::: Layer No: 1 :::</b>		
<b>Code:</b> 1	<b>Start depth:</b> 0.00 (m), <b>End depth:</b> 1.70 (m)	
<b>Description:</b> Argilla e argilla limosa, molto densa e compatta primi 50 cm		
<b>Basic results</b>	<b>Estimation results</b>	
Total cone resistance: 1.28 ±0.36 MPa	Permeability: 2.93E-07 ±2.12E-06 m/s	Constrained Mod.: 17.47 ±5.22 MPa
Sleeve friction: 50.96 ±22.41 kPa	N60: 4.73 ±1.19 blows	Go: 25.75 ±6.50 MPa
SBT <sub>n</sub> : 4	Es: 22.78 ±3.82 MPa	Su: 92.04 ±23.56 kPa
SBT <sub>n</sub> description: Clay & silty clay	Dr (%): 0.00 ±0.00	Su ratio: 4.47 ±2.80
	φ (degrees): 0.00 ±0.00 °	O.C.R.: 20.64 ±12.94
	Unit weight: 17.61 ±0.64 kN/m <sup>3</sup>	

**::: Layer No: 2 :::****Code:** 2      **Start depth:** 1.70 (m), **End depth:** 3.60 (m)**Description:** Sabbia e sabbia limosa**Basic results**

Total cone resistance: 3.48 ±0.83 MPa

Sleeve friction: 20.81 ±5.28 kPa

SBT<sub>n</sub>: 6

SBTn description: Sand &amp; silty sand

**Estimation results**

Permeability: 1.00E-05 ±9.39E-06 m/s

N60: 9.17 ±1.62 blows

Es: 29.42 ±3.46 MPa

Dr (%): 42.09 ±4.00

φ (degrees): 37.30 ±0.96 °

Unit weight: 16.96 ±0.31 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 36.24 ±5.30 MPa

Go: 36.88 ±4.34 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:** 3.60 (m), **End depth:** 13.50 (m)**Description:** Argilla e argilla debolmente limosa**Basic results**

Total cone resistance: 0.75 ±0.28 MPa

Sleeve friction: 16.93 ±11.40 kPa

SBT<sub>n</sub>: 3

SBTn description: Clay

**Estimation results**

Permeability: 0.00E+00 ±1.34E-07 m/s

N60: 4.02 ±1.27 blows

Es: 23.89 ±23.89 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.14 ±0.74 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 5.06 ±3.96 MPa

Go: 26.29 ±8.17 MPa

Su: 43.64 ±16.19 kPa

Su ratio: 0.59 ±0.18

O.C.R.: 2.72 ±0.82

**::: Layer No: 4 :::****Code:** 4      **Start depth:** 13.50 (m), **End depth:** 17.50 (m)**Description:** Argilla limosa e limo argilloso**Basic results**

Total cone resistance: 2.31 ±1.26 MPa

Sleeve friction: 32.31 ±29.76 kPa

SBT<sub>n</sub>: 4

SBTn description: Clay &amp; silty clay

**Estimation results**

Permeability: 7.39E-08 ±2.85E-07 m/s

N60: 9.52 ±3.93 blows

Es: 53.58 ±17.41 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.31 ±0.93 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 26.24 ±18.81 MPa

Go: 53.06 ±19.56 MPa

Su: 125.39 ±58.83 kPa

Su ratio: 1.06 ±0.43

O.C.R.: 4.88 ±2.00

**::: Layer No: 5 :::****Code:** 5      **Start depth:** 17.50 (m), **End depth:** 20.15 (m)**Description:** Argilla e argilla debolmente limosa**Basic results**

Total cone resistance: 2.08 ±0.50 MPa

Sleeve friction: 76.72 ±33.22 kPa

SBT<sub>n</sub>: 3

SBTn description: Clay

**Estimation results**

Permeability: 5.25E-09 ±6.78E-09 m/s

N60: 10.93 ±2.16 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 18.26 ±0.52 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 20.00 ±9.55 MPa

Go: 74.00 ±14.97 MPa

Su: 125.42 ±35.13 kPa

Su ratio: 0.84 ±0.21

O.C.R.: 3.89 ±0.96

**Summary table of mean values**

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT <sub>N60</sub> (blows/30cm)	E <sub>s</sub> (MPa)	D <sub>r</sub>	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G <sub>0</sub> (MPa)	Undrained strength, S <sub>u</sub> (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
0.00	1.70	2.93E-07	4.7	22.8	0.0	0.0	17.5	25.8	92.0	4.5	20.6	17.6
1.70		(±2.12E-06)	(±1.2)	(±3.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±5.2)	(±6.5)	(±23.6)	(±2.8)	(±12.9)	(±0.6)
1.70	1.90	1.00E-05	9.2	29.4	42.1	37.3	36.2	36.9	0.0	0.0	0.0	17.0
3.60		(±9.39E-06)	(±1.6)	(±3.5)	(±4.0)	(±1.0)	(±5.3)	(±4.3)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.3)
3.60	9.90	0.00E+00	4.0	23.9	0.0	0.0	5.1	26.3	43.6	0.6	2.7	16.1
13.50		(±1.34E-07)	(±1.3)	(±23.9)	(±0.0)	(±0.0)	(±4.0)	(±8.2)	(±16.2)	(±0.2)	(±0.8)	(±0.7)
13.50	4.00	7.39E-08	9.5	53.6	0.0	0.0	26.2	53.1	125.4	1.1	4.9	17.3
17.50		(±2.85E-07)	(±3.9)	(±17.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±18.8)	(±19.6)	(±58.8)	(±0.4)	(±2.0)	(±0.9)
17.50	2.65	5.25E-09	10.9	0.0	0.0	0.0	20.0	74.0	125.4	0.8	3.9	18.3
20.15		(±6.78E-09)	(±2.2)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±9.6)	(±15.0)	(±35.1)	(±0.2)	(±1.0)	(±0.5)

