

# ALFI GREEN S.R.L.

**Impianto Agrivoltaico Avanzato denominato “Bandissolo” da 24.979,5 kWp, abbinato a un sistema di accumulo elettrochimico da 12.000 kW, opere connesse ed infrastrutture indispensabili**

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

**Progetto Definitivo Impianto Agrivoltaico Avanzato combinato con SdA e Opere Elettriche di Utenza**

**Allegato 07 - Relazione Geologica, Idrogeologica, Idrologica, Sismica e prime considerazioni Geotecniche**

Rev 0 – Novembre 2024

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

## 1. INDICE

1.	INDICE.....	1
1.	PREMESSA.....	3
1.1	LA SOCIETÀ PROPONENTE .....	4
1.2	ELABORATI GRAFICI E ALLEGATI .....	5
2.	NORMATIVA .....	6
3.	INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	7
3.1	AREA IMPIANTO.....	7
3.2	LINEA 36 KV.....	8
4.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	9
4.1	CARATTERI GEOLOGICI E STRUTTURALI GENERALI .....	9
4.2	CARATTERI LITOLOGICI E STRATIGRAFICI .....	13
5.	LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI LOCALI.....	19
6.	ASSETTO IDROGEOLOGICO E IDROLOGICO LOCALE .....	23
6.1	CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE .....	23
6.2	CARATTERI IDROLOGICI ED IDRAULICI .....	26
7.	STORIA SISMICA LOCALE .....	31
7.1	MICROZONAZIONE SISMICA.....	33
8.	INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE .....	36
8.1	PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CON PIEZOCONO (CPTU E SCPTU).....	36
8.1.1	STRUMENTAZIONE UTILIZZATA .....	37
8.1.2	RISULTATI DELLE PROVE .....	38
8.2	LA MISURA A STAZIONE SINGOLA HVSR.....	41
8.2.1	STRUMENTAZIONE E METODOLOGIA DI INDAGINE .....	41
8.2.2	RISULTATI DELL'INDAGINE .....	42
9.	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE .....	48
9.1	CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SITO .....	48
9.2	MAGNITUDO DI RIFERIMENTO .....	50
9.3	CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL SOTTOSUOLO SECONDO IL DM 17/01/2018 .....	53
9.3.1	CATEGORIE SISMICHE DI SOTTOSUOLO.....	53
9.3.2	PARAMETRI E COEFFICIENTI SISMICI DETERMINATI IN BASE AL D.M. 17/01/18 .....	54
10.	VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE .....	57
10.1	GENERALITÀ SUL FENOMENO .....	57

10.2	VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE DEL SITO .....	57
10.2.1	ANALISI DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE DEL SITO .....	60
11.	MODELLO GEOLOGICO E PRIME CONSIDERAZIONI GEOTECNICHE.....	63
11.1	PREMESSA .....	63
11.2	MODELLO STRATIGRAFICO .....	63
11.3	CARATTERI IDROGEOLOGICI .....	65
11.4	CARATTERI GEOTECNICI .....	65
11.4.1	IMPIANTO AGRIVOLTAICO .....	65
12.	CONCLUSIONI.....	68



## 1. PREMESSA

La società ALFI GREEN S.r.l. intende realizzare un impianto Agrivoltaico Avanzato ai sensi della normativa vigente, della potenza di 24.979,5 kWp, abbinato a un sistema di accumulo elettrochimico da circa 12.000 kW (di seguito denominato "Impianto"), che sarà situato nel comune di Argenta (FE). Limitatamente alle opere connesse sarà anche interessato il comune di Portomaggiore (FE).

Il progetto "**Bandissolo**", avrà una potenza complessiva in immissione pari a 30.000 kW e sarà collegato in antenna a 36 kV su una nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 380/132/36 kV da inserire in entra - esce alla linea RTN a 380 kV "Ferrara Focomorto - Ravenna Canala" e alla linea RTN a 132 kV "Portomaggiore - Bando", come indicato dal Gestore di rete nella soluzione tecnica minima generale per la connessione (STMG), trasmessa alla Società il 26 agosto 2024 e formalmente accettata il 13 settembre 2024



Figura 1-1: Inquadramento delle opere progettuali su ortofoto

Le opere progettuali dell'impianto si possono così sintetizzare:

**1. Impianto agrivoltaico**– ubicato nel comune di Argenta (FE), sarà costituito da moduli fotovoltaici bifacciali e realizzato con strutture fisse orientate est-ovest. L'impianto è progettato per soddisfare pienamente i requisiti di impianto agrivoltaico avanzato ai sensi delle (i) **Linee Guida sugli impianti agrivoltaici**, pubblicate dal Ministero della Transizione Ecologica (MiTE) a giugno 2022, (ii) Norma tecnica CEI PAS 82-93 "Impianti Agrivoltaici", emanata a dicembre 2023, nonché (iii) del Decreto del Ministero dell'Ambiente della Sicurezza Energetica del 22 dicembre 2023 N.436 (DM Agrivoltaico) recante le disposizioni per l'incentivazione della realizzazione dei sistemi agrivoltaici di natura sperimentali in attuazione dell'articolo 114 comma 1 del D.Lgs. N.199 del 2021



ed in coerenza con le misure di sostegno agli investimenti previste dal piano nazionale di ripresa e resilienza (PNRR), e relative a regole operative emanate dal GSE. La potenza complessiva sarà pari a 24,98 MWp;

**2. Sistema di accumulo elettrochimico** (di seguito "BESS" o "SdA") – di tipo distribuito, sarà integrato all'interno dell'impianto agrivoltaico e interconnesso con lo stesso. Il sistema avrà una potenza di circa 12 MW, con una capacità di stoccaggio pari a 4 h;

**3. Linee in cavo interrato a 36 kV** (di seguito "Dorsali 36 kV") – collegheranno l'impianto fotovoltaico e le BESS alla cabina elettrica a 36 kV;

**4. Cabina elettrica a 36 kV** (di seguito "Cabina Utente") – sarà di proprietà della società e verrà posizionata all'interno dell'Impianto;

**5. Linea in cavo interrato a 36 kV** (di seguito "Linea 36 kV") – collegherà la Cabina Utente alla sezione a 36 kV della futura SE RTN 380/132/36 kV della RTN denominata "Portomaggiore", di proprietà di Terna. Tale linea si svilupperà per una lunghezza di circa 2,7 km;

**6. Stallo a 36 kV** (di seguito "Impianto di Rete") - consisterà nello stallo di arrivo produttore all'interno della sezione a 36 kV della nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 380/132/36 kV da inserire in entra – esce alla linea RTN a 380 kV "Ferrara Focomorto – Ravenna Canala" e alla linea RTN a 132 kV "Portomaggiore – Bando".

Il progetto della stazione Terna di "Portomaggiore" e dei relativi raccordi linea è già stato benestariato dal Gestore di Rete Terna S.p.a. , ed autorizzato dagli enti competenti con D.D. n. DET-AMB-2024-3386 del 14/06/2024 rilasciata dall'ARPAE Agenzia regionale per la prevenzione, l'ambiente e l'energia dell'Emilia-Romagna. Il progetto autorizzato della SE RTN 380/132/36 kV e dei relativi raccordi linea, pertanto, non fa parte delle opere da autorizzarsi con la presente istanza.

***L'impianto è completamente situato all'interno di "aree idonee" come definite dall'art. 20, comma 8, lettera c-quater del D.Lgs. 199/2021 e successive modifiche. Di conseguenza, il progetto è soggetto a una procedura autorizzativa semplificata, prevista dall'art. 22 dello stesso decreto legislativo e ss.mm.ii.***

Il presente elaborato è redatto sia su una ricerca bibliografica sia su indagini di campo ed ha comportato lo svolgimento delle seguenti attività:

- il sopralluogo dell'area in esame;
- l'analisi geologica, geomorfologica, idrologica ed idrogeologica dell'area d'interesse e delle zone limitrofe;
- lo studio del terreno interessato e l'esame dei problemi geologico-tecnici connessi con le opere in progetto;
- n° 3 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU) approfondite sino a -20 metri dall'attuale campagna (p.c.);
- n° 1 prova penetrometrica statica 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.

## 1.1 LA SOCIETÀ PROPONENTE

La società proponente del progetto è ALFI GREEN, appartenente al gruppo Exus, una primaria realtà internazionale specializzata nella gestione e nello sviluppo di progetti nel settore delle energie rinnovabili. Con una comprovata esperienza nella realizzazione di progetti complessi, Exus si distingue per la capacità di gestire efficacemente tutte le fasi del ciclo di vita degli impianti, garantendo soluzioni sostenibili e tecnologicamente avanzate. Di seguito si riportano i dati della società.

Tabella 1.1 – Società Proponente

ALFI GREEN S.r.l.	
Partita IVA/ Codice Fiscale	13839370965
Numero REA	MI-2746611
Sede Legale	Via Giacomo Leopardi 8
Socio Unico	EXUS RENEWABLES IPP HOLDING SL
PEC	alfigreen@legalmail.it
Sitio web Exus	es.exuspartners.com
Sitio web Partners Group	www.partnersgroup.com

Exus è fortemente impegnata nello sviluppo di progetti di energia rinnovabile, supportata dal suo principale azionista, Partners Group, uno dei maggiori fondi di private equity a livello globale. Il fondo gestisce un portafoglio diversificato con un focus su sostenibilità e infrastrutture di alto impatto. Questa sinergia assicura una solida base finanziaria e operativa, consentendo di affrontare progetti ambiziosi e di adottare tecnologie avanzate, sempre in linea con i più elevati standard ambientali.

Il progetto in questione si inserisce nel contesto di una strategia volta a promuovere la transizione energetica, favorendo la diffusione di fonti rinnovabili e contribuendo allo sviluppo di infrastrutture energetiche resilienti e sostenibili.

## 1.2 ELABORATI GRAFICI E ALLEGATI

Alle tabelle seguenti si riportano gli elaborati grafici e gli allegati al presente elaborato.

Tabella 1.2 – Elenco elaborati grafici

Nome File	Descrizione elaborato	Data
Tav01	Planimetria su cartografia catastale	Nov.24
Tav02	Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche e traccia sezione stratigrafica	Nov.24
Tav03	Carta litologia di superficie	Nov.24
Tav04	Carta geomorfologica	Nov.24
Tav05	Carta Idrogeologica	Nov.24
Tav06	Carta degli Elementi sismotettonici	Nov.24

Tabella 1.3 – Allegati

Nome File	Descrizione elaborato	Data
All01	Tabulati Prove CPTU e SCPTU	Nov.24
All02	Restituzione indagini sismiche	Nov.24
All03	Tabulato Vs30 da SCPTU	Nov.24
All04	Verifica potenziale di liquefazione	Nov.24

## 2. NORMATIVA

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

- **D.M. LL. PP. 11/3/88** “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce”
- **OPCM n. 3274 del 20/3/03** “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”;
- **DGR Emilia Romagna del 21 luglio 2003** con oggetto: Prime disposizioni di attuazione dell'OPCM n. 3274/2003 recante “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”, con particolare riferimento all'allegato A, “Classificazione sismica dei comuni dell'Emilia Romagna”;
- **OPCM n. 3316 del 20/10/2003** “Modifiche ed integrazioni all'ordinanza n. 3274 del 20/3/03”;
- Dipartimento della Protezione Civile – Ufficio Servizio Sismico Nazionale. Nota esplicativa dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20/3/03. Data: 4 giugno 2003;
- Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3431 del 3/5/05;
- **Delibera di Giunta Regionale n. 1302 del 10 settembre 2012** “Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione e concessione dei contributi di cui all'OPCM 4007/2012 a favore degli Enti locali”;
- **Delibera di Giunta Regionale n. 2193 del 21 dicembre 2015** “Aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico denominato “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica” di cui alla Deliberazione dell'Assemblea Legislativa 2 maggio 2007, n. 112;
- **D.M. 17 gennaio 2018** – Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le Costruzioni”;
- **Delibera della Giunta Regionale n. 1164 del 23 Luglio 2018** “Aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei Comuni dell'Emilia Romagna” BURERT n. 263 del 08/08/2018 periodico (parte seconda);
- **Delibera della Giunta Regionale n. 630 del 29/04/2019.** “Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica”;
- **Circolare del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21 Gennaio 2019, n. 7** – Circolare esplicativa Norme Tecniche per le Costruzioni 2018;
- **Delibera della Giunta Regionale n.476 del 12/04/2021** “Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica”, successivamente aggiornato dalla Delibera della Giunta Regionale n.564 del 26/04/2021.

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

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



## 3. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

### 3.1 AREA IMPIANTO

L'impianto si svilupperà su un terreno perfettamente pianeggiante, di circa 43 ettari, attualmente dedicato alla coltivazione di colture in asciutto, come mais da foraggio, frumento duro, grano tenero, soia e sorgo.

L'area, caratterizzata dalla presenza di insediamenti rurali sparsi, tipici del paesaggio agricolo, si trova nella periferia nord-est di Argenta, a circa 3 km in linea d'aria e a circa 1,5 km a ovest della località di Bando.

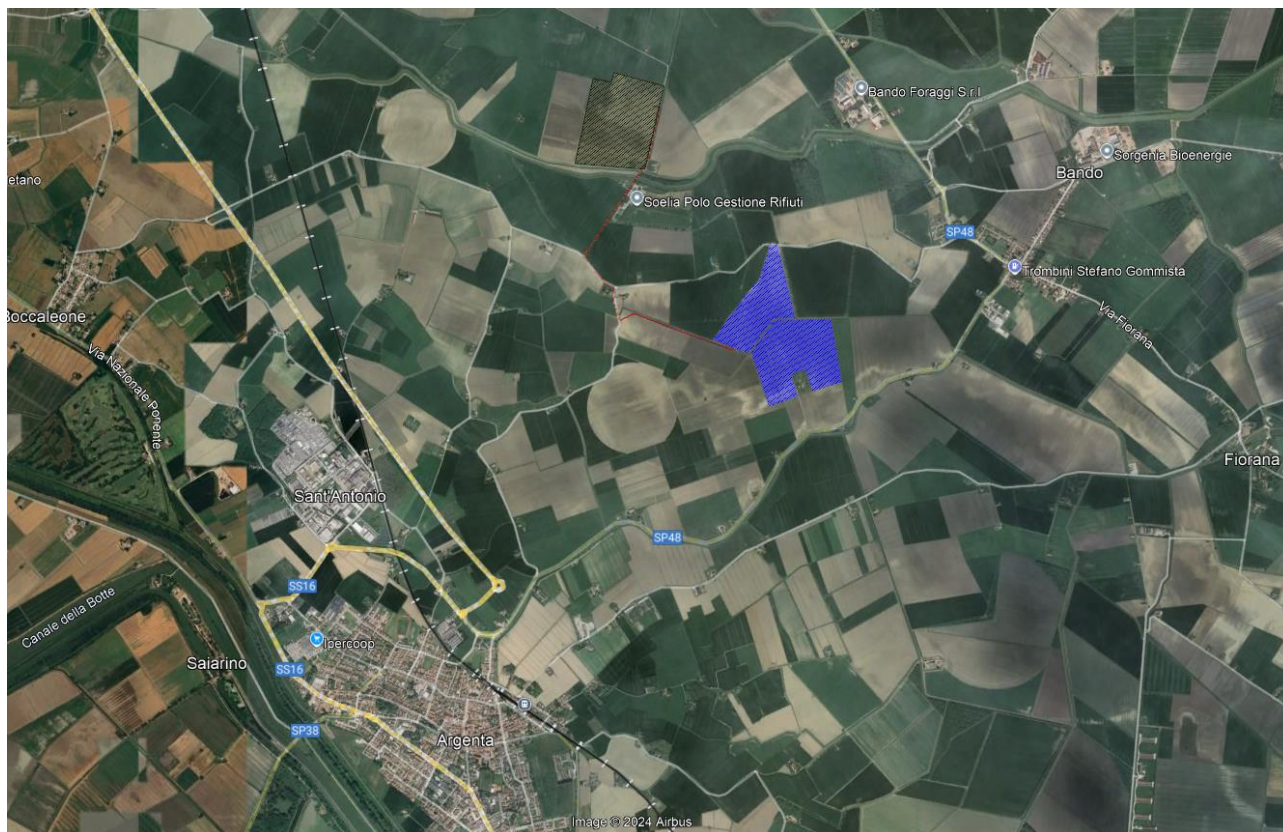


Figura 3-1: – Inquadramento delle opere progettuali su ortofoto

Più precisamente, i terreni possono essere identificati nel catasto del comune di Argenta (FE), come segue:

**Tabella 2-1: Estremi catastali dei terreni interessati dall'Impianto**

Comune	Foglio	Particelle	Tipologia di opera
Argenta (FE)	82	111	Impianto Agrivoltaico con BESS
Argenta (FE)	83	5, 35, 37, 42, 46, 51, 52, 53, 56, 94, 96, 98 e 104	Impianto Agrivoltaico con BESS
Argenta (FE)	93	50	Impianto Agrivoltaico con BESS

Le coordinate geografiche del sito dell'Impianto sono le seguenti:

- Latitudine 44.638°;
- Longitudine 11.865°.

Per maggiori dettagli sull'inquadramento dell'area si faccia riferimento agli elaborati grafici allegati.

### 3.2 LINEA 36 KV

Per quanto riguarda invece il tracciato della Linea a 36 kV, questo seguirà prevalentemente la viabilità pubblica comunale (evitando interferenze con le strade provinciali) ad eccezione di brevi tratti che attraverseranno terreni privati. In particolare, interesserà la seguente viabilità:

- Via Alberelli;
- Via Alberone;
- Via Portoni Bandissolo.

Si rimanda alle Tav02\_04 "Inquadramento generale - catastale" e Tav02\_16 "Inquadramento generale - viabilità esistente" per ulteriori dettagli in merito.

## 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

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



appenninico (fig. successiva), portando alla identificazione di due cicli sedimentari principali, uno marino (Qm) ed uno continentale (Qc).