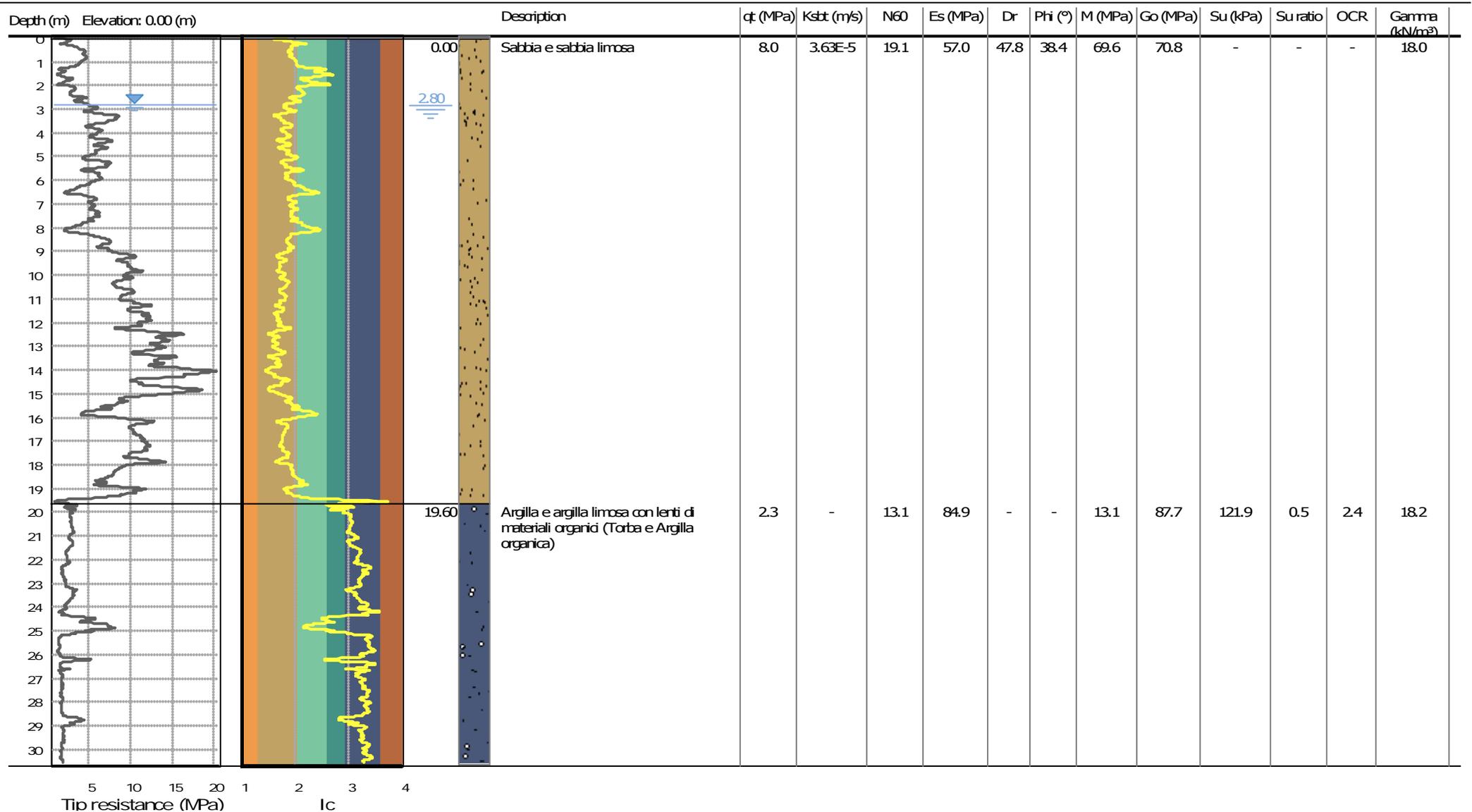
Depth values presented in this table are measured from free ground surface

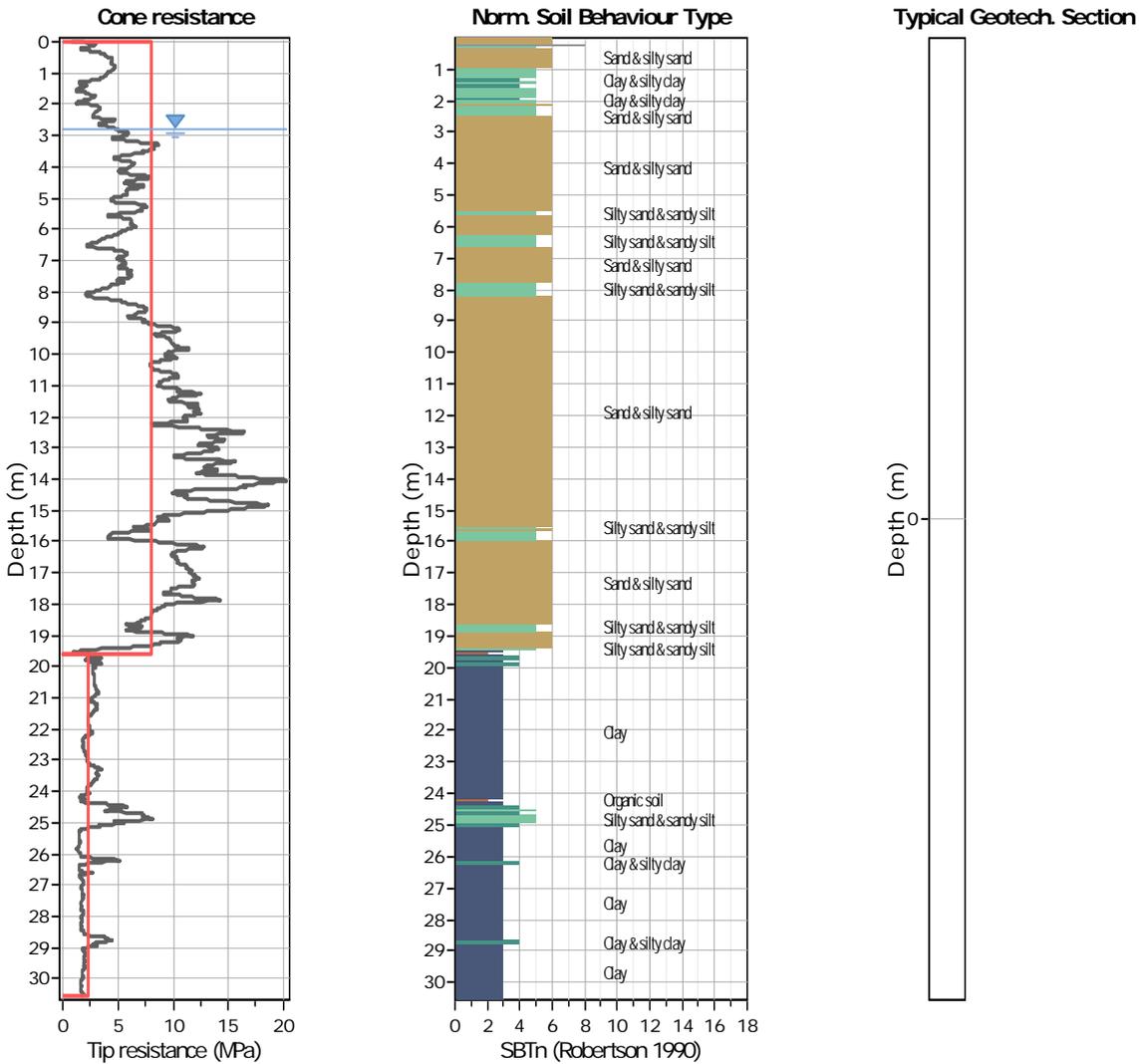
**Project: Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica - Impianto agrivoltaico 57.002 MWp**

**Location: Comuni di Argenta e Portomaggiore (FE)**

**CPT: SCPTU 01**

Total depth: 30.55 m, Date: 27/09/2023





### Tabular results

::: Layer No: 1 :::		
<b>Code:</b> 1	<b>Start depth:</b> 0.00 (m), <b>End depth:</b> 19.60 (m)	
<b>Description:</b> Sabbia e sabbia limosa		
<b>Basic results</b>		
Total cone resistance:	7.99 ±3.84 MPa	
Sleeve friction:	42.79 ±12.99 kPa	
SBT <sub>n</sub> :	6	
SBT <sub>n</sub> description:	Sand & silty sand	
<b>Estimation results</b>		
Permeability:	3.63E-05 ±4.78E-05 m/s	Constrained Mod.: 69.64 ±23.14 MPa
N60:	19.08 ±7.37 blows	Go: 70.82 ±21.49 MPa
Es:	57.04 ±16.92 MPa	Su: 0.00 ±0.00 kPa
Dr (%):	47.84 ±9.41	Su ratio: 0.00 ±0.00
φ (degrees):	38.35 ±1.90 °	O.C.R.: 0.00 ±0.00
Unit weight:	18.00 ±0.48 kN/m <sup>3</sup>	

**:: Layer No: 2 ::****Code:** 2      **Start depth:** 19.60 (m), **End depth:** 30.55 (m)**Description:** Argilla e argilla limosa con lenti di materiali organici (Torba e Argilla organica)**Basic results**

Total cone resistance: 2.28 ±1.13 MPa

Sleeve friction: 69.08 ±41.09 kPa

SBT<sub>n</sub>: 3SBT<sub>n</sub> description: Clay**Estimation results**

Permeability: 0.00E+00 ±2.59E-07 m/s

N60: 13.05 ±3.13 blows

Es: 84.86 ±8.29 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 18.18 ±0.67 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 13.12 ±20.29 MPa