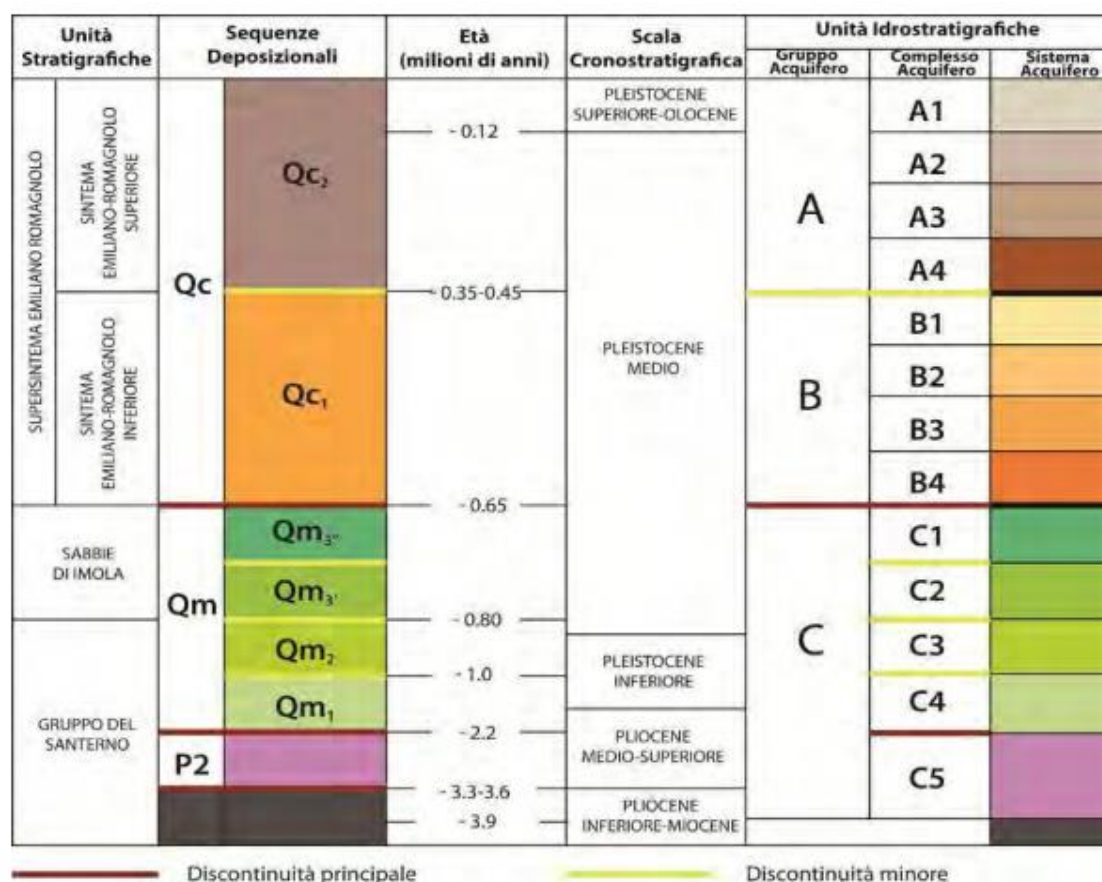


Figura 4-2 – Schema stratigrafico-sequenziale dei depositi plio-quaternari del bacino padano, con indicazione delle unità idrostratigrafiche. Regione Emilia-Romagna & ENI-Agip, 1998

Sotto il profilo più strettamente strutturale l'area, inquadrata nello schema tettonico dell'Appennino settentrionale in 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.

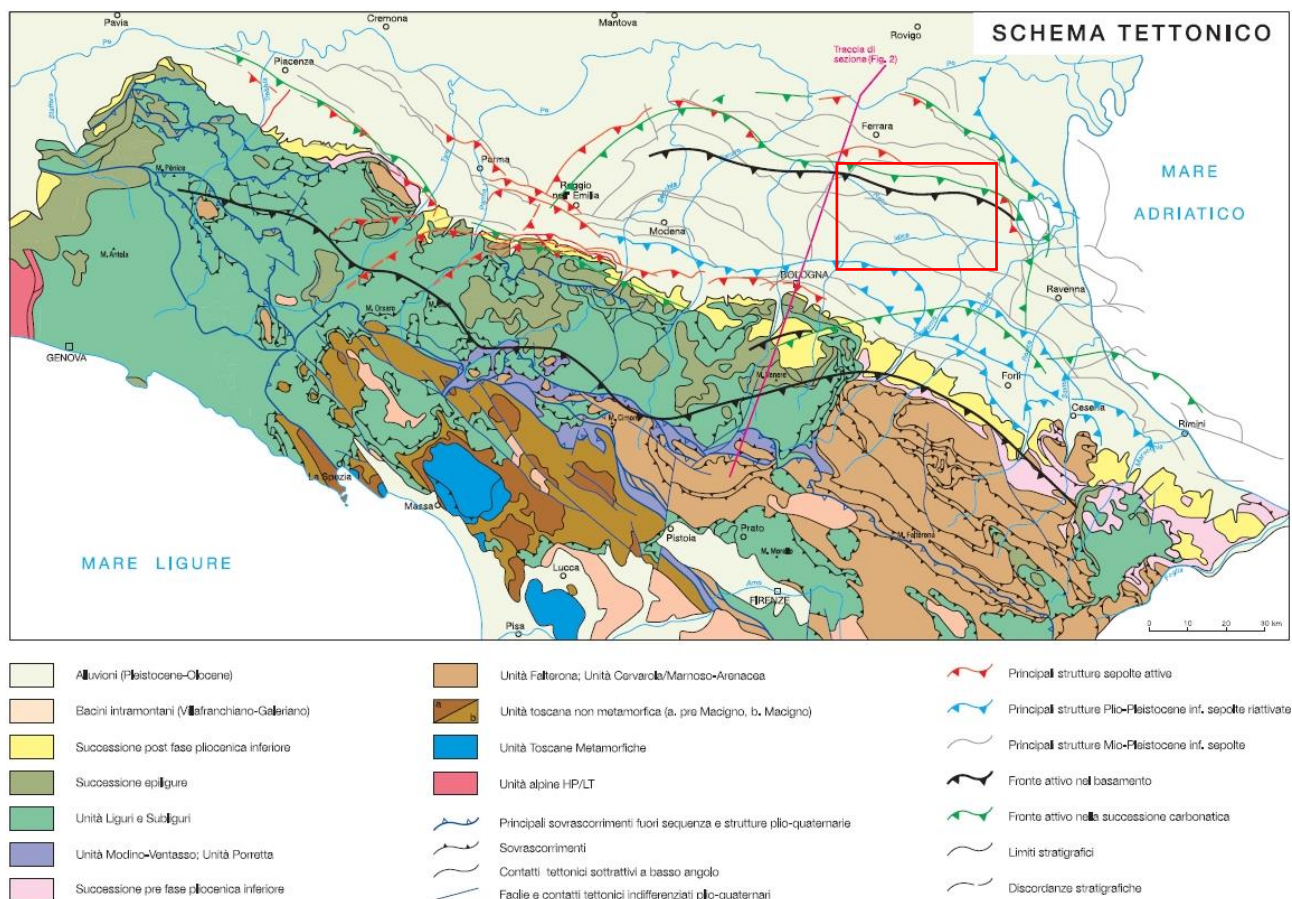


Figura 4-3 – Schema tettonico dell'Appennino settentrionale (da Boccatelli et alii, 2004, mod.)

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

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

massime pari a circa 5,0 come rappresentato in

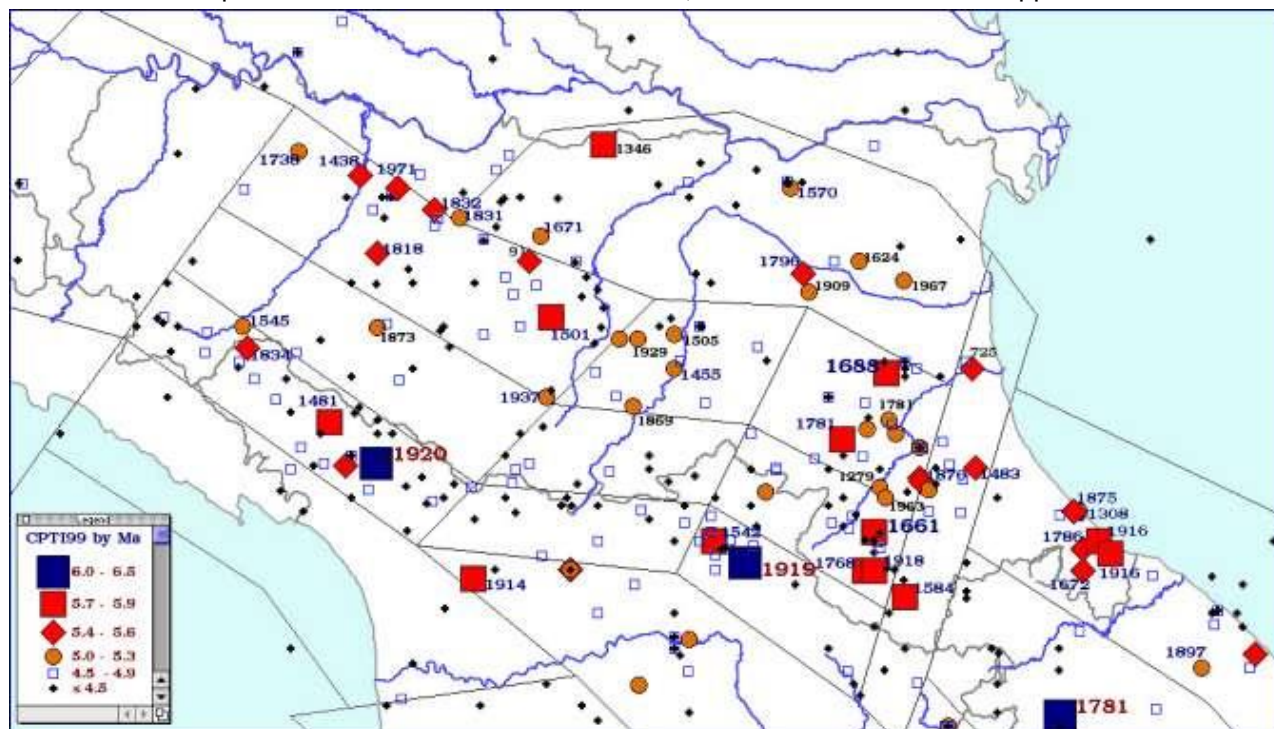


Figura 4-4<sup>2</sup>.

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



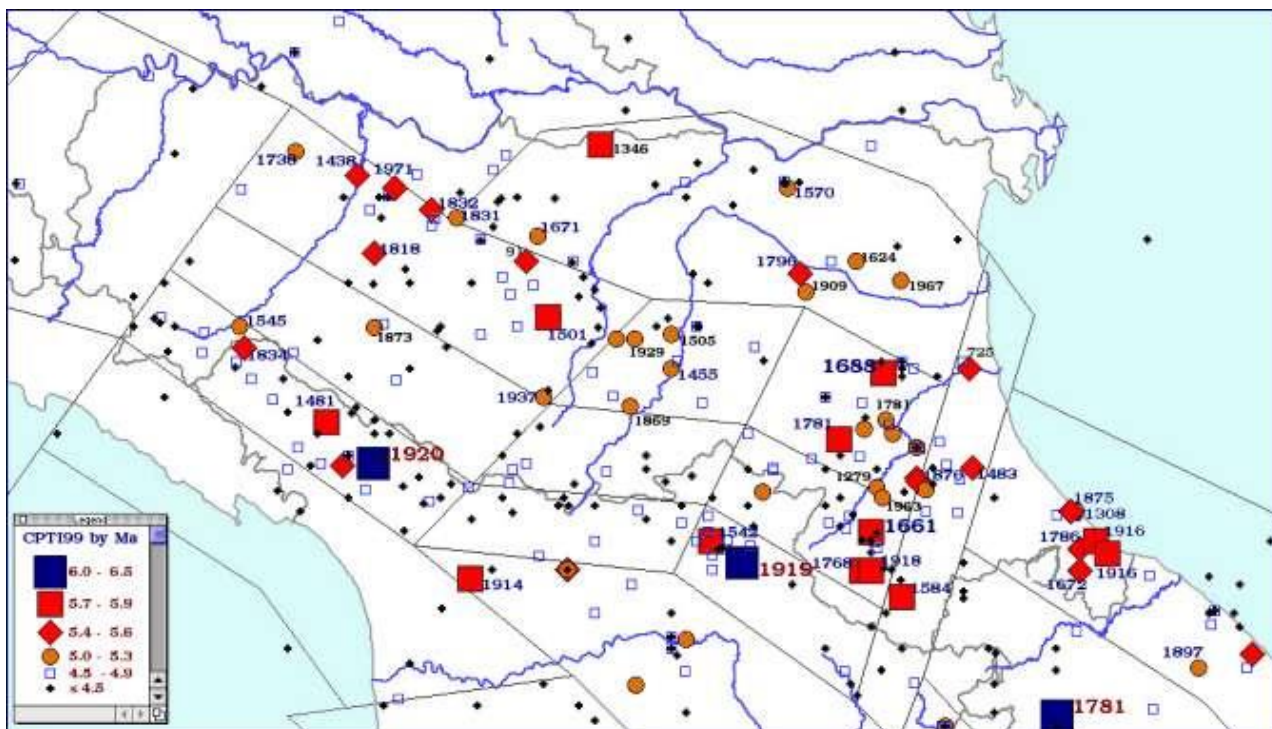


Figura 4-4 – Carta epicentri dei terremoti della Regione Emilia-Romagna per classi di magnitudo (CPTI, 1999)

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 rinvengono 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.

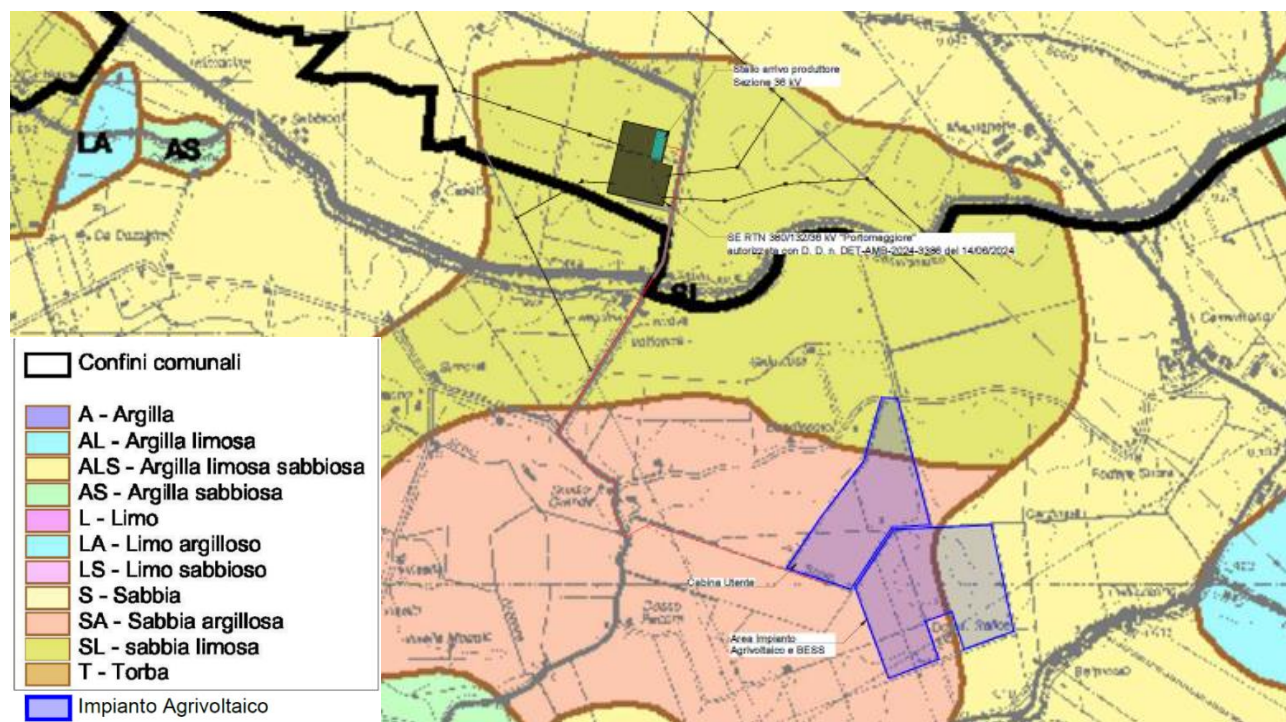


Figura 4-5 – Carta Estratto della carta litologica di superficie – Tav. 3 – PSC in forma associata comuni di Argenta, Migliarino, Ostellato, Portomaggiore, Voghiera

In generale si può affermare che la distribuzione dei vari tipi litologici non è omogenea ma legata al reticolo idrografico dei rami del Po che anticamente divagavano nella zona in esame. Così i terreni sabbiosi sono localizzati principalmente in corrispondenza di antichi alvei fluviali o di loro 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.

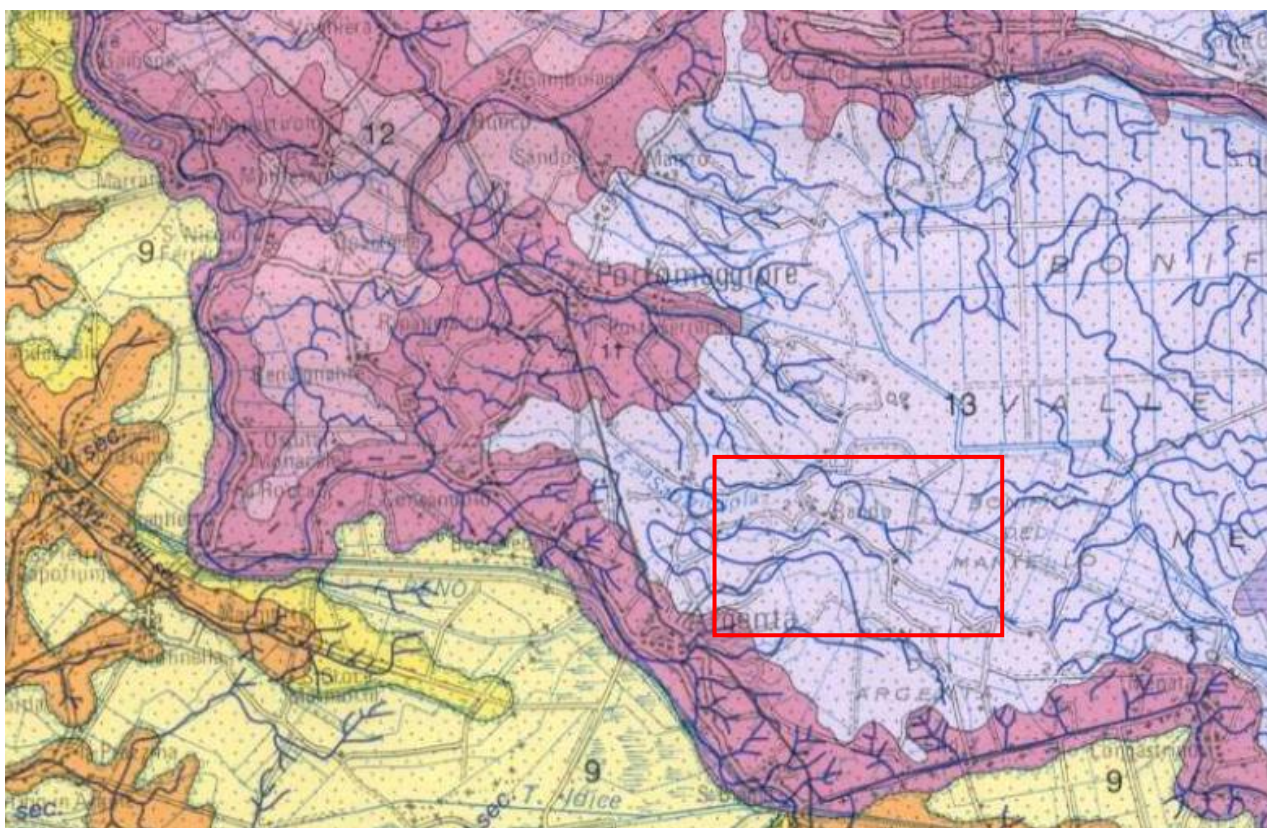
Tali depositi sono occasionalmente interrotti da lenti di varia estensione areale, si tratta sempre di depositi di piana deltizia, ma sono tipici di ambienti di palude, sono costituiti da limi e limi argillosi intercalati in strati decimetrici, localmente caratterizzati da livelli organici parzialmente 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.