Go: 87.74 ±18.44 MPa

Su: 121.93 ±57.72 kPa

Su ratio: 0.52 ±0.29

O.C.R.: 2.41 ±1.34

**Summary table of mean values**

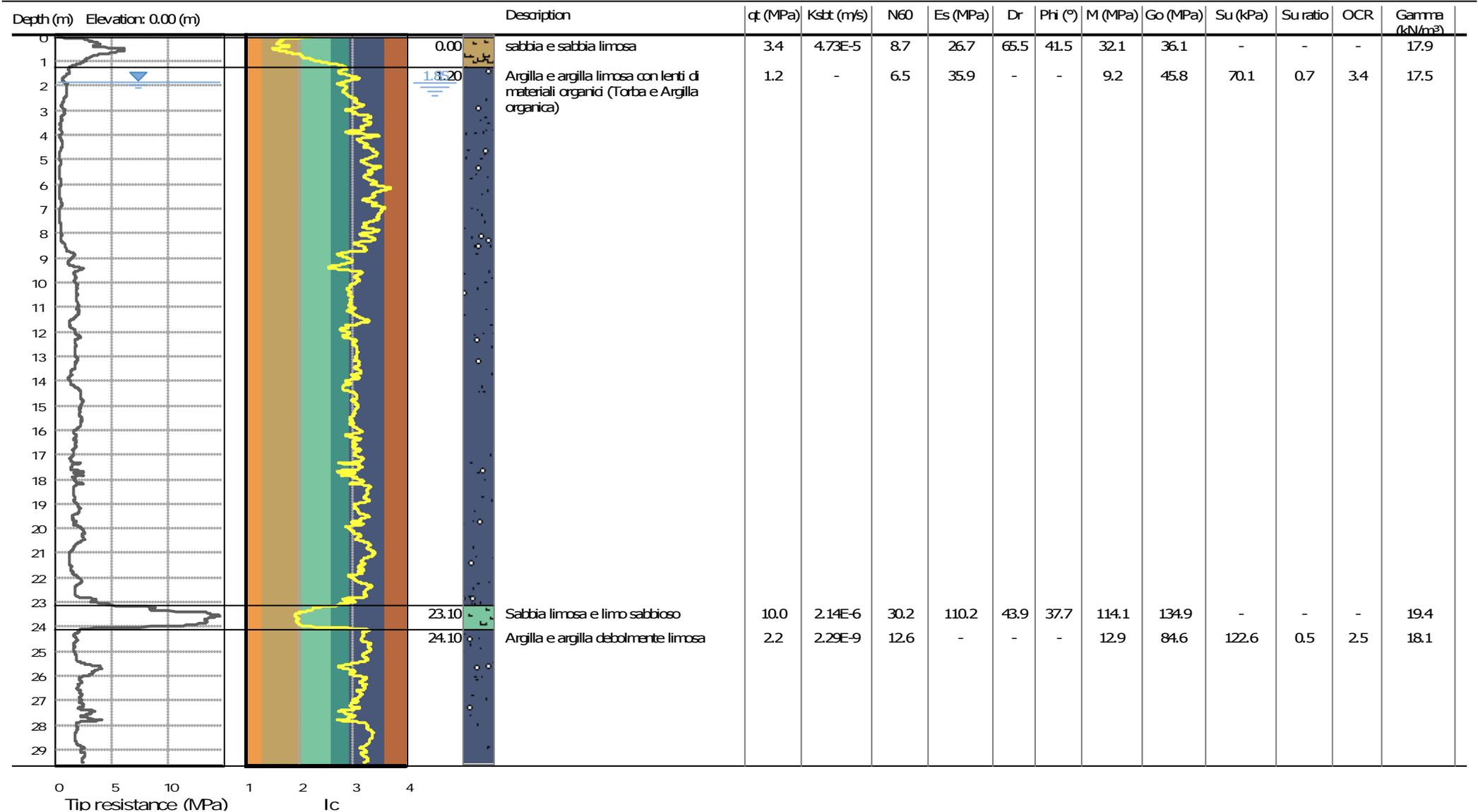
From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT <sub>N60</sub> (blows/30cm)	E <sub>s</sub> (MPa)	D <sub>r</sub>	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G <sub>0</sub> (MPa)	Undrained strength, S <sub>u</sub> (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
0.00	19.60	3.63E-05	19.1	57.0	47.8	38.4	69.6	70.8	0.0	0.0	0.0	18.0
19.60		(±4.78E-05)	(±7.4)	(±16.9)	(±9.4)	(±1.9)	(±23.1)	(±21.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.5)
19.60	10.95	0.00E+00	13.1	84.9	0.0	0.0	13.1	87.7	121.9	0.5	2.4	18.2
30.55		(±2.59E-07)	(±3.1)	(±8.3)	(±0.0)	(±0.0)	(±20.3)	(±18.4)	(±57.7)	(±0.3)	(±1.3)	(±0.7)

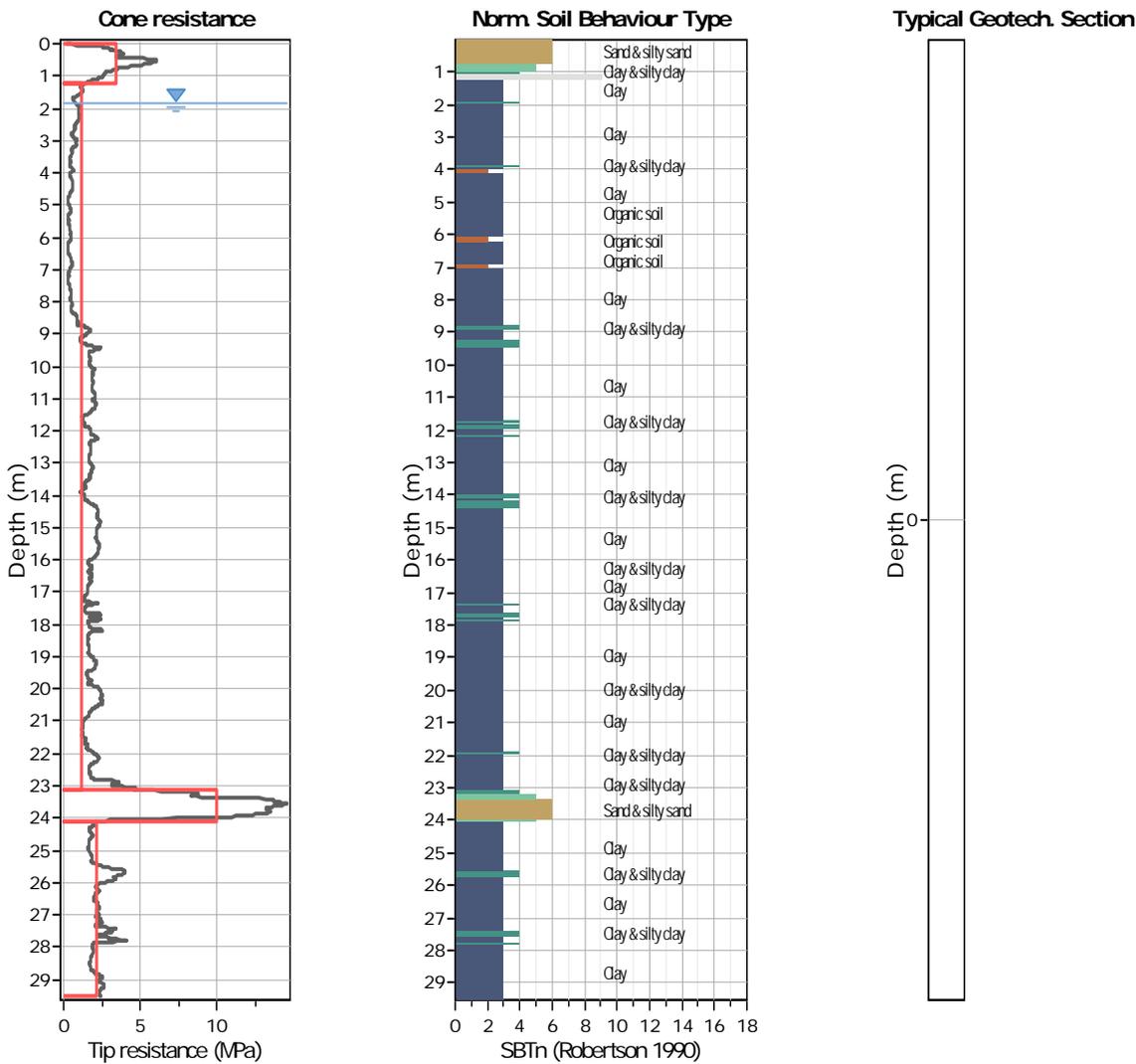
Depth values presented in this table are measured from free ground surface

Project: **Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica - Impianto agrivoltaico 57.002 MWp**  
Location: **Comuni di Argenta e Portomaggiore (FE)**

**CPT: SCPTU CU**

Total depth: 29.52 m, Date: 27/09/2023





**Tabular results**

<b>:: Layer No: 1 ::</b>		
<b>Code:</b> 1	<b>Start depth:</b> 0.00 (m), <b>End depth:</b> 1.20 (m)	
<b>Description:</b> sabbia e sabbia limosa		
<b>Basic results</b>		
Total cone resistance:	3.42 ±1.36 MPa	
Sleeve friction:	63.43 ±47.02 kPa	
SBT <sub>n</sub> :	5	
SBT <sub>n</sub> description:	Silty sand & sandy silt	
<b>Estimation results</b>		
Permeability:	4.73E-05 ±5.91E-05 m/s	Constrained Mod.: 32.13 ±9.69 MPa
N60:	8.73 ±2.50 blows	Go: 36.12 ±11.42 MPa
Es:	26.65 ±8.42 MPa	Su: 0.00 ±0.00 kPa
Dr (%):	65.52 ±7.20	Su ratio: 0.00 ±0.00
φ (degrees):	41.49 ±1.10 °	O.C.R.: 0.00 ±0.00
Unit weight:	17.91 ±0.83 kN/m <sup>3</sup>	

## .: Layer No: 2 .:

Code: 2 Start depth: 1.20 (m), End depth: 23.10 (m)

Description: Argilla e argilla limosa con lenti di materiali organici (Torba e Argilla organica)

## Basic results

Total cone resistance: 1.18 ±0.74 MPa

Sleeve friction: 46.85 ±42.52 kPa

SBT<sub>n</sub>: 3SBT<sub>n</sub> description: Clay

## Estimation results

Permeability: 0.00E+00 ±1.41E-08 m/s

N60: 6.51 ±3.72 blows

Es: 35.92 ±4.79 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.48 ±1.15 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 9.15 ±10.53 MPa

Go: 45.78 ±25.30 MPa

Su: 70.09 ±47.37 kPa

Su ratio: 0.73 ±0.51

O.C.R.: 3.37 ±2.37

## .: Layer No: 3 .:

Code: 3 Start depth: 23.10 (m), End depth: 24.10 (m)

Description: Sabbia limosa e limo sabbioso

## Basic results

Total cone resistance: 9.97 ±3.58 MPa

Sleeve friction: 121.69 ±18.42 kPa

SBT<sub>n</sub>: 5SBT<sub>n</sub> description: Silty sand & sandy silt

## Estimation results

Permeability: 2.14E-06 ±5.82E-06 m/s

N60: 30.17 ±6.19 blows

Es: 110.18 ±6.43 MPa

Dr (%): 43.92 ±5.34

φ (degrees): 37.70 ±1.22 °

Unit weight: 19.39 ±0.23 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 114.09 ±33.31 MPa

Go: 134.90 ±11.45 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

## .: Layer No: 4 .:

Code: 4 Start depth: 24.10 (m), End depth: 29.52 (m)

Description: Argilla e argilla debolmente limosa

## Basic results

Total cone resistance: 2.20 ±0.57 MPa

Sleeve friction: 66.14 ±24.98 kPa

SBT<sub>n</sub>: 3SBT<sub>n</sub> description: Clay

## Estimation results

Permeability: 2.29E-09 ±8.15E-09 m/s

N60: 12.57 ±2.06 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 18.11 ±0.41 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 12.90 ±10.60 MPa

Go: 84.58 ±13.32 MPa

Su: 122.58 ±40.28 kPa

Su ratio: 0.54 ±0.18

O.C.R.: 2.49 ±0.83

**Summary table of mean values**

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT <sub>N60</sub> (blows/30cm)	E <sub>s</sub> (MPa)	D <sub>r</sub>	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G <sub>0</sub> (MPa)	Undrained strength, S <sub>u</sub> (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )
0.00	1.20	4.73E-05	8.7	26.7	65.5	41.5	32.1	36.1	0.0	0.0	0.0	17.9
1.20		(±5.91E-05)	(±2.5)	(±8.4)	(±7.2)	(±1.1)	(±9.7)	(±11.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.8)
1.20	21.90	0.00E+00	6.5	35.9	0.0	0.0	9.2	45.8	70.1	0.7	3.4	17.5
23.10		(±1.41E-08)	(±3.7)	(±4.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±10.5)	(±25.3)	(±47.4)	(±0.5)	(±2.4)	(±1.2)
23.10	1.00	2.14E-06	30.2	110.2	43.9	37.7	114.1	134.9	0.0	0.0	0.0	19.4
24.10		(±5.82E-06)	(±6.2)	(±6.4)	(±5.3)	(±1.2)	(±33.3)	(±11.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.2)
24.10	5.42	2.29E-09	12.6	0.0	0.0	0.0	12.9	84.6	122.6	0.5	2.5	18.1
29.52		(±8.15E-09)	(±2.1)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±10.6)	(±13.3)	(±40.3)	(±0.2)	(±0.8)	(±0.4)