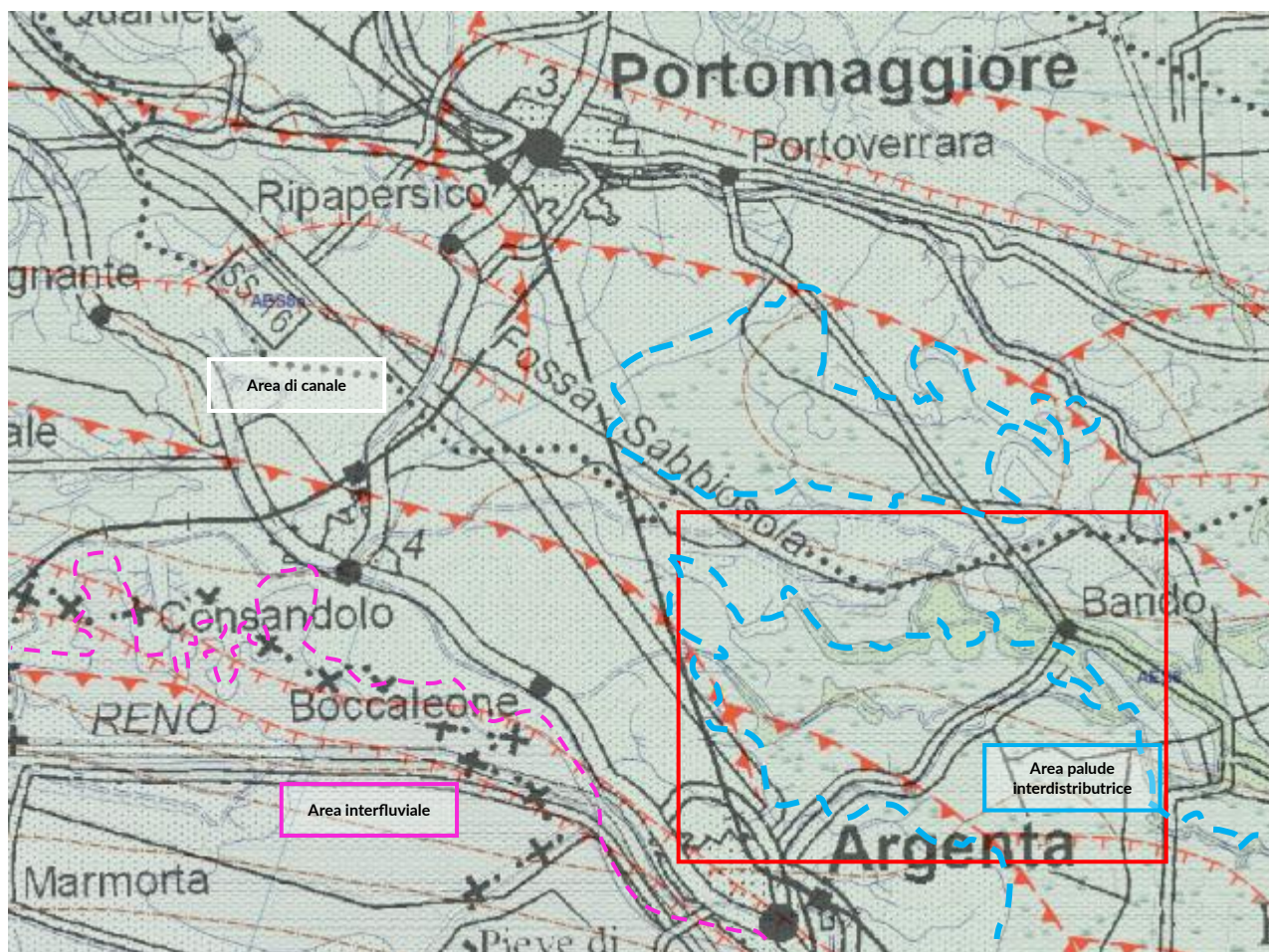


Figura 4-7 – Estratto Carta geologica della Regione Emilia Romagna

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 estesi Valli del Mantello in corrispondenza dell'attuale abitato di Menate (nel Comune di Argenta) o, meglio, poco a Nord di tale abitato. Anche in tal caso si rileva una fitta rete paleo-divagativa e dossi non particolarmente rilevati, che in pratica interessano i soli abitati di Bando e La Fiorana. Altre divagazioni paleo idriche pur fitte rivestono importanza minore.

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



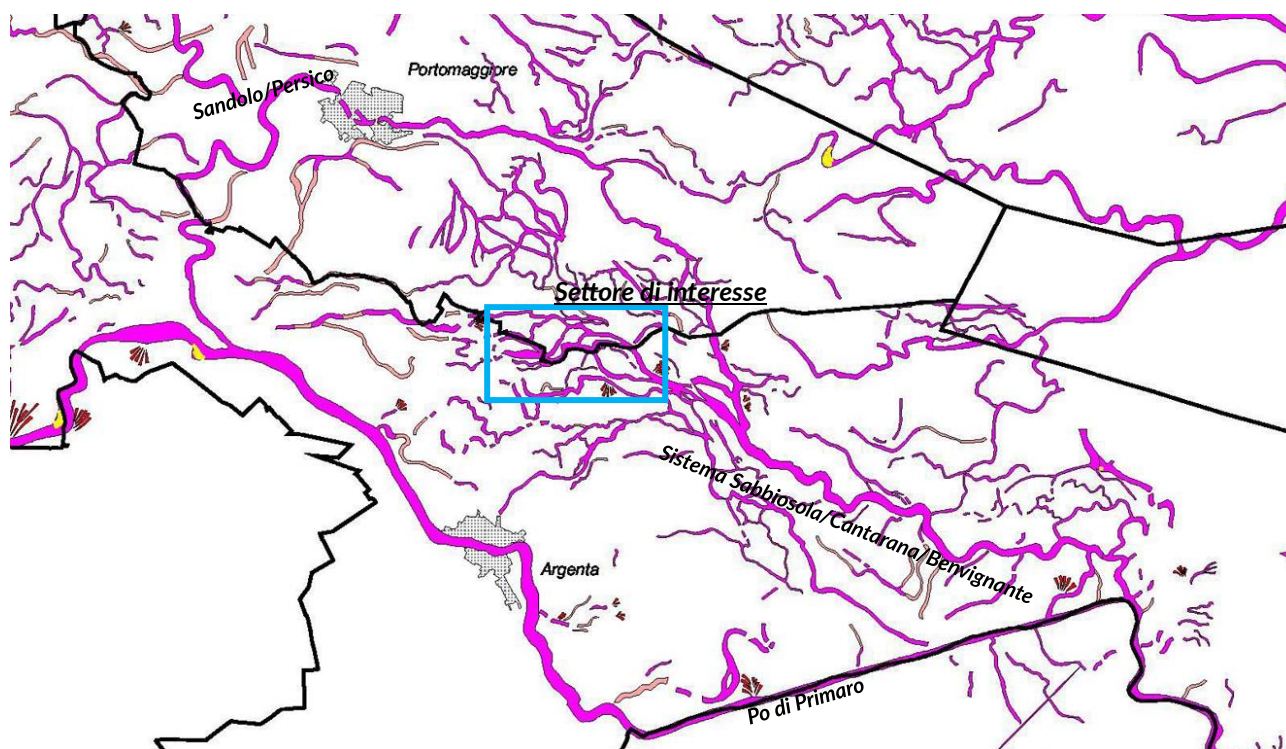


Figura 5-1- Stralcio in scala libera della Carta Geomorfológica della Provincia di Ferrara – tratta da "Quadro Conoscitivo Diagnostico, Sicurezza del territorio" del Piano Urbanistico Generale (PUG) dell'unione Valli e Delizie

(territorio in esame evidenziato in azzurro)

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

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

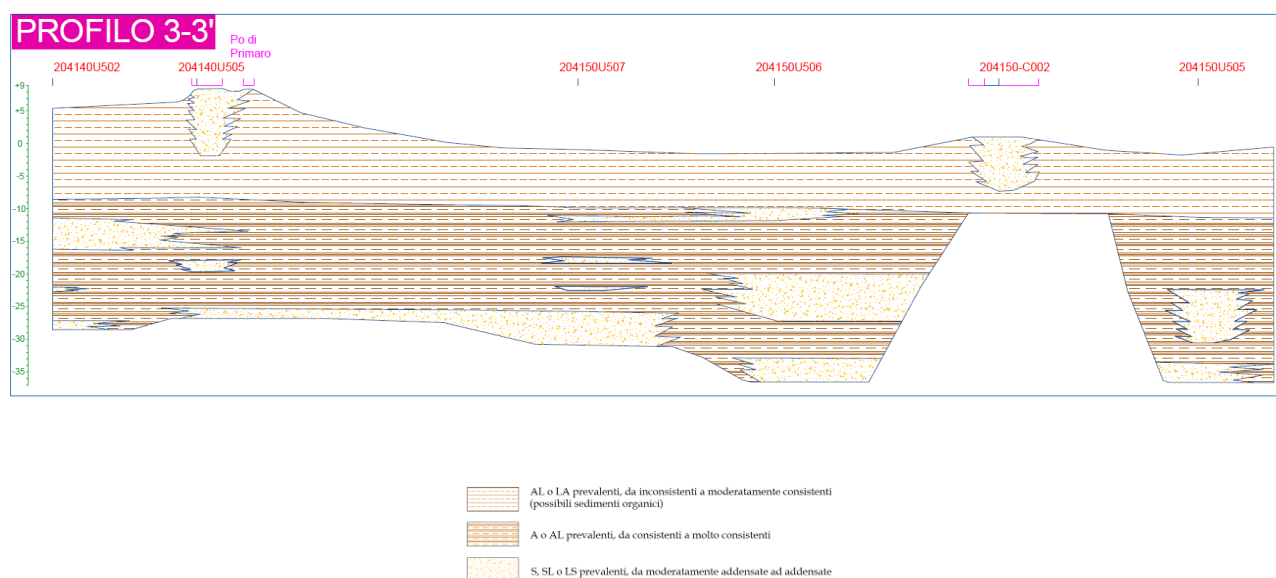
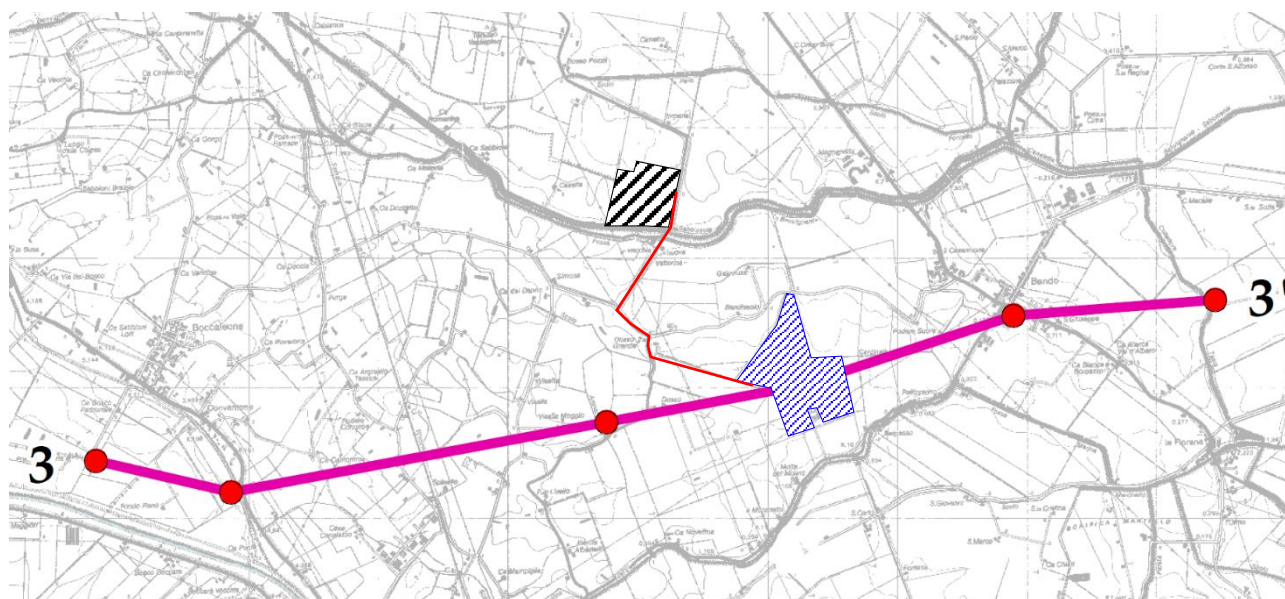


Figura 5-2- Traccia e sezione stratigrafica

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 Primaro che, puntando decisamente a Sud da Ferrara si spingeva sino all’attuale frazione di Tragheto per poi virare bruscamente verso Est ovvero verso il mare (ampiamente meandreggiando). Il Primaro era caratterizzato da un dosso molto rilevato motivo per cui le acque dei torrenti appenninici non potevano essere recapitate all’interno dello stesso ed “andavano a sbattere” contro il suo dosso ed allo stesso tempo non potevano

nemmeno defluire verso mare. Tali situazioni morfologiche determinavano ampie zone vallive interne di acqua dolce, estinte solamente a seguito della regolarizzazione del Fiume Reno (fine '700-primi '800), le quali hanno lasciato ampie testimonianze sul territorio riscontrabili principalmente attraverso le tessiture e litologie a carattere fine limoso-argilloso ed organico.

Alla seguente **Fig 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 rota e tracimazione, in particolar modo in corrispondenza del settore ove si prevede la realizzazione che campo agrivoltaico si registra la presenza di paleoalvei di certa e incerta ubicazione.

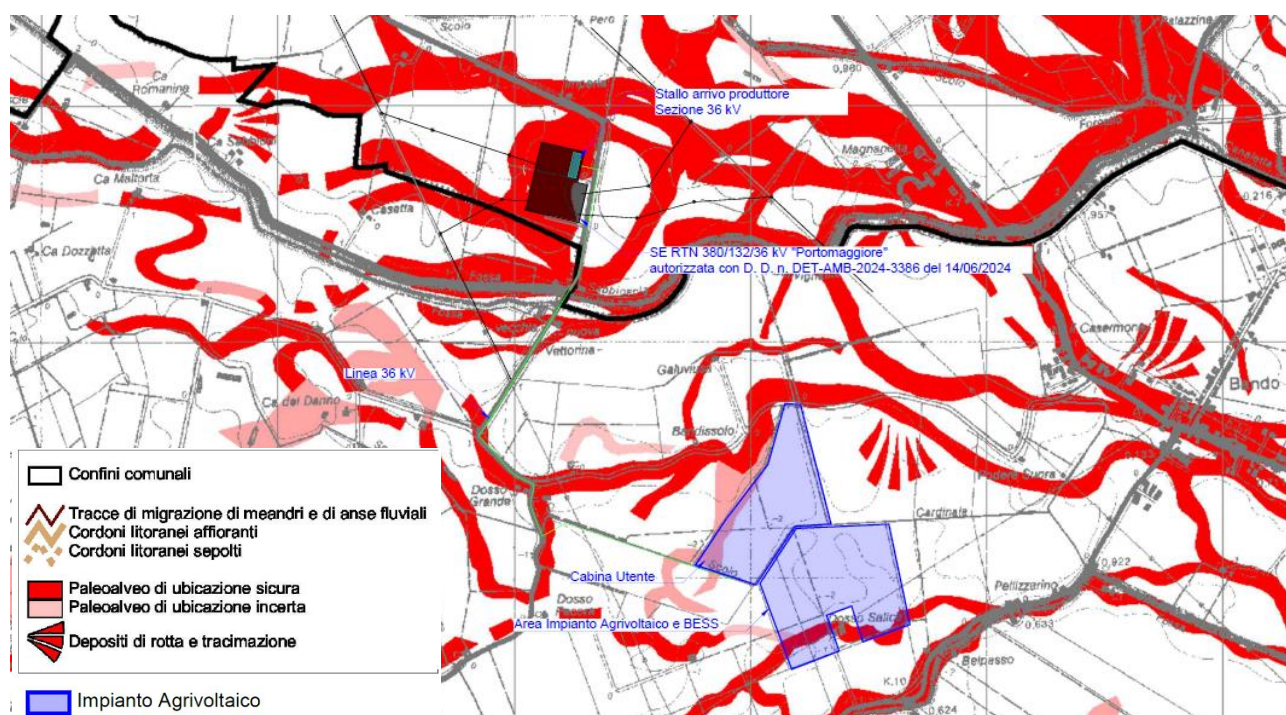


Figura 5-3- Carta Geomorfologica (v. Tav.04)- Quadro conoscitivo diagnostico, Piano Urbanistico Generale (PUG) Unione dei comuni Valli e Delizie



## 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.

Unità di sottosuolo		Unità affioranti					ETA* (milioni di anni)	SCALA CRONOSTRATIGRAFICA (milioni di anni)
Gruppi Acquisiferi	Complessi acquisiferi							
A	A0		SUPERSISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO	SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE	AES8	~0.12	PLEISTOCENE SUPERIORE - OLOCENE  0.125	
	A1	POST TETTONICO			AES7			
	A2				AES3/6			
	A3	SIN			AES2/5			
	A4	POST TETTONICO			AES1/4			
B		SIN TETTONICO	SUPERSISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO	SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE		~0.45	PLEISTOCENE MEDIO	
		POST TETTONICO						
C		SIN TETTONICO	SUPERSISTEMA QUATERNARIO MARINO	SUBSISTEMA QUATERNARIO MARINO 2°		~0.80	0.94	
				SUBSISTEMA QUATERNARIO MARINO 3°				
		POST TETTONICO		SISTEMA DI COSTAMEZZANA				
		SIN TETTONICO		SISTEMA DEL TORRENTE STRONE		~1.0	PLEISTOCENE INFERIORE	
		POST TETTONICO						
						1.72 PLIOCENE 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 idrostatigrafiche nelle quali è suddiviso il gruppo acquifero:

- Complesso acquifero A4 e A3: questi sono i due acquiferi più profondi, rispettivamente -90 m s.l.m. (A3) e -100 m s.l.m. (A4) nelle aree di alto strutturale (zona Ovest della provincia di Ferrara), raggiungendo profondità del tetto di -230 m s.l.m. (A3) e -280 m s.l.m. (A4) nel settore Est della Provincia dove gli assi strutturali si approfondiscono in direzione E-NE. In entrambi i complessi, i depositi sabbiosi di delta risultano aggradanti indicando una stasi nell'evoluzione paleogeografica del bacino sedimentario. Questi acquiferi, data la loro profondità, non risultano affetti dal ciclo idrogeologico attuale ed ospitano acque fossili e connate di origine Appenninica ed Alpina.
- Complesso acquifero A2: questo complesso, alla scala locale, può essere suddiviso in due altre unità idrostatigrafiche. 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 compresa tra -1,60 e -2,20 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.