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

**Appendice 2**

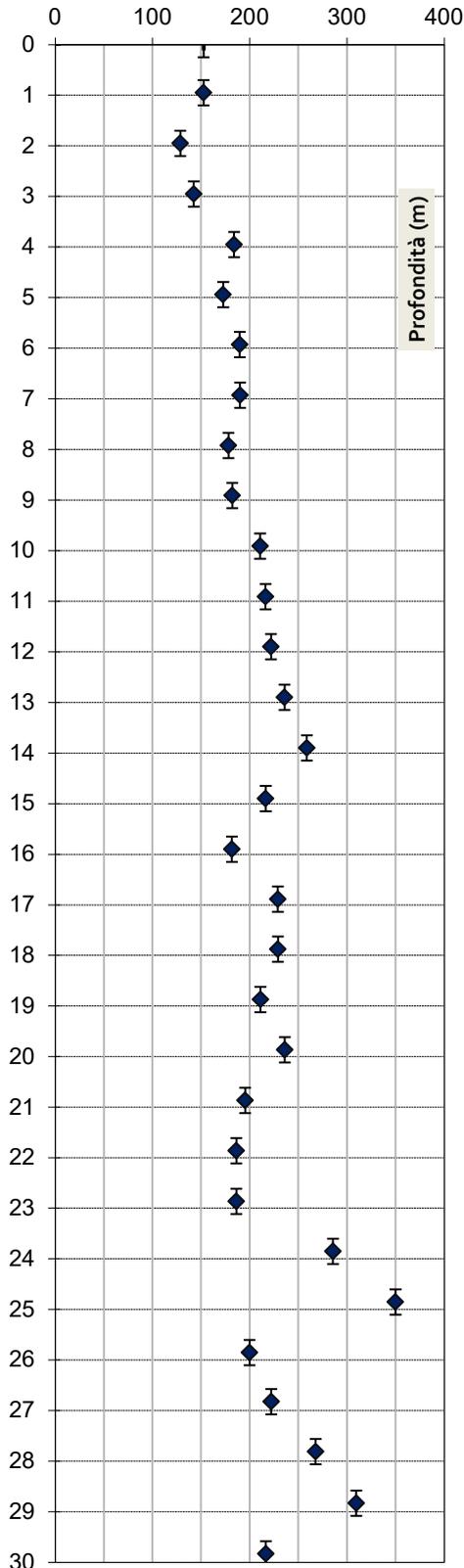
# PROVA SCPTU01

Cantiere: **Consandolo (FE)**

Distanza sorgente da verticale misura: **0,65 metri**

Profondità sorgente da piano campagna: **0.00 metri**

Velocità onde di taglio  $V_{SVH}$  (m/s)



Prof. misura da	Prof. misura a	Prof. dato m	Velocità m/s	Time Shift msec	Accuratezza
		0,00		14,57	
0,70	1,20	0,95	152,63	2,69	0,956
1,70	2,20	1,95	128,65	3,69	0,977
2,70	3,20	2,95	142,53	3,44	0,979
3,70	4,20	3,95	183,88	2,69	0,993
4,69	5,19	4,94	172,75	2,88	0,996
5,68	6,18	5,93	189,77	2,63	0,989
6,68	7,18	6,93	190,07	2,63	0,996
7,67	8,17	7,92	178,19	2,81	0,995
8,66	9,16	8,91	182,09	2,75	0,998
9,66	10,16	9,91	210,66	2,38	0,996
10,66	11,16	10,91	216,28	2,31	0,998
11,65	12,15	11,90	221,89	2,25	0,996
12,65	13,15	12,90	235,81	2,13	0,997
13,65	14,15	13,90	258,65	1,94	0,996
14,65	15,15	14,90	216,46	2,31	0,997
15,65	16,15	15,90	181,67	2,75	0,995
16,64	17,14	16,89	229,00	2,19	0,996
17,63	18,13	17,88	229,02	2,19	0,994
18,62	19,12	18,87	210,99	2,38	0,996
19,62	20,12	19,87	235,98	2,13	0,993
20,62	21,12	20,87	195,36	2,56	0,989
21,61	22,11	21,86	186,28	2,69	0,976
22,61	23,11	22,86	186,29	2,69	0,969
23,60	24,10	23,85	285,61	1,75	0,978
24,60	25,10	24,85	349,88	1,44	0,988
25,60	26,10	25,85	199,94	2,50	0,972
26,57	27,07	26,82	222,16	2,25	0,975
27,56	28,06	27,81	267,78	1,88	0,972
28,58	29,08	28,83	309,45	1,63	0,982
29,6	30,1	29,83	216,62	2,31	0,979

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

Profondità posa fondazione in metri da p.c. : **0,0**

$$V_{Seq} \quad 0,0 \quad / \quad 30,0 \quad = \quad 203,83 \quad m/s$$

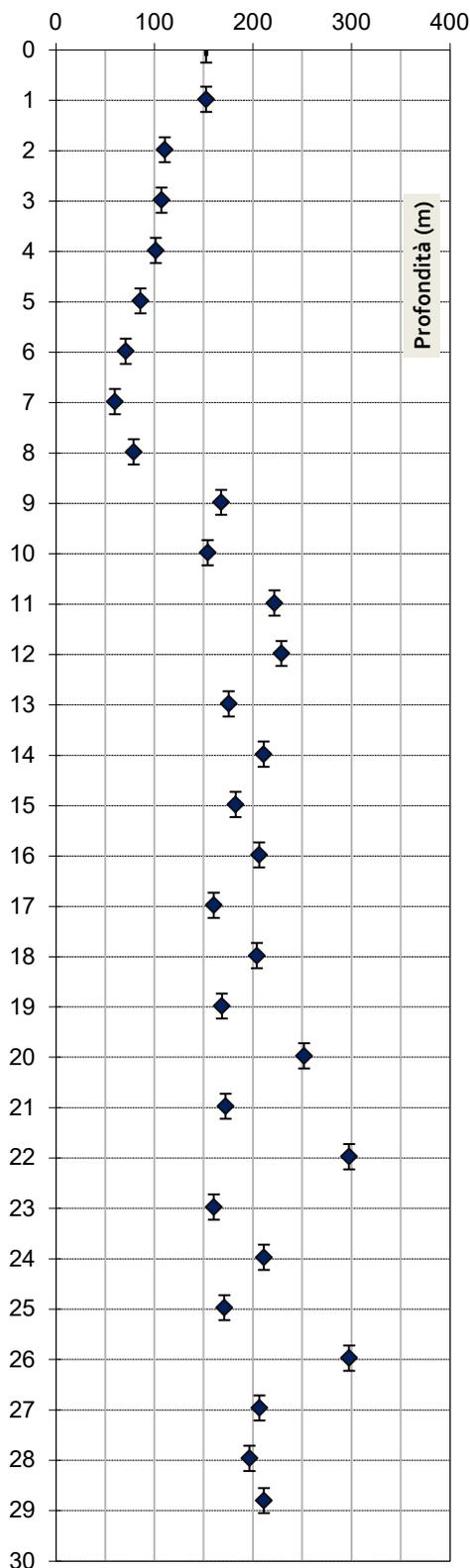
# PROVA SCPTU CU

Cantiere: **Consandolo (FE)**

Distanza sorgente da verticale misura: **0,65 metri**

Profondità sorgente da piano campagna: **0.00 metri**

Velocità onde di taglio  $V_{SVH}$  (m/s)



Prof. misura da	Prof. dato a	Prof. dato m	Velocità m/s	Time Shift msec	Accuratezza
		0,00		14,57	
0,73	1,23	0,98	152,54	2,81	0,859
1,73	2,23	1,98	110,55	4,38	0,838
2,73	3,23	2,98	107,17	4,63	0,855
3,73	4,23	3,98	101,28	4,88	0,650
4,73	5,23	4,98	85,78	5,88	0,898
5,73	6,23	5,98	70,81	7,75	0,803
6,73	7,23	6,98	60,00	8,38	0,913
7,73	8,23	7,98	79,09	6,31	0,983
8,73	9,23	8,98	167,75	3,06	0,965
9,73	10,23	9,98	153,98	3,25	0,986
10,73	11,23	10,98	221,83	2,25	0,986
11,73	12,23	11,98	228,83	2,19	0,987
12,73	13,23	12,98	175,36	2,88	0,985
13,73	14,23	13,98	210,88	2,38	0,991
14,73	15,23	14,98	182,40	2,75	0,990
15,73	16,23	15,98	206,39	2,44	0,977
16,73	17,23	16,98	160,14	3,13	0,959
17,73	18,23	17,98	203,98	2,49	0,974
18,73	19,23	18,98	168,49	3,00	0,962
19,72	20,22	19,97	251,85	2,00	0,965
20,72	21,22	20,97	172,29	2,94	0,927
21,72	22,22	21,97	297,49	1,69	0,964
22,72	23,22	22,97	160,19	3,13	0,975
23,72	24,22	23,97	211,03	2,38	0,974
24,72	25,22	24,97	170,98	2,94	0,964
25,72	26,22	25,97	297,53	1,69	0,960
26,71	27,21	26,96	206,51	2,44	0,978
27,71	28,21	27,96	196,41	2,56	0,982
28,55	29,05	28,80	211,06	2,38	0,977

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

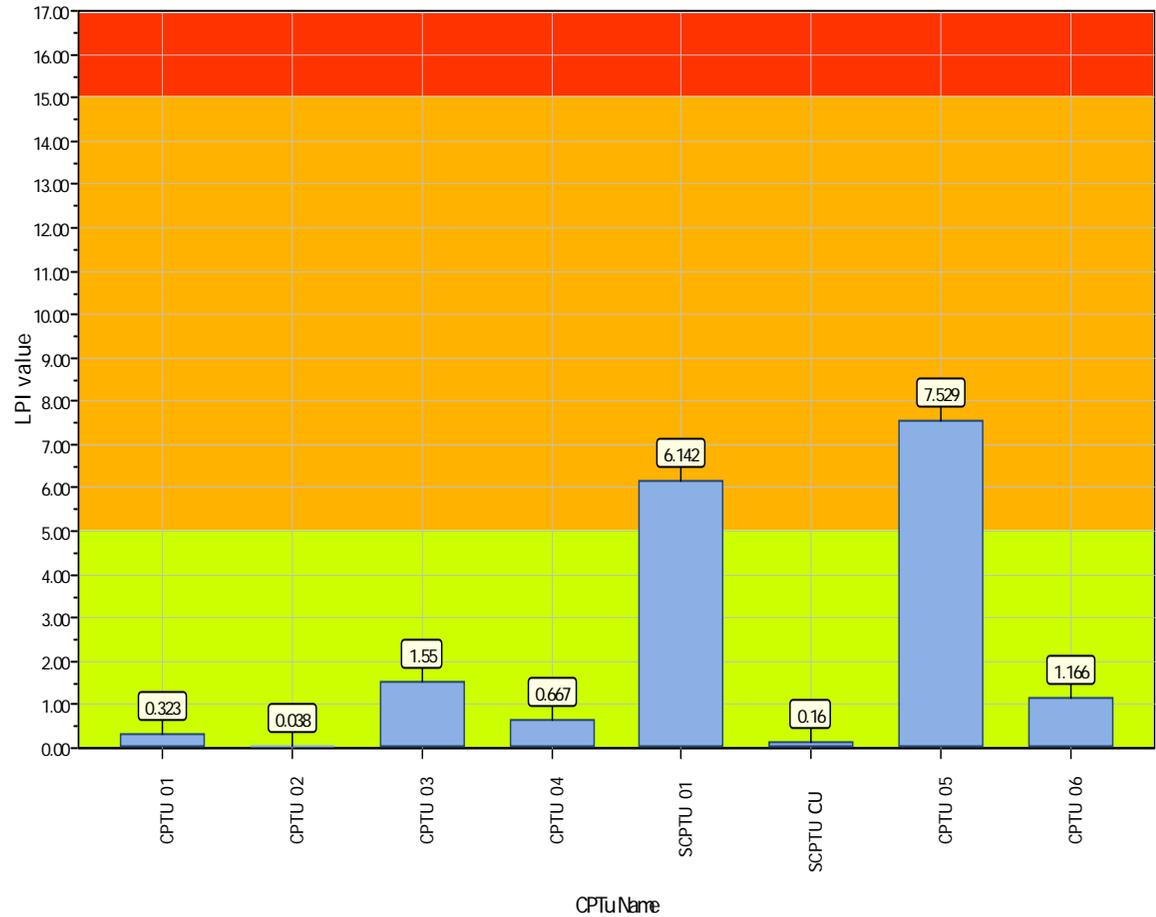
Profondità posa fondazione in metri da p.c. : **0,0**