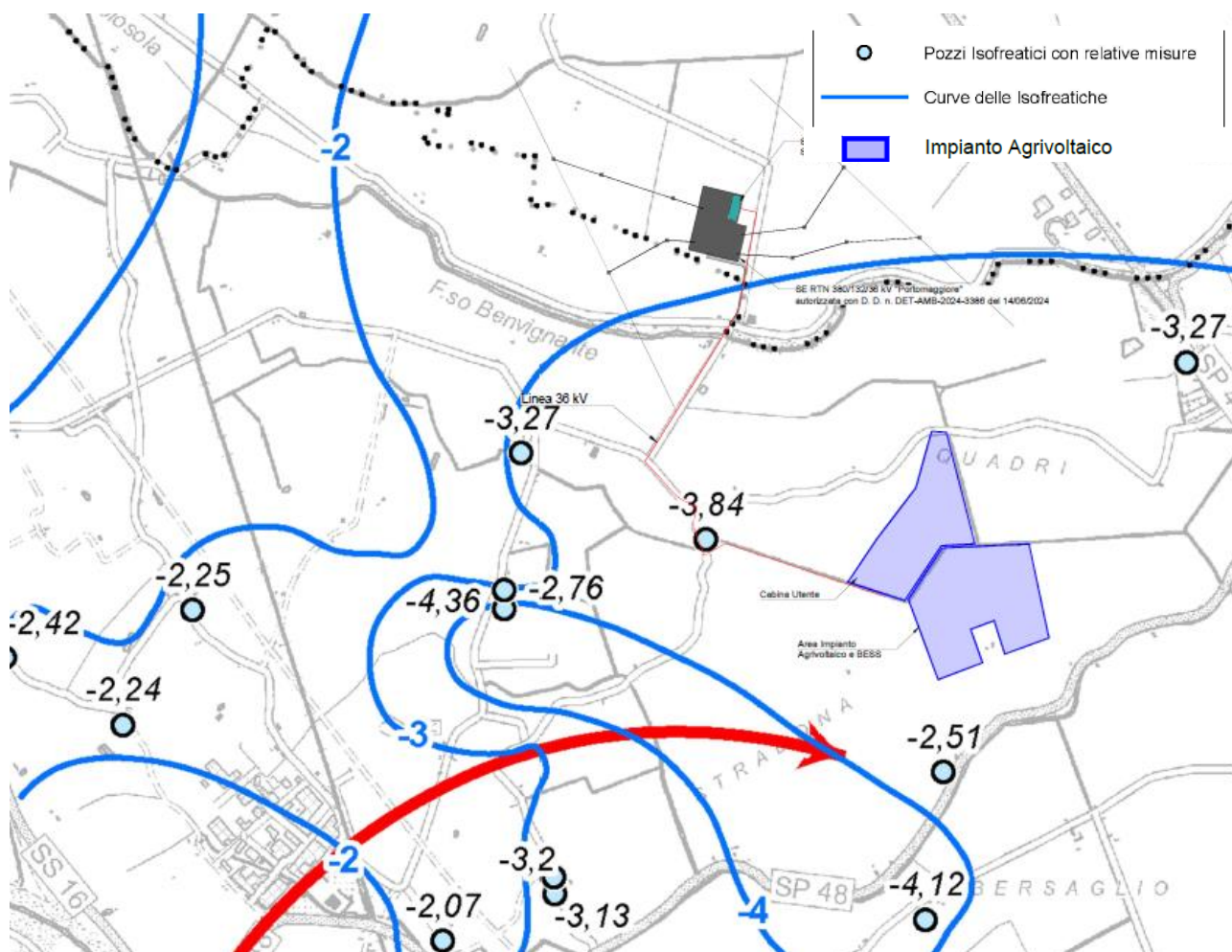


Figura 6-2- Carta delle isofreatiche (v. Tav.05)- Quadro conoscitivo diagnostico, Piano Urbanistico Generale (PUG) Unione dei comuni Valli e Delizie

## 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 (idrovoce) e chiuse che regolano il sistema. Il sistema è altamente gerarchizzato ed a completo controllo antropico e deve temperare esigenze contrastanti quali appunto lo sgrondo a mare e l'alimentazione idrica (dai corsi idrici naturali) per funzione irrigua. Sono normalmente presenti diversi livelli idrometrici e quindi i sollevamenti possono essere molteplici e di entità differenziata. La parte del ferrarese è normalmente caratterizzata da numerose 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 scol, ai canali ed infine ai grandi canali circondari.

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

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

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

Distretto Fiume Po (v. Fig 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. Una piccola parte delle aree di interesse ricadono in 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.

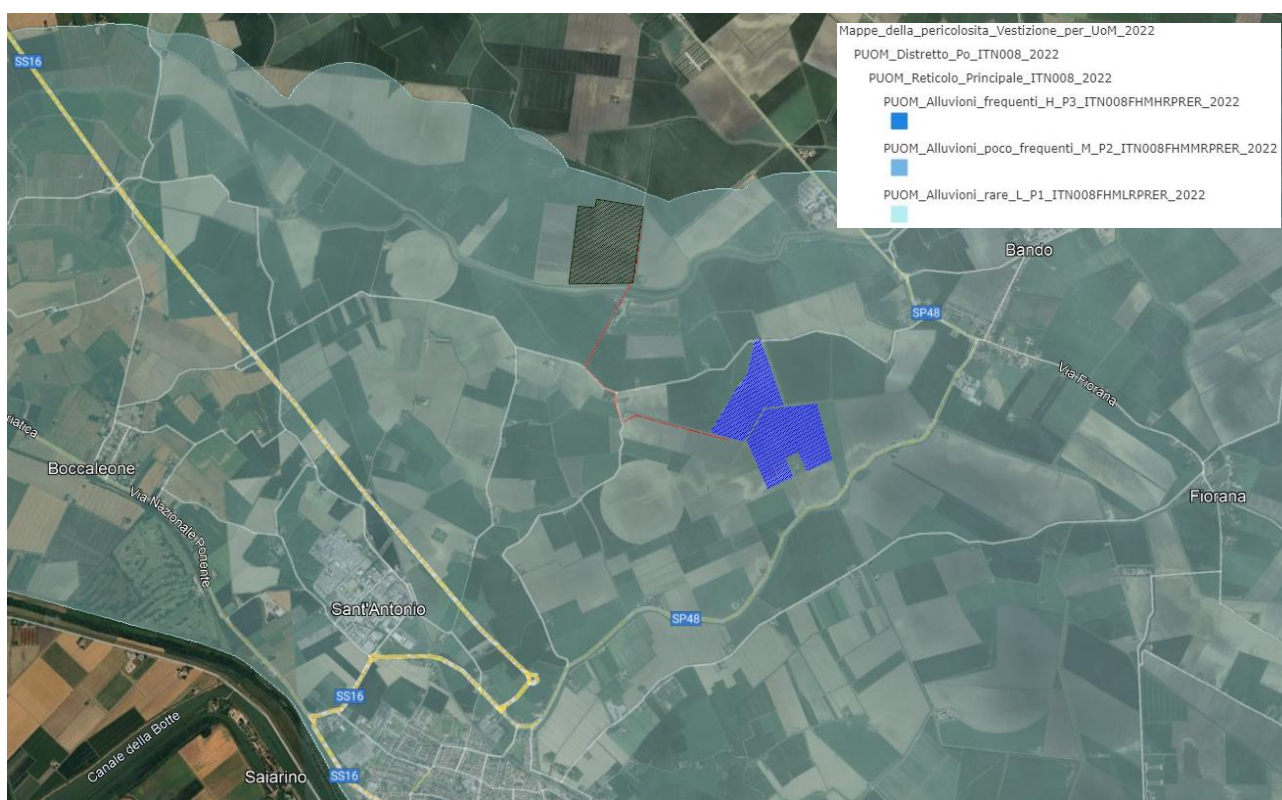


Figura 6-3- Direttiva Alluvioni - Reticolo primario Fiume Po



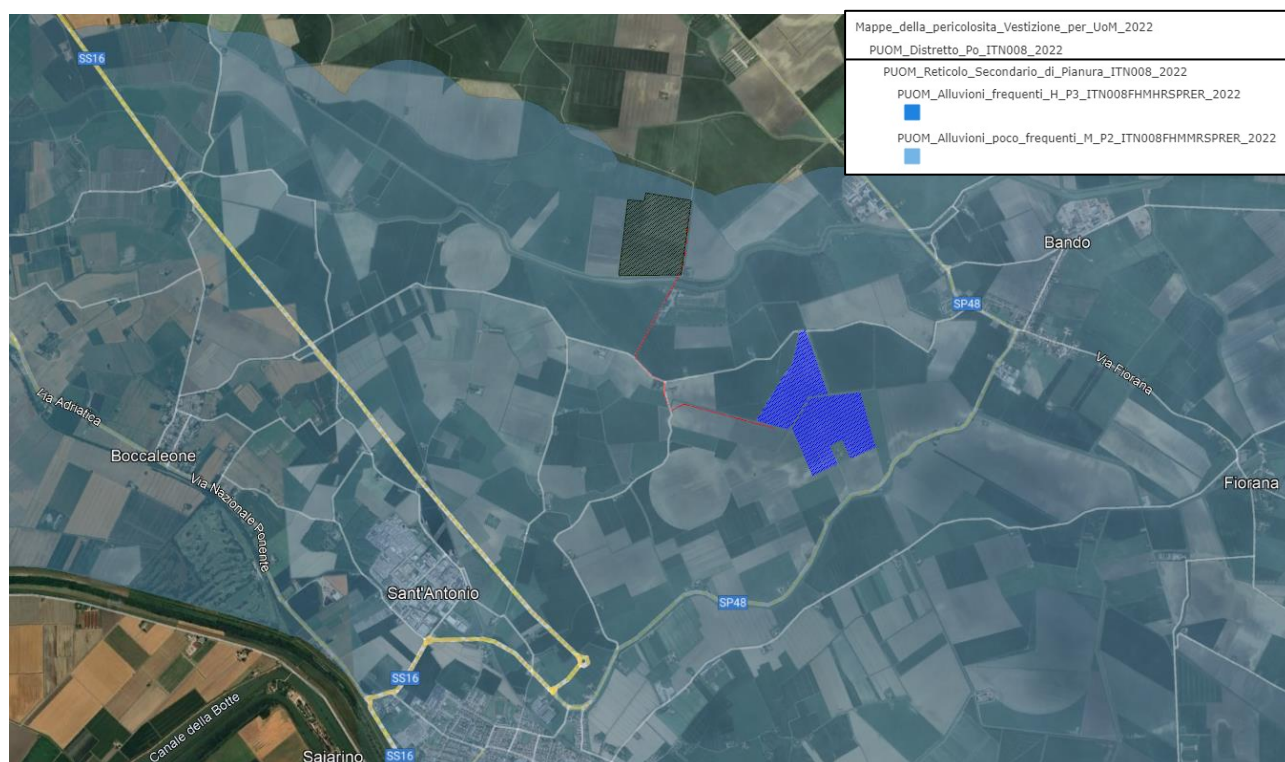


Figura 6-4- Direttiva Alluvioni - Reticolo secondario Fiume Po (aree P2)

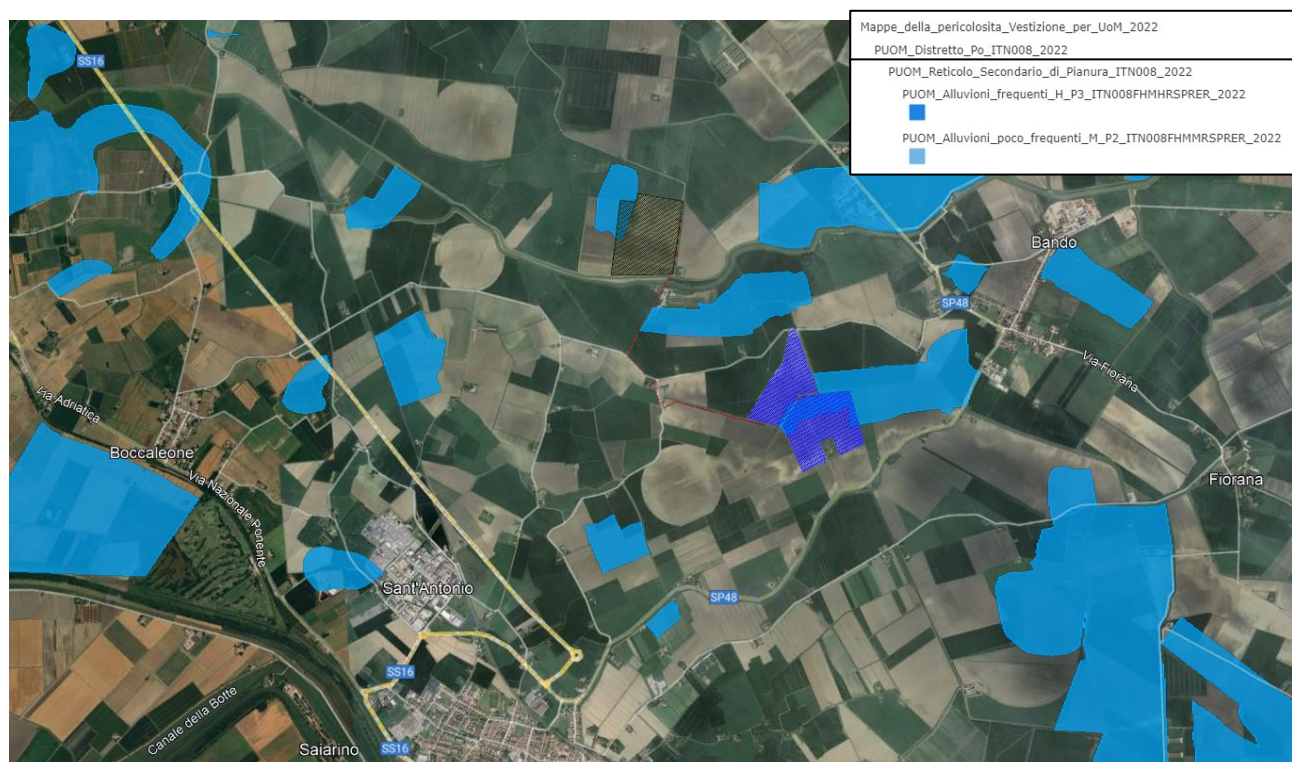


Figura 6-5- Direttiva Alluvioni - Reticolo secondario Fiume Po (aree P3)



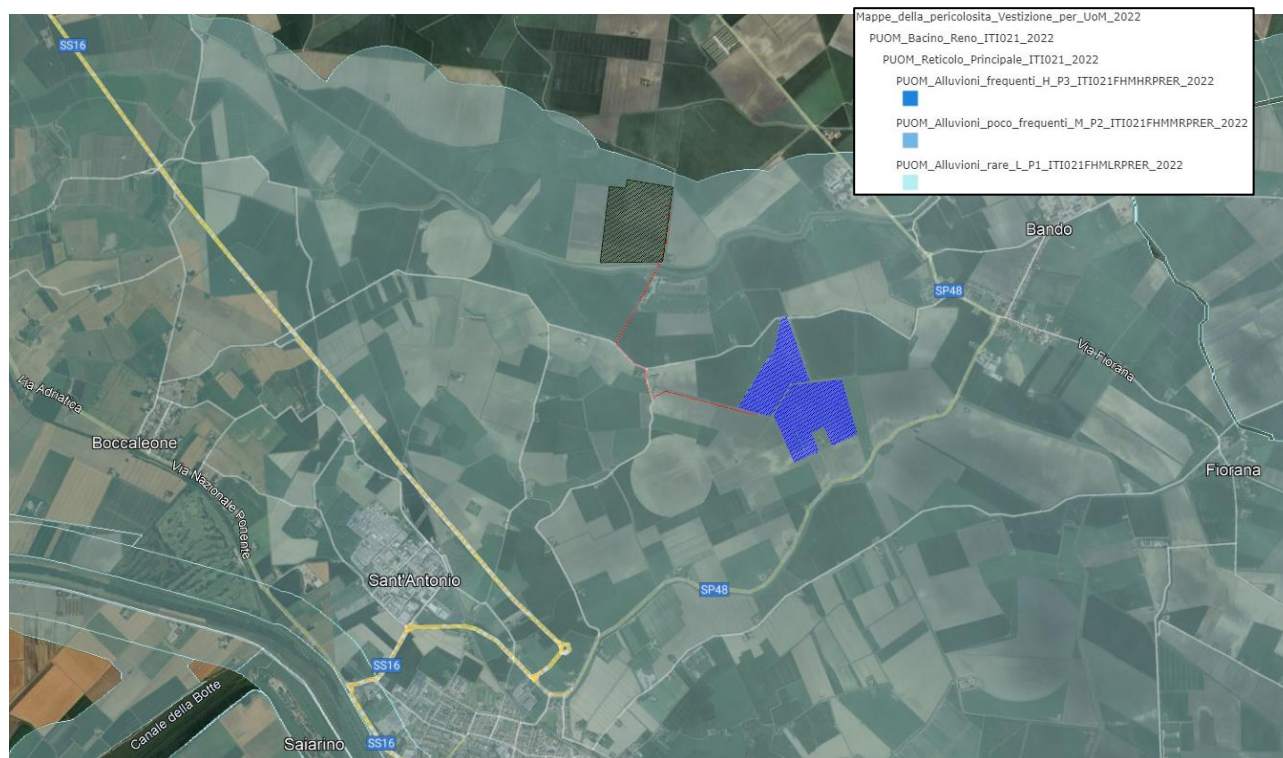


Figura 6-6- Direttiva Alluvioni - Reticolo primario Fiume Reno



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 e stazione RTN ricadono 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 Bando che è classificata a rischio medio R2.

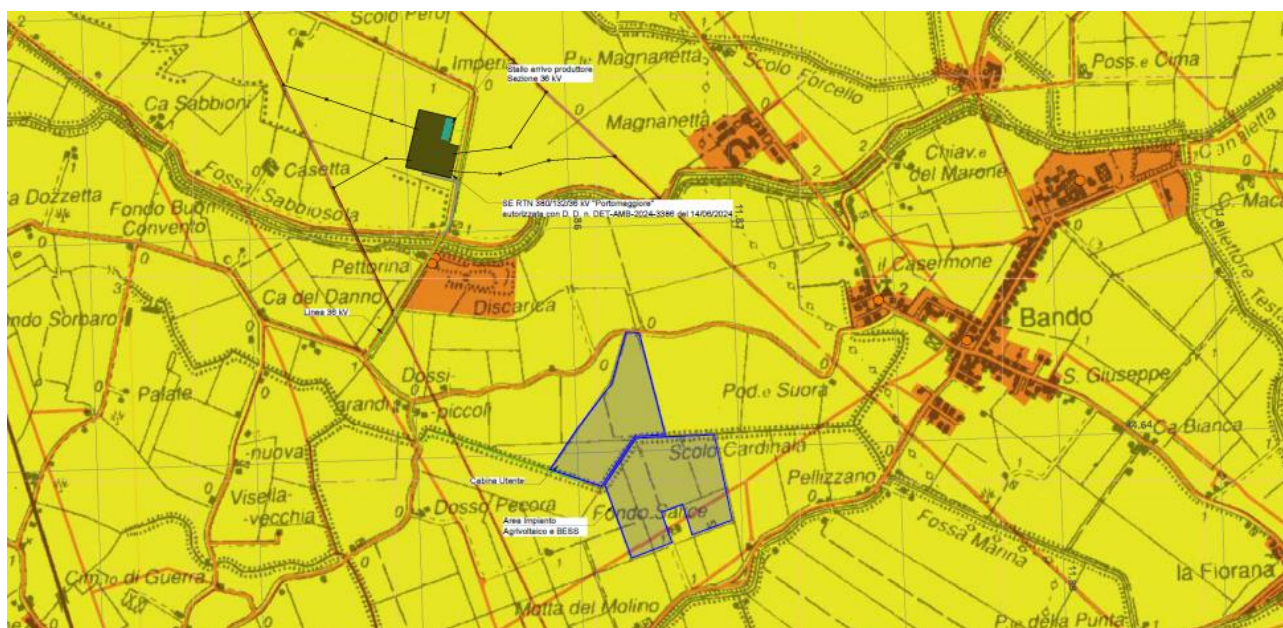


Figura 6-8- Ambito territoriale: PGRA 204 SE – Argenta – Reticolo principale naturale (Mappa del rischio)

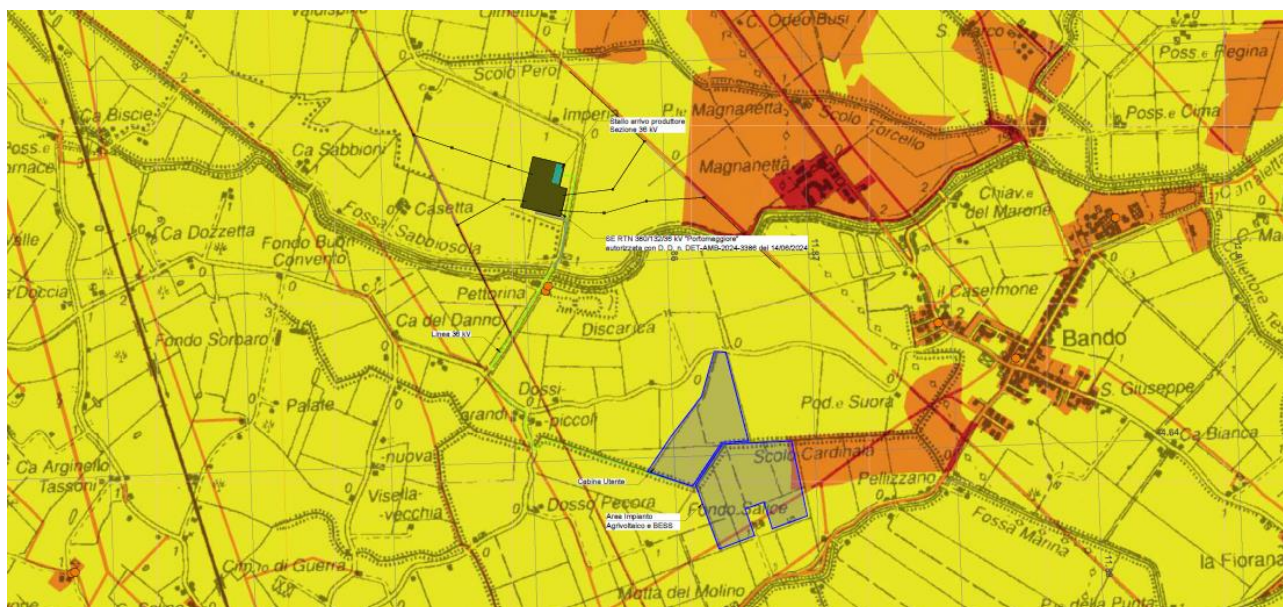
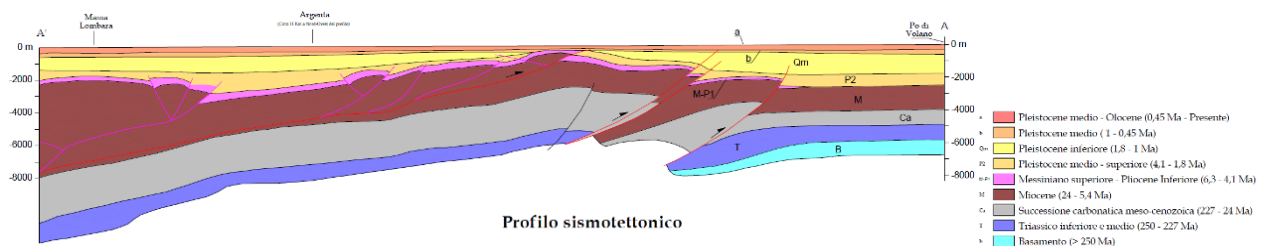
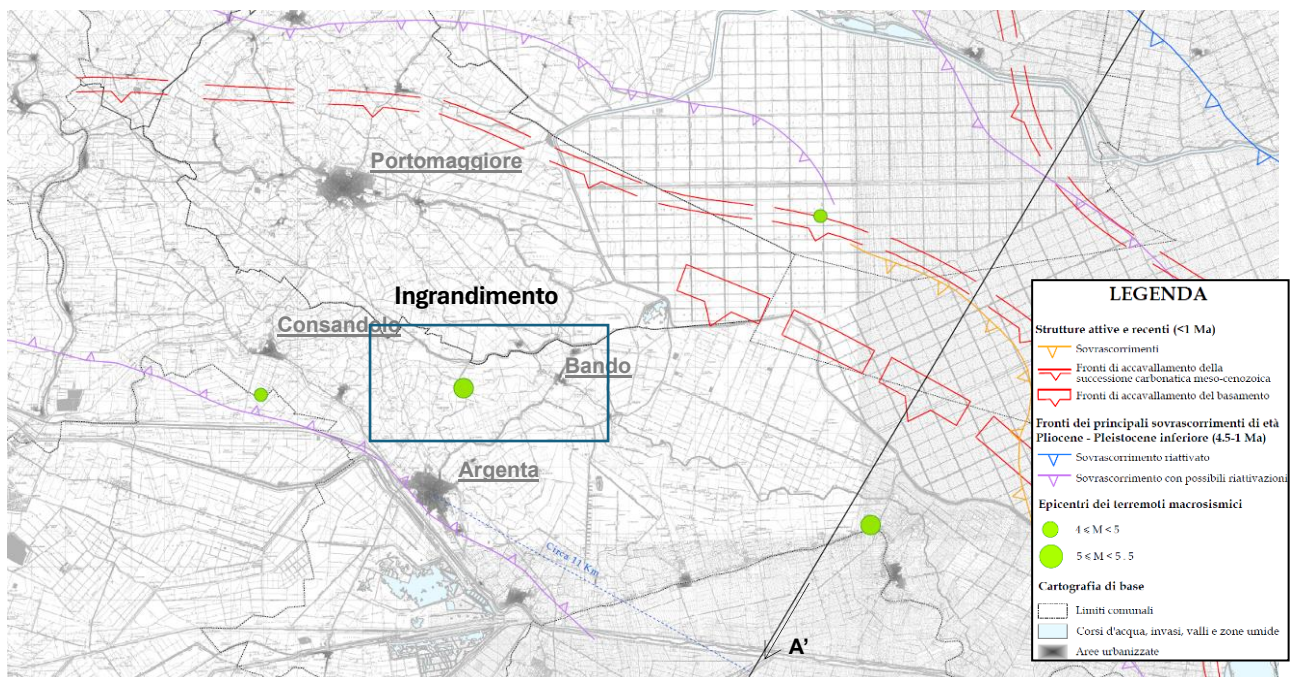


Figura 6-9- Ambito territoriale: PGRA 204 SE – Argenta – Reticolo secondario di pianura (Mappa del rischio)



## 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

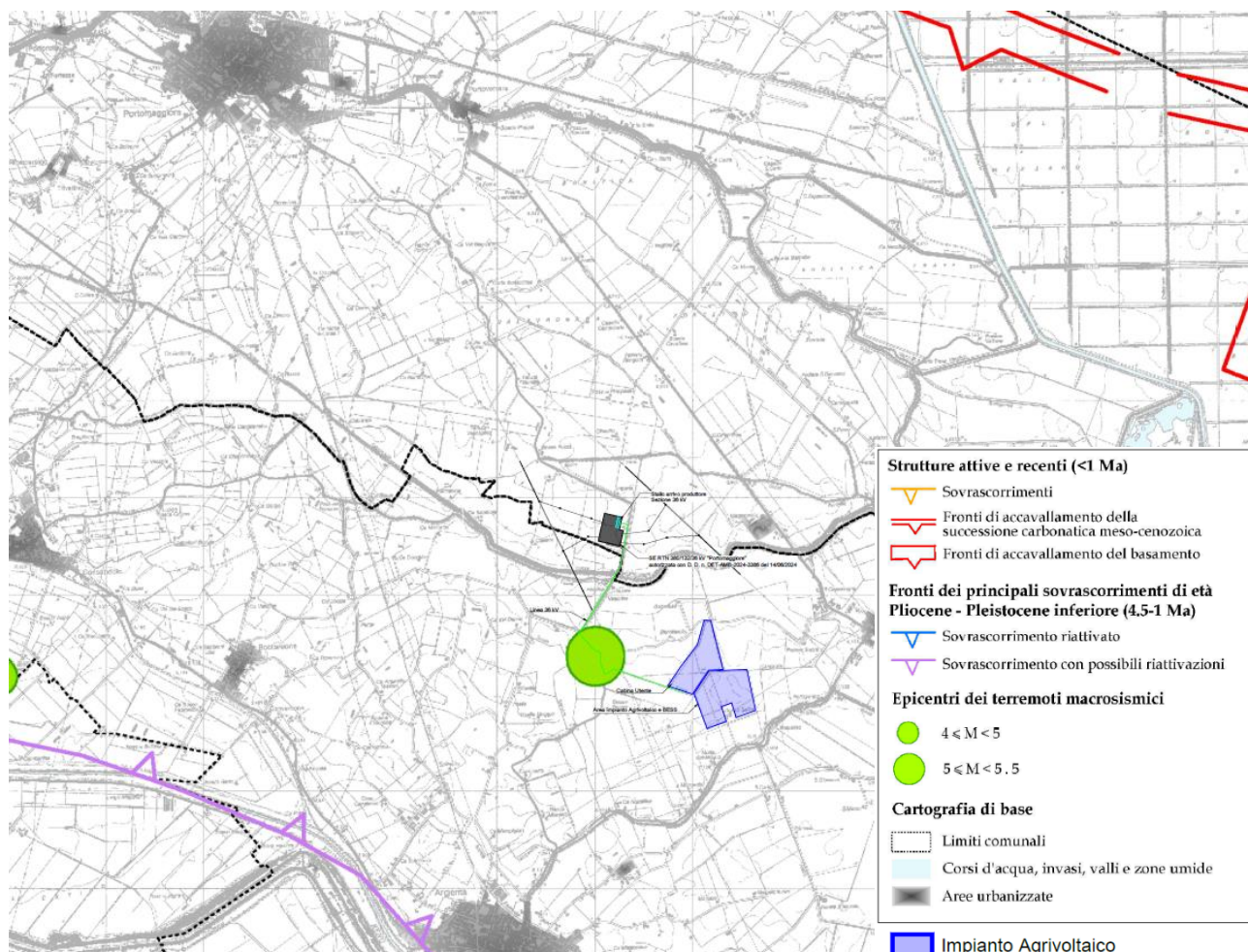


Figura 7-1 – “Carta degli elementi sismotettonici” (v. Tav.06) Microzonazione sismica di I livello - Unione dei comuni Argenta, Migliarino, Ostellato, Portomaggiore e Voghiera

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 IXX grado della scala MCS.

I maggiori terremoti occorsi in epoca storica nel ferrarese sono stati il terremoto di Ferrara del 1346 e con una intensità stimata di magnitudo 5,81 della scala Richter; ed il terremoto dei Ferrara del 1570 con una intensità stimata di magnitudo 5,48 della scala Richter. Tali eventi storici sono perfettamente congruenti con i recenti sismi del 20 e 29 maggio 2012, che confermano l'intensità sismica dell'areale emiliano romagnolo.

Come possibile osservare alla tabella riportata in Figura 7-2, tratta dal sito INGV, Argenta è stata colpita da due forti terremoti nel 1624 (Intensità VIII-IX, Mw 5.4) e nel 1898 (Intensità VII, Mw 5). In precedenza, anche il terremoto di Ferrara del 1570 aveva originato risentimenti non trascurabili. Nel 1956 si è avuto l'evento



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.

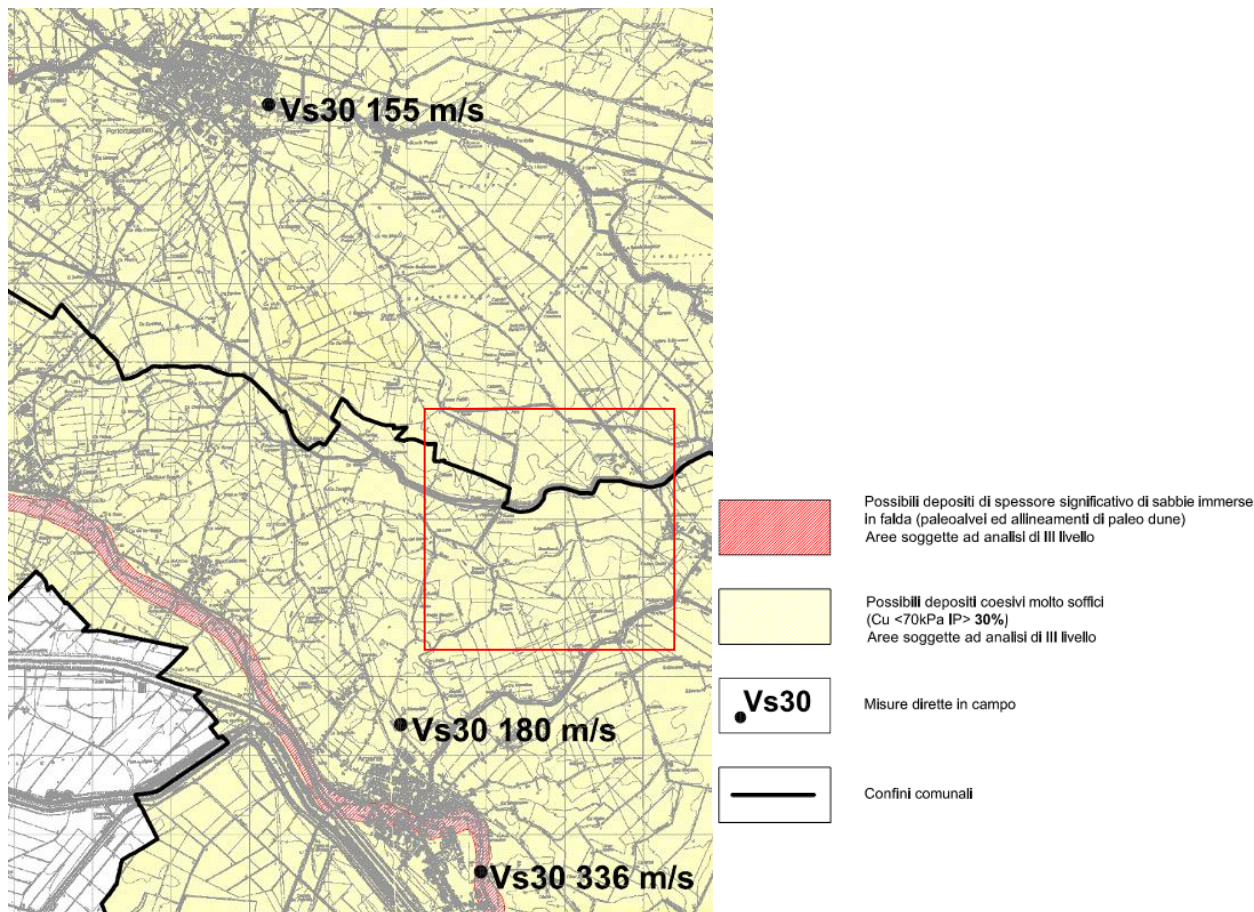


Figura 7-3 – Cartografia delle aree suscettibili di effetti locali – PSC in forma associata (territorio in esame evidenziato in rosso)

L'area in esame (impianto agrivoltaico e stazione RTN) ricade prevalentemente in prossimità dell'abitato di Bando, a Nord-Est di Argenta. Dall'analisi delle informazioni emerse dalla microzonazione di III Livello (MSIII) per il comune di Argenta, emerge che l'area di progetto 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 6a "FA P.G.A.", riportata in stralcio alla figura seguente, la quale mostra come il settore di futura realizzazione dell'impianto Agrivoltaico, a Nord-Est dell'abitato di Argenta, non rientri nelle aree sottoposte a studio di Microzonazione Sismica di III Livello. Medesima conclusione può essere raggiunta per la stazione RTN esterna alle aree sottoposte a MSIII per l'abitato di Bando, prossimo a tale settore di indagine.



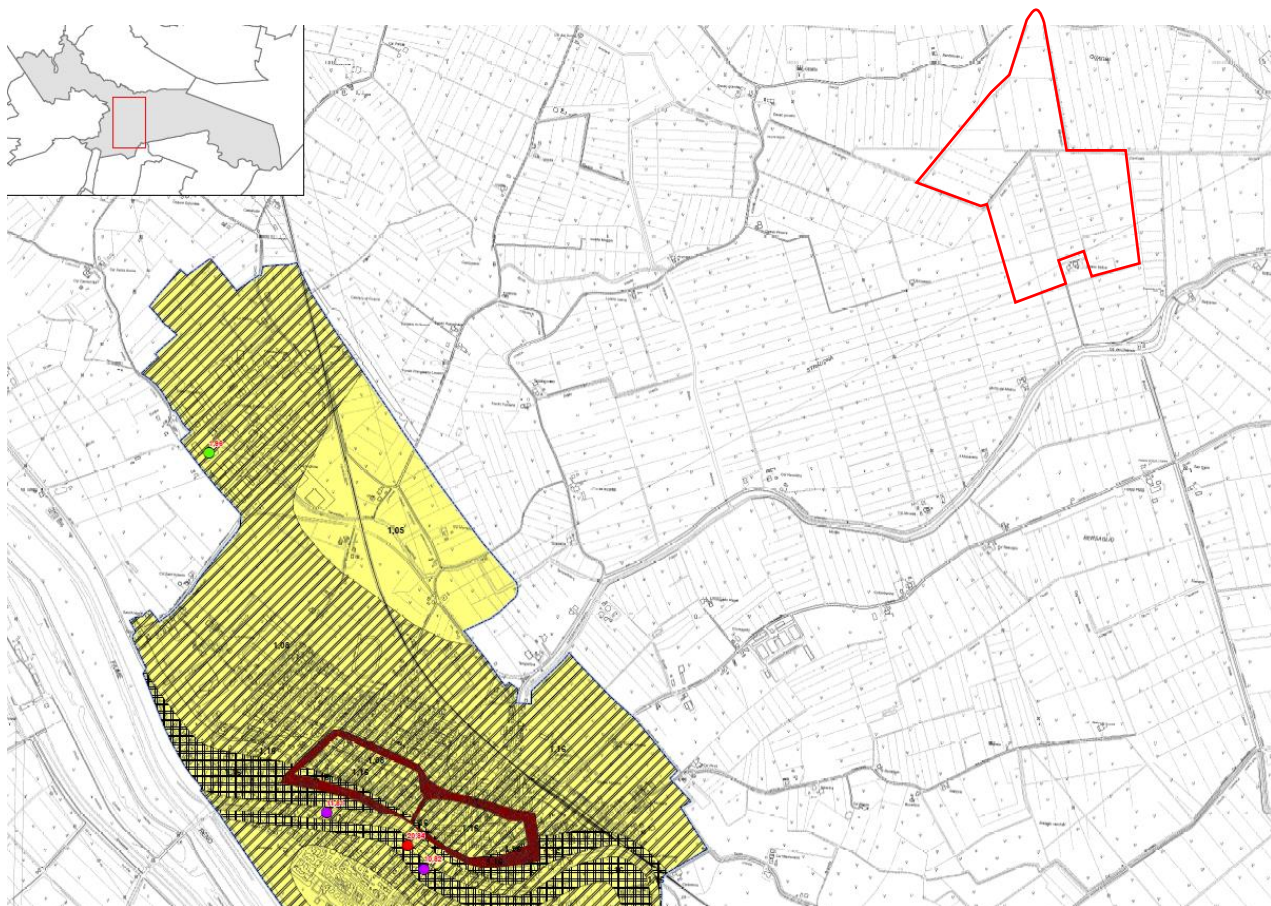


Figura 7-4 – Carta di microzonazione sismica di III livello – FA P.G.A. – indicazione in rosso area Campo Agrivoltaico



## 8. INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE

Le indagini si sono concentrate nel settore appartenente al territorio comunale di Argenta dove si prevede la realizzazione dell'impianto Agrivoltaico.