$$V_{Seq} \quad 0,0 \quad / \quad 30,0 \quad = \quad 148,67 \quad m/s$$

**Appendice 3**

**Project:** Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica - Impianto agrivoltaico 57.002 MWp  
**Location:** Comuni di Argenta e Portomaggiore (FE)

### Overall Liquefaction Potential Index report



**LPI color scheme**

- Very high risk
- High risk
- Low risk

**Basic statistics**

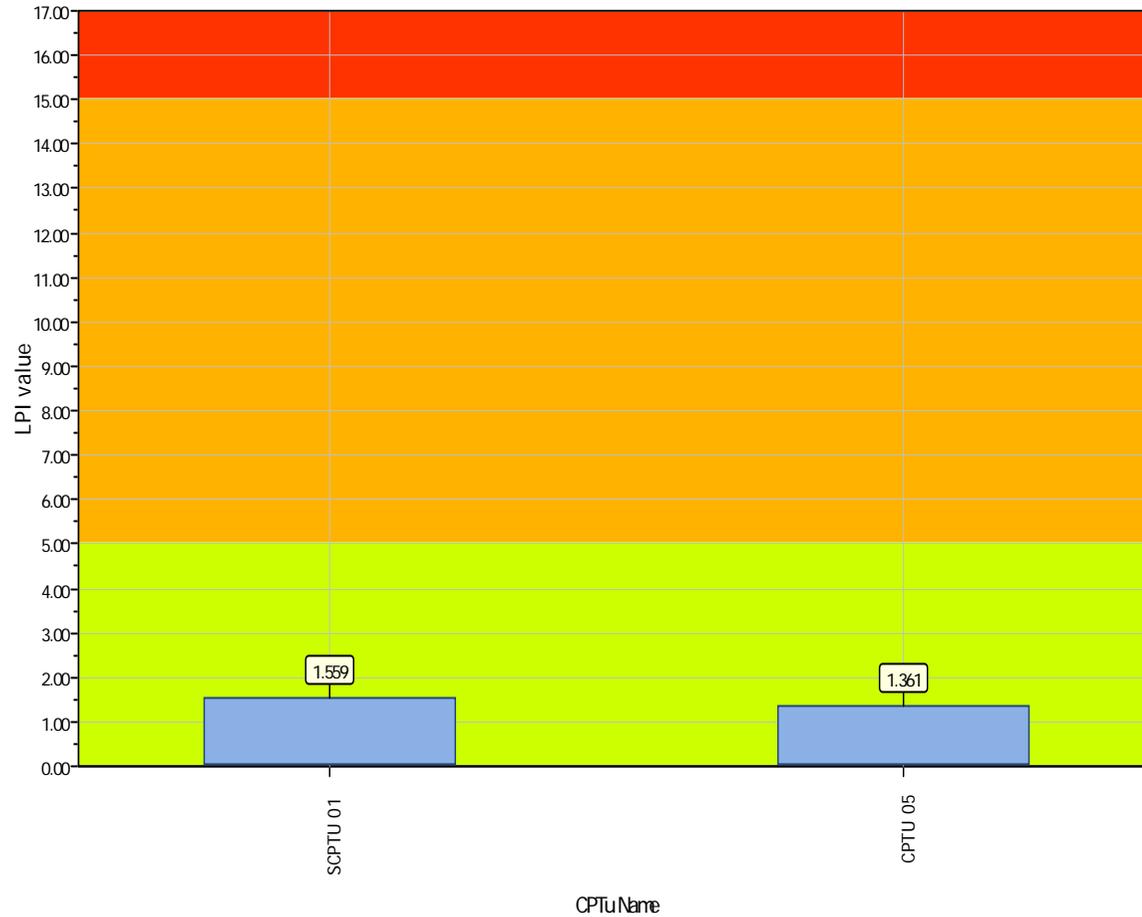
Total CPT number: 8  
75.00% low risk  
25.00% high risk  
0.00% very high risk

**Project:** Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica - Impianto agrivoltaico 57.002 MWp

**Location:** Comuni di Argenta e Portomaggiore (FE)

**Verifica effettuata a seguito della realizzazione di analisi di Risposta Sismica Locale (RSL)**

### Overall Liquefaction Potential Index report



**LPI color scheme**

- Very high risk
- High risk
- Low risk

**Basic statistics**

Total CPT number: 2  
 25.00% low risk  
 0.00% high risk  
 0.00% very high risk