**Tabella 8.1 – Estremi catastali dei terreni interessati dall'Impianto**

N.	Data di esecuzione	Tipologia di indagine	Scopo
<b>PROVE PENETROMETRICHE CON PIEZOCONO</b>			
3	14/09/2024	CPTU	<p>Caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni tramite misura della resistenza alla penetrazione di una punta meccanica di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante per la misura</p> <ul style="list-style-type: none"> <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>
1	14/09/2024	SCPTU	<p>La strumentazione è analoga a quella indicata per le prove CPTU inoltre ad ogni metro di profondità viene sospesa l'infissione del piezocono e dopo aver generato vibrazioni artificiali vengono registrati i relativi segnali sismici.</p>
<b>PROVE SISMICHE</b>			
2	21/09/2024	HVSR	<p>Il metodo HVSR si basa sull'analisi del rapporto spettrale tra le componenti orizzontale (H) e verticale (V) del rumore sismico registrato in un sito</p>

L'ubicazione delle indagini è riportata in tavola 2 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.

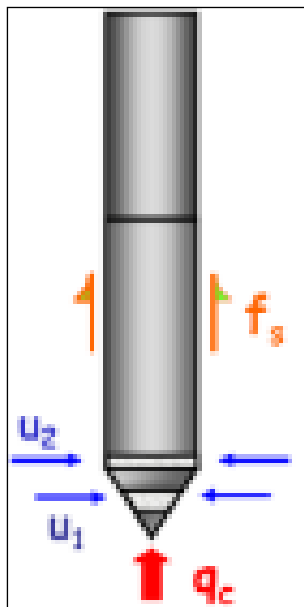


Figura 8-1 – Schema punta CPTU



Figura 8-2 – Penetrometro TG63-200

Nella tabella seguente si riportano le caratteristiche del penetrometro utilizzato.

**Tabella 8.2 – Caratteristiche tecniche strumentazione penetrometrica**

Pesi e dimensioni		
H (mm)		1520
L (mm)		2450
P (mm)		1120
Peso (kg)		1140
Dati tecnici		
Motore	Tipo	Diesel 2 cil.
	Potenza	18 (13.5) - 3600
	Raffreddamento	Acqua
Traslazione	Cingolato a trasmissione idrostatica	Cingolato Gommato
	Velocità di traslazione (km/h)	0 ÷ 2
	Pendenza Max %	25
Pompa Idraulica	Numero di Pompe	2
	Max. pressione operativa (bar)	315
Stabilizzatori	Numero	3
	Tipo	Idraulico

Caratteristiche tecnico-strumentali prova dinamica	
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
Ancoraggio	
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 01.

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

N	litologia	M (kg/cm <sup>2</sup> )	E <sub>s</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	G <sub>0</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Su (kg/cm <sup>2</sup> )	Dr (%)	φ (°)	Y' (t/m <sup>3</sup> )
Da - 0,00 a - 1,60 metri dal p.c.								
1	Sabbia limosa e limo sabbioso intervallato da livelli molto densi	204	194	253	-	49,1	38,7	1,75
Da - 1,60 a - 14,70 metri dal p.c.								
2	Argille e argille limose intervallate da lenti da millimetriche a centimetriche di materiale organico (argilla organica e/o torba) e limi debolmente sabbiosi	63	377	300	0,49	-	-	1,66
Da - 14,70 a - 18,10 metri dal p.c.								
3	Sabbia limosa e limo sabbioso	626	609	769	-	37,6	36,2	1,81
Da - 18,10 a - 20,00 metri dal p.c.								
4	Argille e argille limose	217	648	708	1,33	-	-	1,80

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

N	litologia	M (kg/cm <sup>2</sup> )	E <sub>s</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	G <sub>0</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Su (kg/cm <sup>2</sup> )	Dr (%)	φ (°)	Y' (t/m <sup>3</sup> )
Da - 0,00 a - 1,00 metri dal p.c.								
1	Terreno superficiale molto denso e di natura coesiva	135	198	188	0,86	-	-	1,73
Da - 1,00 a - 4,80 metri dal p.c.								
2	Argille e argille limose intervallate da lenti millimetriche di materiale organico (argilla organica e/o torba)	17	-	148	0,19	-	-	1,55
Da - 4,80 a - 7,30 metri dal p.c.								
3	Suolo organico (argille organiche e/o torbe)	8	239	161	0,15	-	-	1,53
Da - 7,30 a - 20,00 metri dal p.c.								
4	Argille e argille limose intervallate da lenti da millimetriche a centimetriche di materiale organico (argilla organica e/o torba)	154	592	588	0,97	-	-	1,80



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

N	litologia	M (kg/cm <sup>2</sup> )	E <sub>s</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	G <sub>0</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Su (kg/cm <sup>2</sup> )	Dr (%)	φ (°)	Y' (t/m <sup>3</sup> )
Da – 0,00 a – 1,30 metri dal p.c.								
1	Sabbia limosa e limo sabbioso intervallato da livelli molto densi	180	117	223	-	47,1	38,4	1,73
Da – 1,30 a – 8,30 metri dal p.c.								
2	Argille e argille limose intervallate da lenti da millimetriche a centimetriche di materiale organico (argilla organica e/o torba)	42	218	216	0,33	-	-	1,62
Da – 8,30 a – 11,00 metri dal p.c.								
3	Sabbia e sabbia limosa	586	488	604	-	45,6	38,0	1,77
Da – 11,00 a – 20,00 metri dal p.c.								
4	Argille e argille limose intervallate da lenti da millimetriche a centimetriche di materiale organico (argilla organica e/o torba)	113	729	594	0,84	-	-	1,79

**Tabella 8.6 – Prova penetrometrica SCPTU 01 – 30,0 m**

N	litologia	M (kg/cm <sup>2</sup> )	E <sub>s</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	G <sub>0</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Su (kg/cm <sup>2</sup> )	Dr (%)	φ (°)	Y' (t/m <sup>3</sup> )
Da – 0,00 a – 1,00 metri dal p.c.								
1	Terreno superficiale molto denso e di natura granulare	165	217	194	-	52,9	39,5	1,72
Da – 1,00 a – 22,10 metri dal p.c.								
2	Argille e argille limose intervallate da lenti di natura prevalentemente limose	86	273	393	0,63	-	-	1,72
Da – 22,10 a – 24,30 metri dal p.c.								
3	Sabbia e sabbia limosa	856	710	889	-	39,7	36,7	1,80
Da – 24,30 a – 28,00 metri dal p.c.								
4	Argille e argille limose intervallate da lenti da millimetriche a centimetriche limoso sabbiose	163	734	764	1,26	-	-	1,78
Da – 28,00 a – 30,00 metri dal p.c.								
5	Sabbia limosa e limo sabbioso passante a materiale limoso e debolmente argilloso	845	1058	1252	-	40,2	36,9	1,90

## 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 (v. All.02) è consistita nella registrazione continua dei microtremori. L'acquisizione è avvenuta a 300 Hz. Per l'indagine si è utilizzato un sismografo triassiale prodotto 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 Stazione RTN, 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

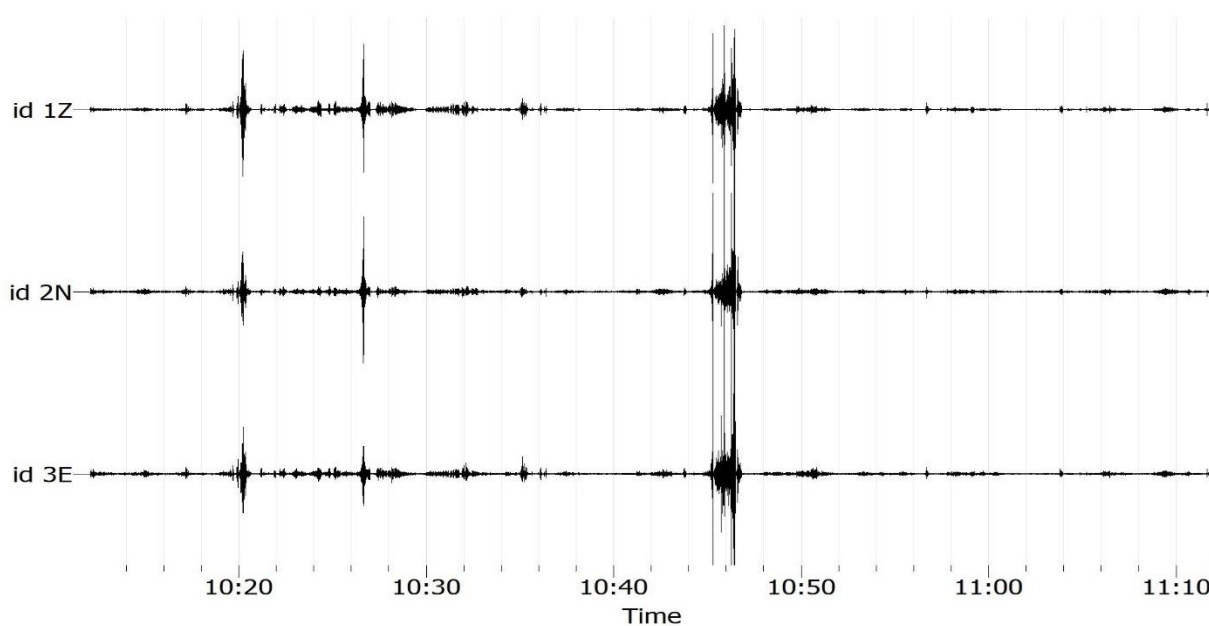


Figura 8-4 – Tracciati sismici prova HVSR 1

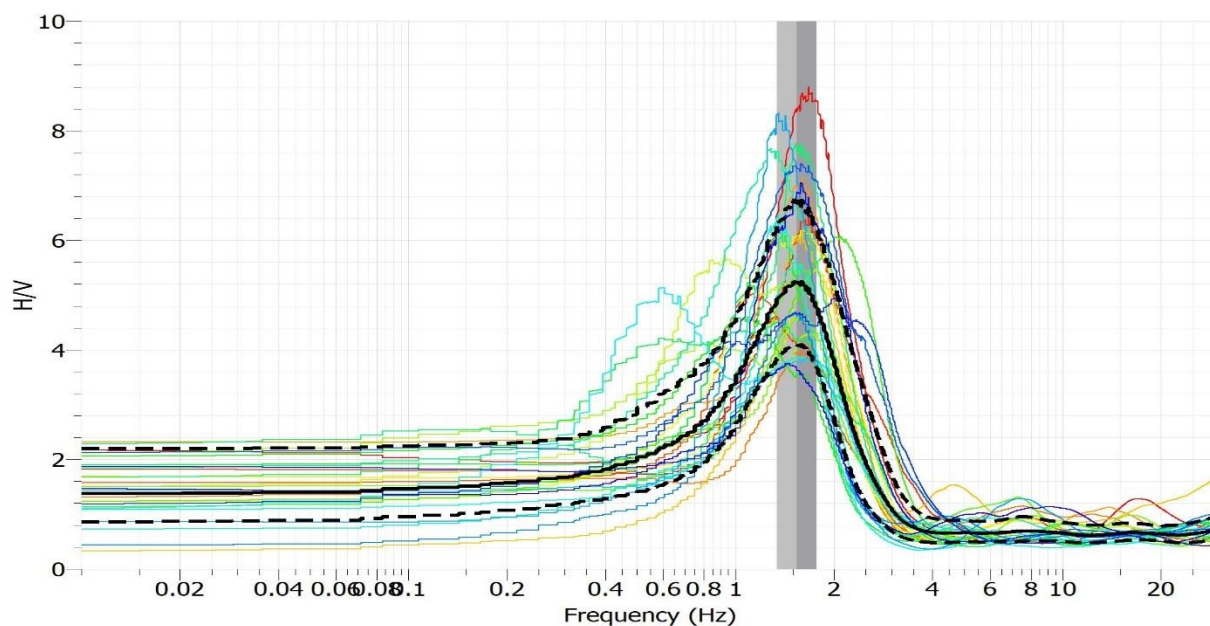


Figura 8-5 – Curva del rapporto H/V prova HVSR 1

Grafico di Stazionarietà

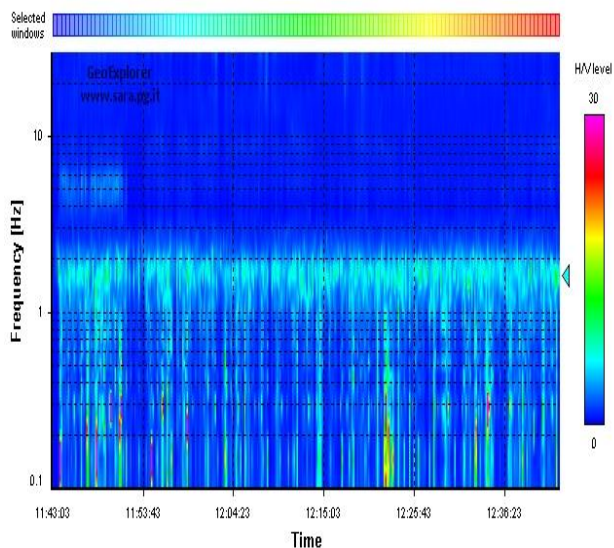


Grafico di Direzionalità

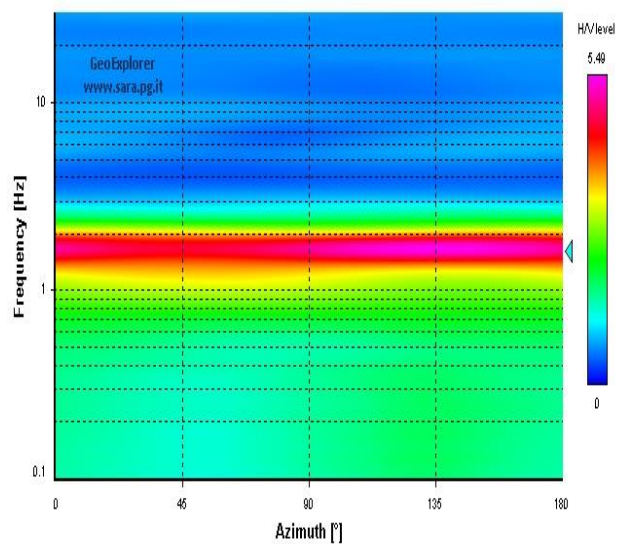


Figura 8-6 – Grafici di stazionarietà e direzionalità prova HVSR 1



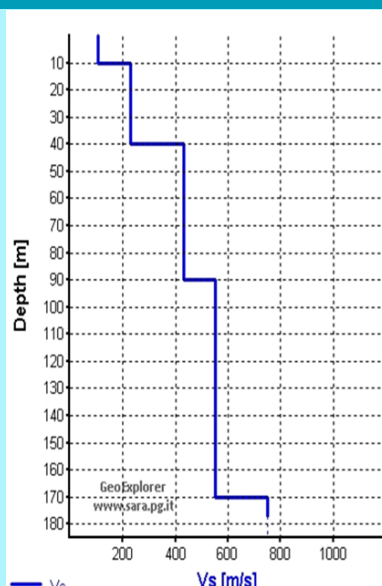
Tabella 8.7 – Criteri di ammissibilità curva HV

Criteri	Picco f0
Criterio 1	OK
Criterio 2	OK
Criterio 3	OK
Criterio 4	OK
Criterio 5	OK
Criterio 6	OK
Criterio 7	OK
Parametri	Valore
Finestra temporale	20 s
Frequenza massima	20 Hz
Numero di Campioni	40
f0	1,54 (1,33; 1,77)
A0	5,21 (4,08; 6,68)

Per la prova HVSR 1 si è individuato un picco alla frequenza f0 di 1,54 Hz e A0 5,21.

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

Tabella 8.8 – Analisi del profilo delle velocità delle onde sismiche e  $V_{Seq}$

Strato	Profondità (m)	Spessore (m)	Vs (m/s)	Profilo verticale di velocità delle Vs
Strato1	10,0	-10,0	105	
Strato 2	30,0	-40,0	230	
Strato 3	50,0	-90,0	430	
Strato 4	80,0	-170,0	550	
Strato 5	/	∞	750	
V <sub>Seq</sub>	177 m/s			

➤ Prova HVSR 2

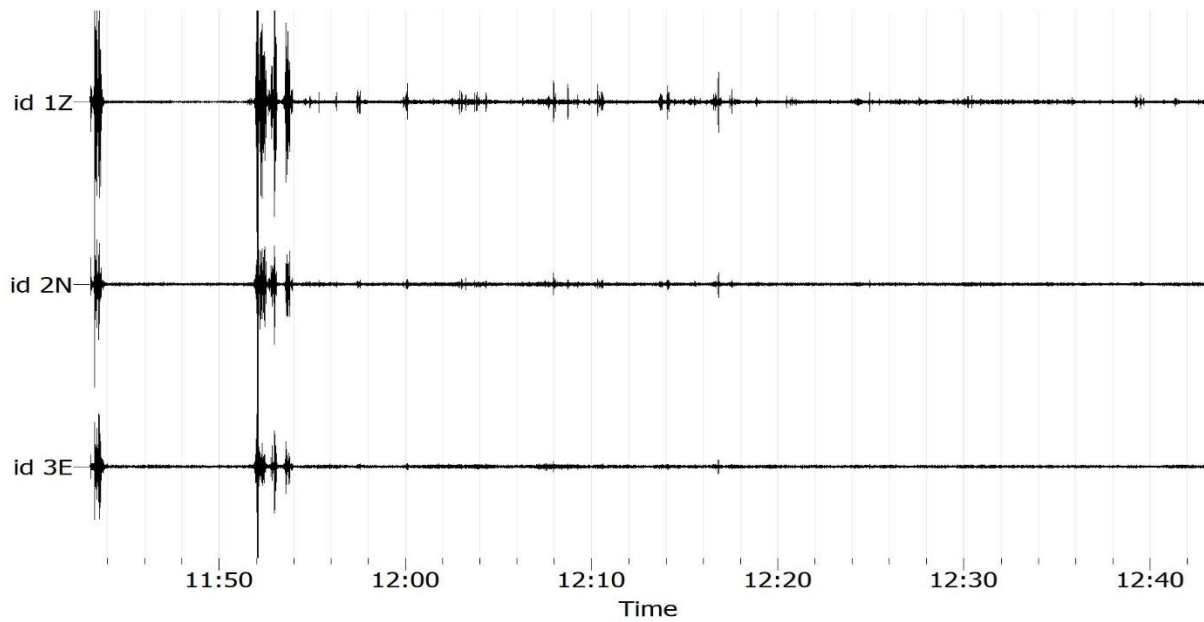


Figura 8-7 – Tracciati sismici prova HVSR 2

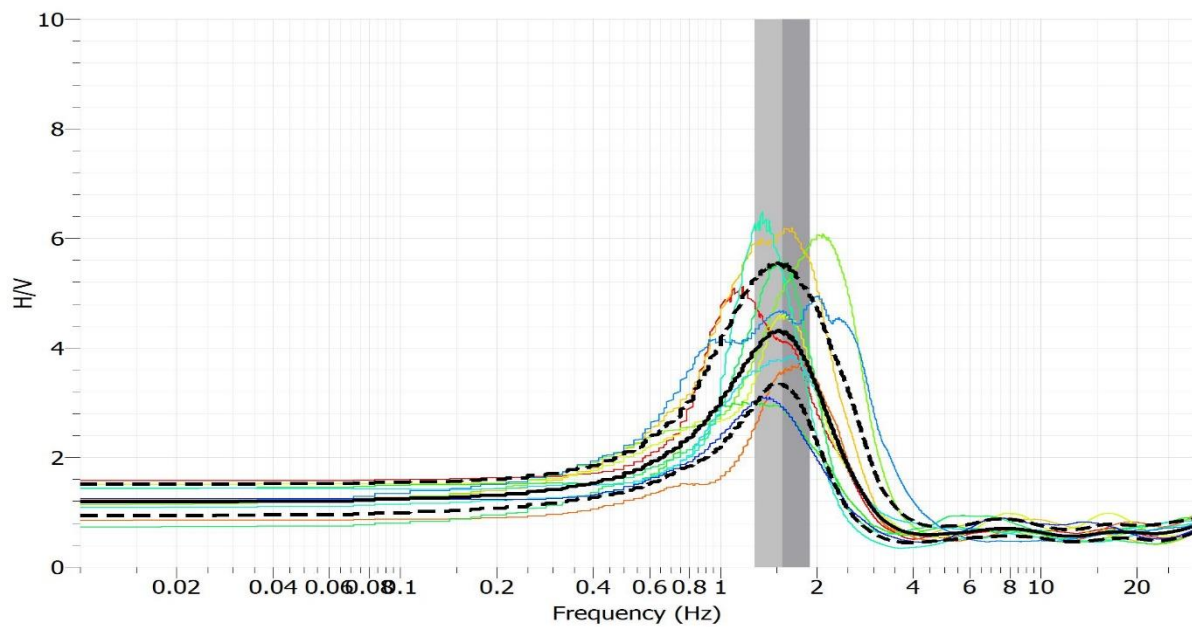


Figura 8-8 – Curva del rapporto H/V prova HVSR 2

Grafico di Stazionarietà

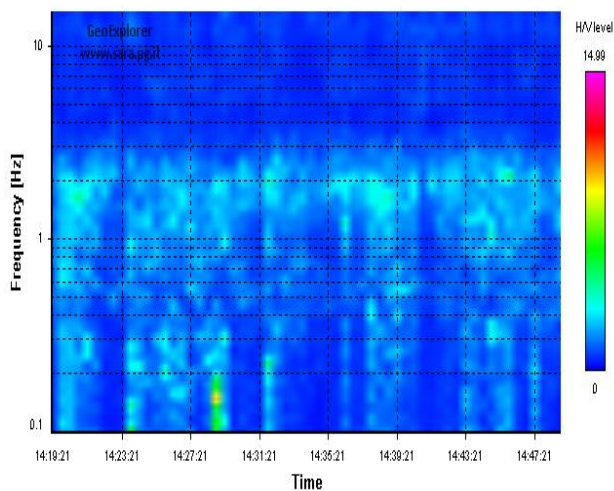


Grafico di Direzionalità

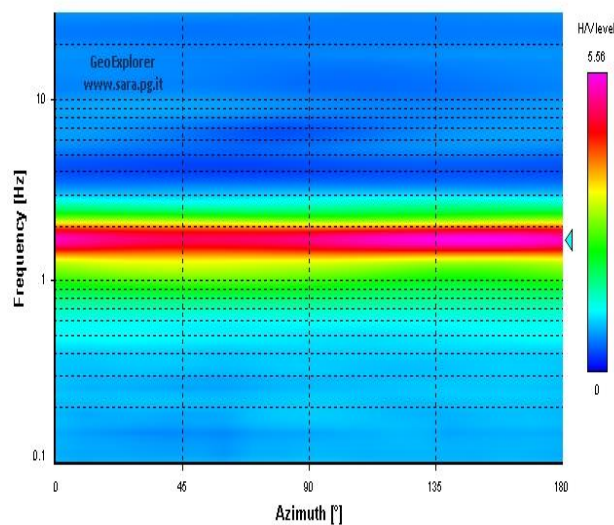


Figura 8-9 – Grafici di stazionarietà e direzionalità prova HVSR 1

Tabella 8.9 – Criteri di ammissibilità curva HV

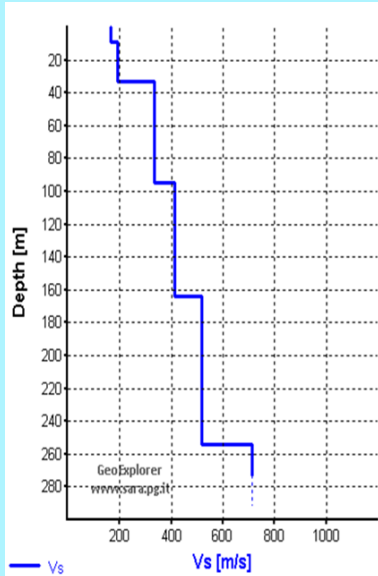
Criteri	Picco f0
Criterio 1	OK
Criterio 2	OK
Criterio 3	OK
Criterio 4	OK
Criterio 5	OK
Criterio 6	OK
Criterio 7	OK
Parametri	Valore
Finestra temporale	20 s
Frequenza massima	20 Hz
Numero di Campioni	40
f0	1,56 (1,28; 1,90)
A0	4,29 (3,33; 5,51)

Per la prova HVSR 2 si è individuato un picco alla frequenza f0 di 1,56 Hz e A0 4,29.

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



Tabella 8.10 – Analisi del profilo delle velocità delle onde sismiche e  $V_{Seq}$

Strato	Profondità (m)	Spessore (m)	Vs (m/s)	<div>Profilo verticale di velocità delle Vs</div> 
Strato1	10,0	-10,0	115	
Strato 2	30,0	-40,0	240	
Strato 3	50,0	-90,0	430	
Strato 4	90,0	-180,0	550	
Strato 5	/	∞	700	
V <sub>Seq</sub>	164 m/s			

## 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.**

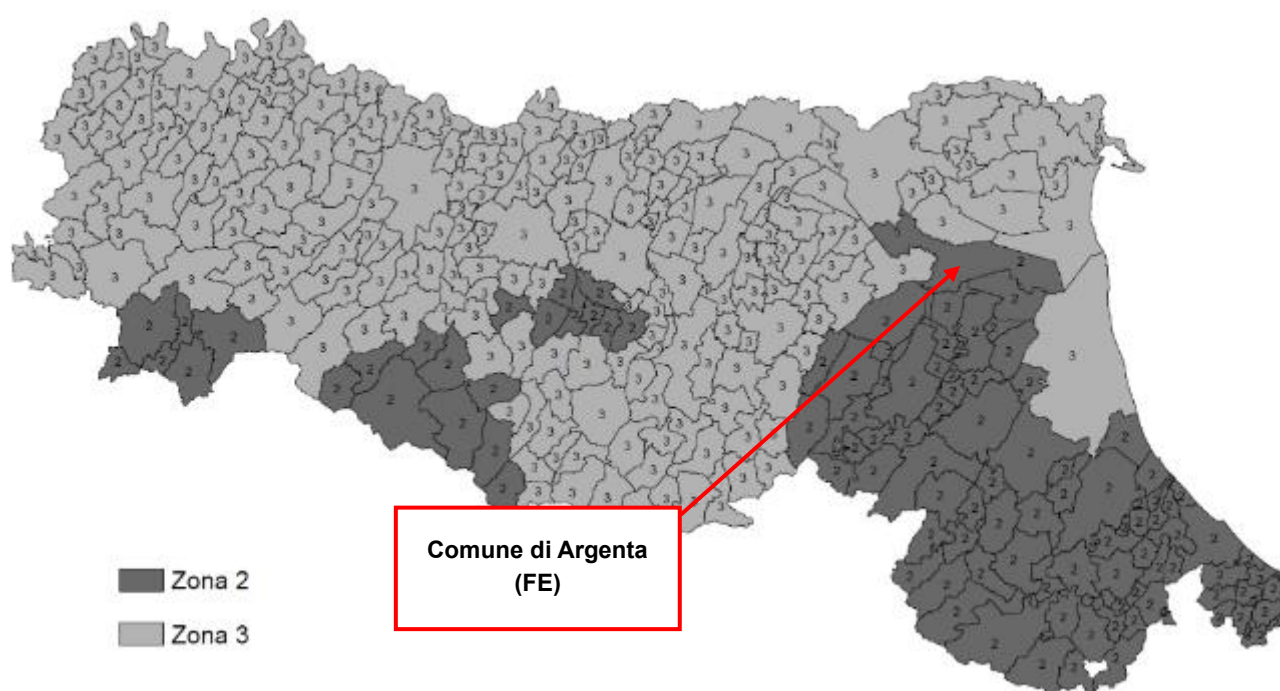


Figura 9-1 - Classificazione Sismica dei comuni dell'Emilia-Romagna, DGR n. 1164 del 23 luglio 2018

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. 11,865000 - Lat. 44,638000**

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

- $a_g$ : accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F_o$ : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_c^*$ : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

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



Tabella 9.1 – Parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$  di cui al D.M. 17/01/2018 elaborati con Spettri-NTC ver. 1.0.3

Impianto Agrivoltaico - Argenta

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

☒ Ricerca per coordinate

LONGITUDINE

LATITUDINE

☐ Ricerca per comune

REGIONE

PROVINCIA

COMUNE

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

$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_c^*$ [s]
30	0,044	2,489	0,261
50	0,056	2,480	0,274
72	0,066	2,471	0,283
101	0,079	2,541	0,270
140	0,093	2,565	0,270
201	0,109	2,580	0,272
475	0,156	2,587	0,274
975	0,208	2,526	0,281
2475	0,296	2,440	0,295

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  $a_g = 0,156$  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.*

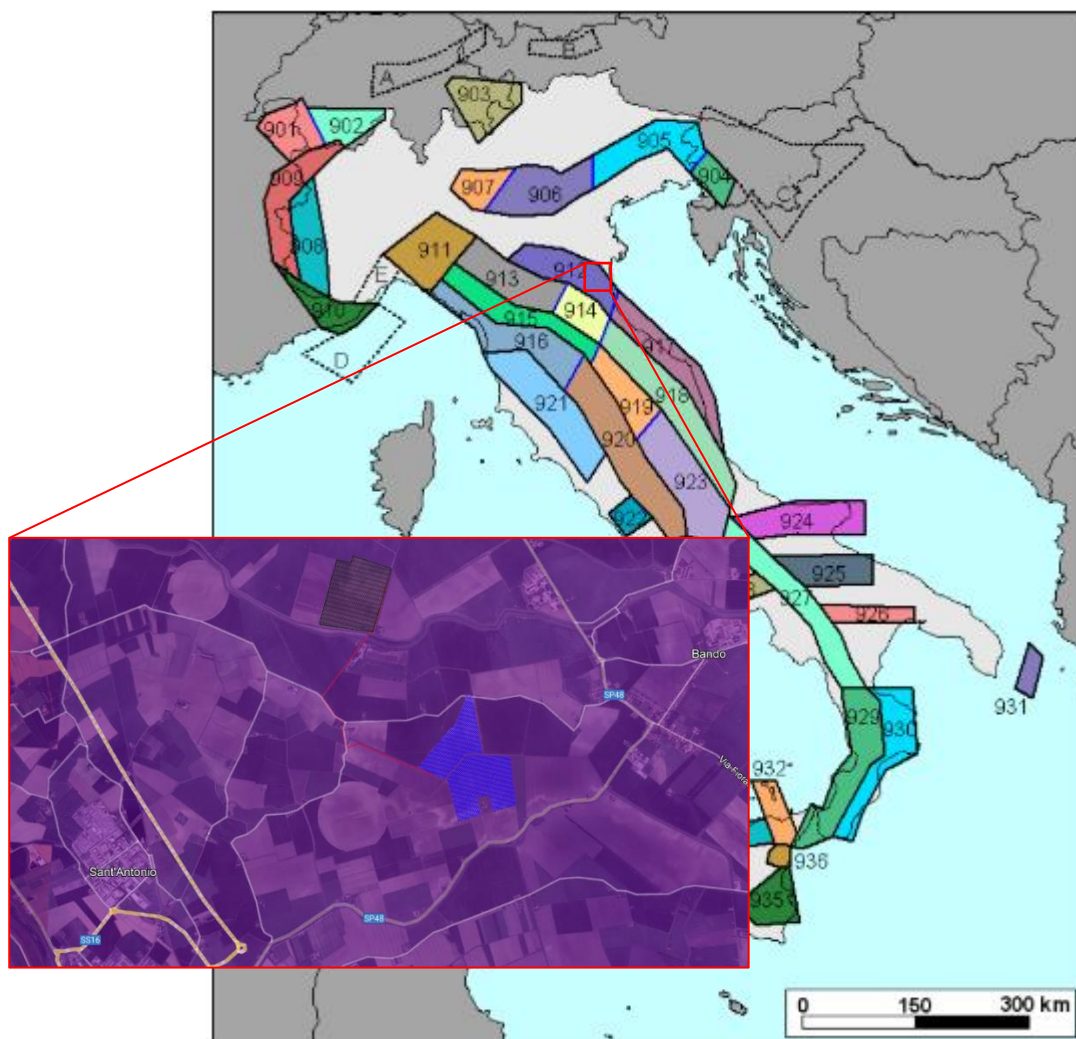


Figura 9-2 - Zonizzazione sismogenetica ZS9 - Gruppo di lavoro per la redazione di pericolosità sismica (OPCM n. 3274) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.

Come si evince dalla figura, l'area in esame rientra interamente nella zona sismogenetica 912 che coincide con l'area geologica denominata "Dorsale Ferrarese". I caratteri che contraddistinguono la zona 912 sono riportati nella seguente Fig. 9-3

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

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  $V_{s30}$ , potendo classificare il sottosuolo con riferimento alla Tabella 3.2.II delle NTC18, di seguito riportata.

Tabella 9.2 – Categorie di sottosuolo secondo il D.M. 17/01/2018 (Tabella 3.2.II)

Categoria	Descrizione	VS,30 (m/s)
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi 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.</i>	> 800
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, 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.</i>	360 ÷ 800
C	<i>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).</i>	180 ÷ 360
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>	100 ÷ 180
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m</i>	---

Per l'area di indagine sono state condotte n.2 prove HVSR e n.1 prova SCPTU, distribuite sulla superficie del futuro impianto agrivoltaico. Grazie a tali prove è stato possibile definire la categoria di suolo a cui appartiene il territorio in esame:

Dall'elaborazione dei dati registrati è emersa una  $V_{s,30}$  compresa tra **148,54 m/s (SCPTU 01 - v. All.03)** e **177 m/s (HVSR\_1)** e di conseguenza il suolo risulta appartenente alla Categoria D: *"Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s"*.

### 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 9.3 – Parametri per la determinazione dei coefficienti sismici.

Parametro	Valore	Riferimento D.M. 17/01/18	Osservazioni / Considerazioni
VN Vita nominale	50 anni	Tabella 2.4.I “Costruzioni con livelli di prestazioni elevati”	La vita nominale (VN) di un’opera strutturale è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata.
Classe d’uso	Classe II	Punto 2.4.2	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l’ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l’ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d’uso III o IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
CU Coefficiente d’uso	1,0	Tabella 2.4.II per la Classe II	Il valore del coefficiente d’uso CU è definito al variare della classe d’uso.
VR Periodo di riferimento per l’azione sismica	50 anni	Punto 2.4.3	Le azioni sismiche sulle costruzioni vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento VR che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale di progetto VN per il coefficiente d’uso CU: $VR = VN \times CU$
Categoria del sottosuolo	Impianto Agrivoltaico Categoria C	Tabella 3.2.II	Si veda paragrafo precedente
Categoria topografica	Categoria T1	Tabella 3.2.III Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$	è funzione delle caratteristiche della superficie topografica

Al fine di determinare i parametri e coefficienti sismici, di seguito elencati, è stato utilizzato un software dedicato distribuito da Geostru Software ([http://www.geostru.com/geoapp/Parametri\\_Sismici.aspx](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]	$F_o$	$T_c^*$ [s]
Operatività (SLO)	30	0.044	2.490	0.261
Danno (SLD)	50	0.056	2.478	0.274
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.156	2.586	0.274
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.208	2.526	0.281
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

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

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

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

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

## Coefficienti sismici



Tipo

Stabilità dei pendii e fondazioni

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



H (m)

1

us (m)

0.1



Cat. Sottosuolo

D



Cat. Topografica

T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,80	1,80	1,79	1,61
CC Coeff. funz categoria	2,45	2,39	2,39	2,36
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

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

0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.016	0.020	0.067	0.094
kv	0.008	0.010	0.034	0.047
Amax [m/s²]	0.772	0.982	2.742	3.291
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:**

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

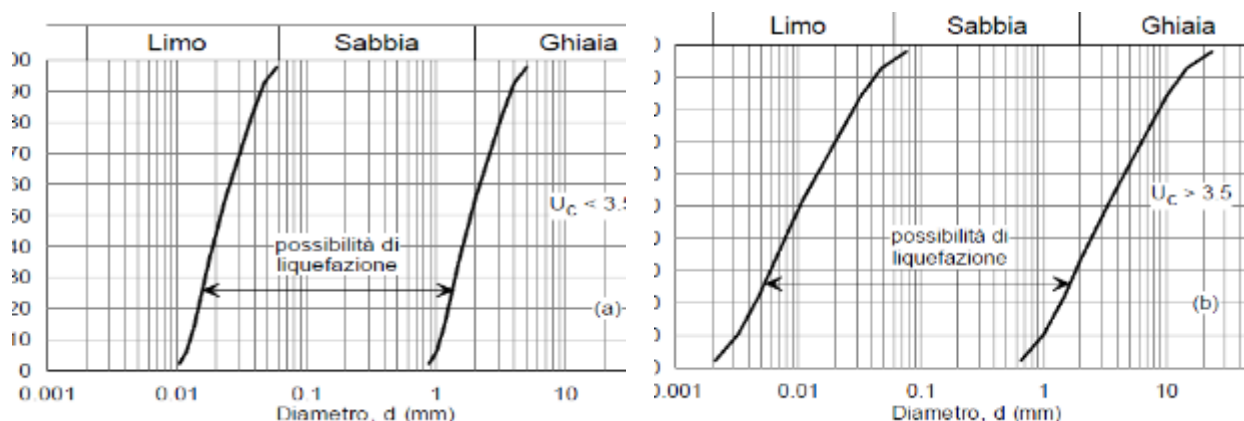


Figura 10-1 - Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione (tratto Figura 7.11.1 (a) e (b) del D.M. 17/01/2018)

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 soddisfi almeno una delle seguenti condizioni:
  - contenuto di argilla superiore al 20% con indice di plasticità  $> 10$ ;
  - contenuto di limo superiore al 35% e resistenza  $N1(60) > 20$ ;

- 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:

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

Dove:

- **CRR (Cyclic Resistange Ratio):** rappresenta la capacità di resistenza del terreno alla liquefazione; è il rapporto di resistenza ciclica, ovvero la resistenza normalizzata rispetto alla tensione verticale efficace iniziale  $\sigma'_{v0}$  per terremoto di magnitudo  $M=7,5$  e pressione efficace di riferimento  $\sigma'_v = 1 \text{ atm}$ ;
- $K_\sigma$  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 Vs.



### 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 in sito compresi tra 148,5 e 177,0 m/s, il corrispondente valore del F.A. (fattore di amplificazione) applicato sarà pari a 1,7.

Per quanto riguarda l'amplificazione topografica, sulla base delle indicazioni contenute nella DGR 564/2021 Allegato 2 punto A2.2 "Effetti della topografia", questa può essere trascurata per pendii con inclinazione media inferiore a 15°.

Quindi il valore di accelerazione massima sarà:

$$\text{Impianto Agrivoltaico } a_{\max} = 1,7 \cdot 0,156 = 0,2652g = 2,60 \text{ m/s}^2$$

#### ➤ Programma utilizzato

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

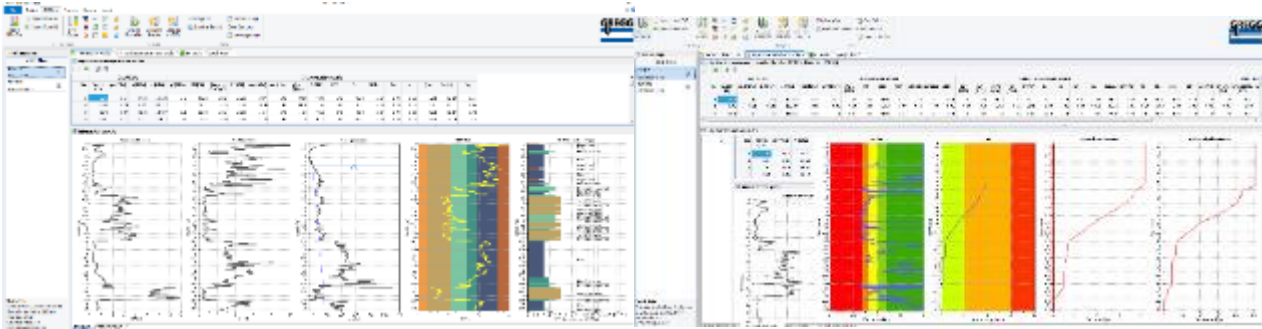


Figura 10-2 - Esempi di schermate tratta dal software Cliq

### ➤ 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):

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

Per poter valutare la potenza degli effetti, la DGR 564/2021 propone la scala riportata nella figura seguente (Sonmez, 2003):

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

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. 04).

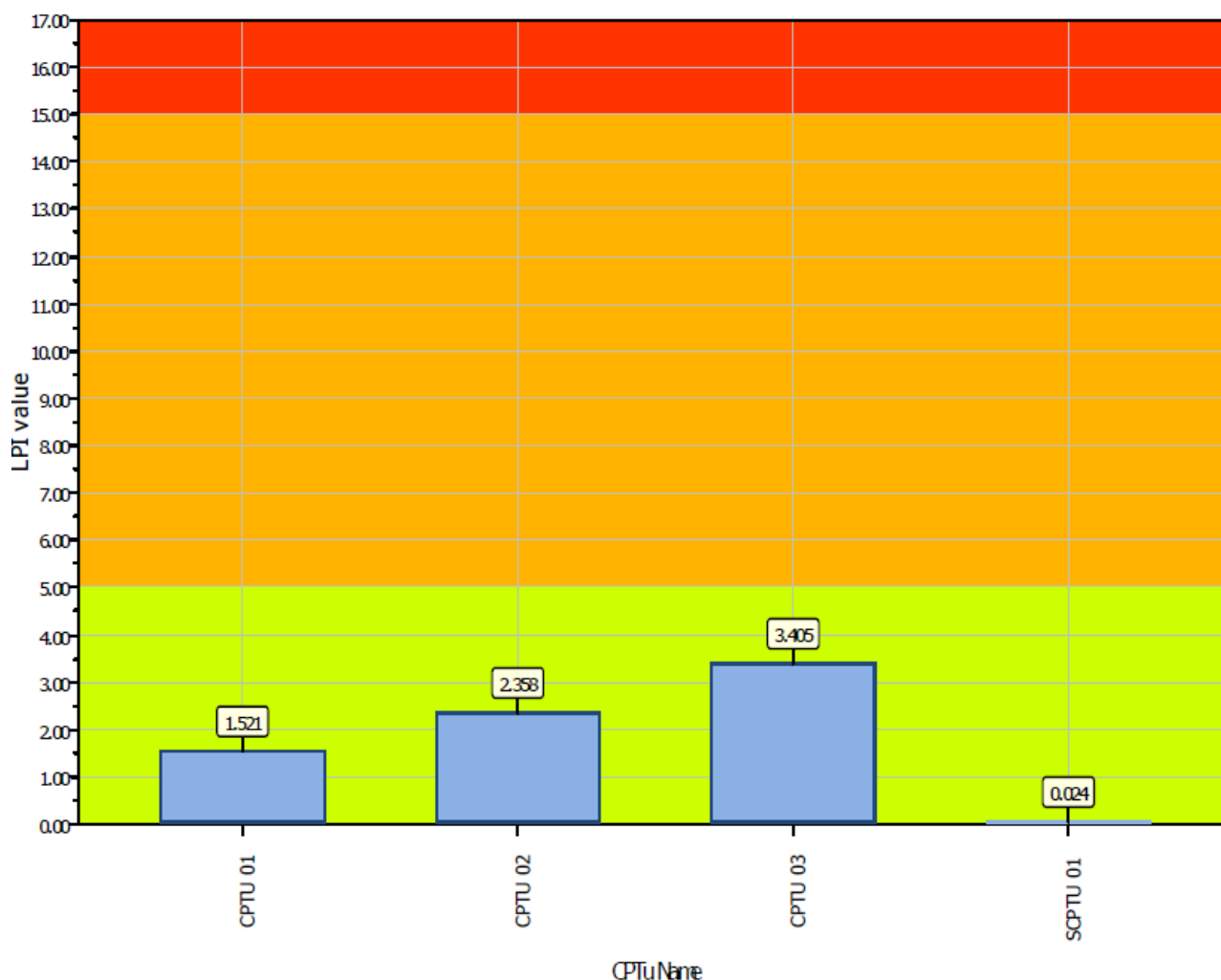


Figura 10-4 - Indice del potenziale di Liquefazione calcolato

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 del settore sotteso alla prova CPTU03 che rileva un potenziale moderato ( $2 < IL < 5$ ).

## 11. MODELLO GEOLOGICO E PRIME CONSIDERAZIONI GEOTECNICHE

### 11.1 PREMESSA

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

A tal proposito, nel paragrafo successivo si riportano i caratteri litostratigrafici di dettaglio dell'area ove è in progetto la realizzazione dell'impianto agrivoltaico. In funzione all'estensione dell'impianto Agrivoltaico, ad integrazione di quanto descritto di seguito, al fine di facilitare l'interpretazione dei caratteri stratigrafici, è stata tracciata una sezione stratigrafica orientativa.

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

### 11.2 MODELLO STRATIGRAFICO

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

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

- **Primo livello (Orizzonte 1):** coltre superficiale, costituente il terreno agrario vegetale, di natura limoso sabbiosa a tratti argillosa a cui seguono i depositi prevalentemente coesivi del successivo livello di terreno. Questo primo livello presenta spessori compresi tra 1,0 e 1,80 m da p.c. e risulta esteso sull'intero settore di indagine.
- **Secondo livello:** livello di terreno a prevalente carattere coesivo, caratterizzante la maggior parte del volume significativo di terreno del settore di studio. Dal punto di vista delle caratteristiche geotecniche è possibile suddividere tale livello in due separati orizzonti così descritti:
  - **Orizzonte 2:** orizzonte principale, che si rileva dalla base del primo livello di terreno sino a profondità comprese tra -20,0 e -28,0 m da p.c., costituito da argille e argille limose intervallate da lenti e strati di argille organiche e/o torbe con scarse proprietà geotecniche.
  - **Orizzonte 3:** orizzonte rilevato in CPTU1, CPTU3 e SCPTU1, costituito da sabbie limose e limi sabbiose, con spessori compresi tra 2,0 e 4,0 m da p.c. Tale orizzonte si trova a quote variabili, comprese tra -8,30 m da p.c. in CPTU3 e -22,10 m da p.c. in SCPTU.
- **Terzo livello:** livello di terreno rinvenuto esclusivamente in SCPTU1, costituito da sabbie limose debolmente argillose, livello di spessore modesto che si estende da circa -28 a -30 m da p.c. – non considerato ai fini della definizione del modello geotecnico indicativo



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

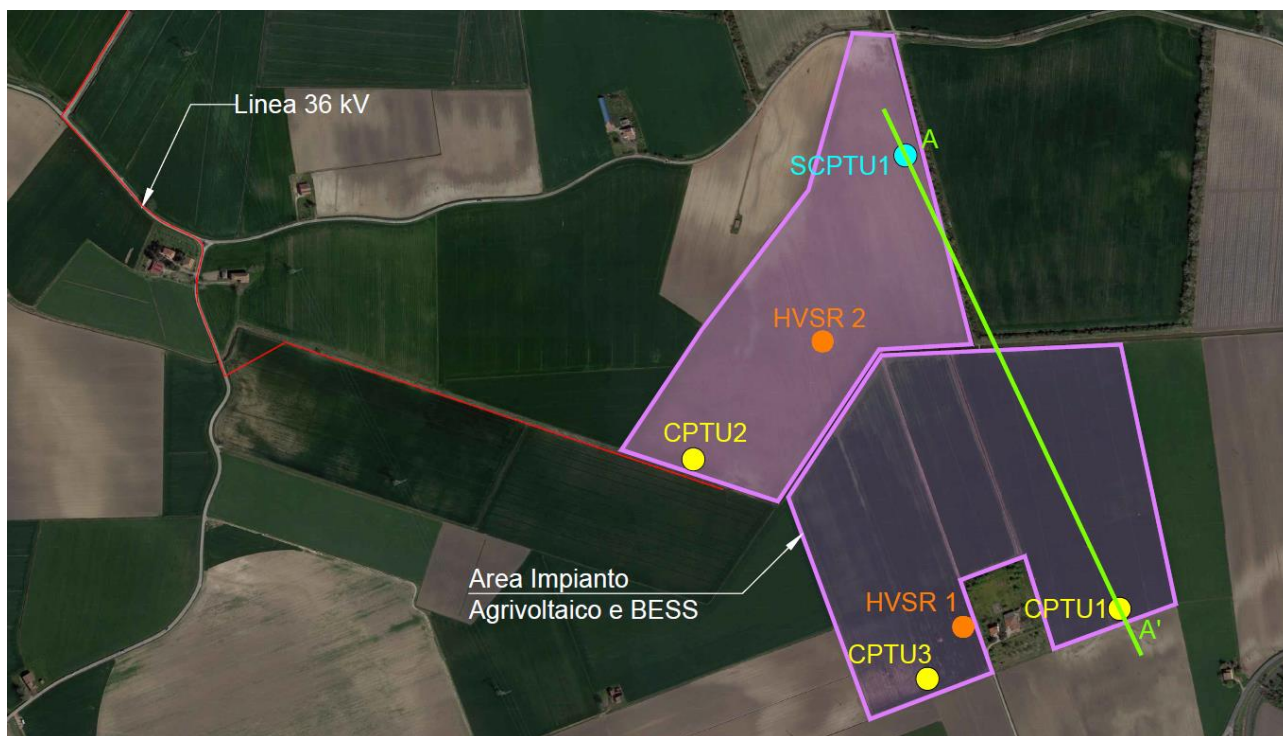


Figura 11-1 – Stralcio tracce sezioni stratigrafiche (v. Tav. 2)

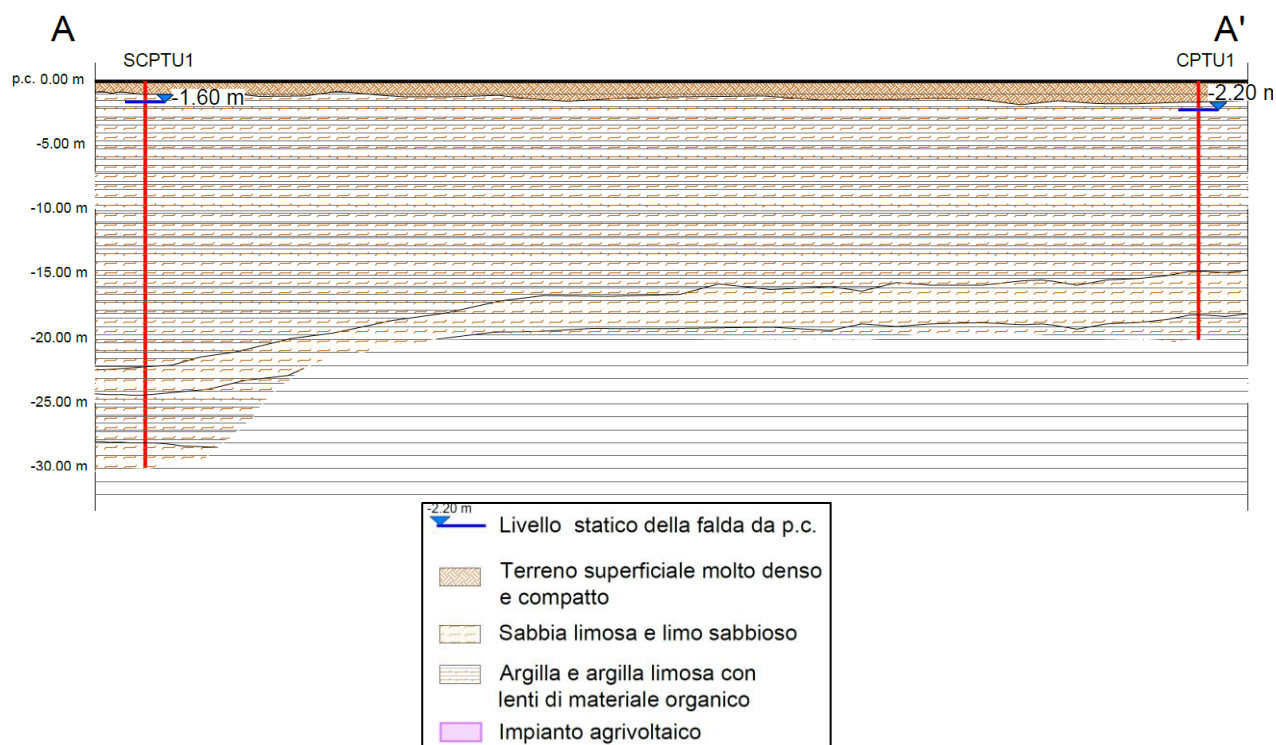


Figura 11-2 – Stralcio sezione stratigrafica (v. Tav. 2)

### 11.3 CARATTERI IDROGEOLOGICI

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

Tabella 11.1 – Livello falda

ID	Livello statico della falda da p.c. (m)
CPTU 1	-2,20
CPTU 2	-2,20
CPTU 3	-1,70
SCPTU 01	-1,60

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 disomogeneità, seppure con differenze piuttosto limitate e con valori medi che si attestano intorno ai -1,90 metri da p.c.

I livelli di soggiacenza inferiori sono rilevati in corrispondenza delle prove CPTU3 e SCPTU1 le quali, confrontando la cartografia geomorfologica locale, sembrerebbero essere ubicate in prossimità di paleoalvei di ubicazione sicura/incerta.

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.

### 11.4 CARATTERI GEOTECNICI

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

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

#### 11.4.1 IMPIANTO AGRIVOLTAICO

**Orizzonte 1:** coltre superficiale, costituente il terreno agrario vegetale, di natura limoso sabbiosa a tratti argillosa a cui seguono i depositi prevalentemente coesivi del successivo livello di terreno. Questo primo livello presenta spessori compresi tra 1,0 e 1,80 m da p.c. e risulta esteso sull'intero settore di indagine.

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 qualità geotecniche medie, in particolare con angoli di attrito tipici di sabbie a bassa percentuale di materiali fini, sia nei termini medi sia nei

termini minimi. Unica prova penetrometrica che rileva la presenza di una modesta presenza di materiali coesivi, aventi comunque caratteri geotecnici medio-buoni, con una coesione non drenata piuttosto elevata.

Tabella 11.2 – Caratteri geotecnici Orizzonte 1

Parametro	U.M.	Media	Minimo
Modulo Edometrico M	Kg/cm <sup>2</sup>	171	135
Modulo elastico - Young Es	Kg/cm <sup>2</sup>	182	117
Modulo di taglio massimo Go	Kg/cm <sup>2</sup>	215	188
Coesione non drenata Su	Kg/cm <sup>2</sup>	0,86	
Densità relativa Dr *	%	49,7	47
Angolo di attrito φ *	°	38,8	38
Peso di Volume γ	t/m <sup>3</sup>	1,73	2,0

**Orizzonte 2:** costituito da argille e argille limose intervallate da lenti e strati di argille organiche e/o 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 presenza di alte percentuali di materiali organici. Ciò nonostante, in media, presenta valori di Cu discreti, come mostrato alla tabella successiva.

Tabella 11.3 – Caratteri geotecnici Orizzonte 2

Parametro	U.M.	Media	Minimo
Modulo Edometrico M	Kg/cm <sup>2</sup>	107	17
Modulo elastico - Young Es	Kg/cm <sup>2</sup>	510	218
Modulo di taglio massimo Go	Kg/cm <sup>2</sup>	464	148
Coesione non drenata Su	Kg/cm <sup>2</sup>	0,76	0,19
Densità relativa Dr *	%	-	-
Angolo di attrito φ *	°	-	-
Peso di Volume γ	t/m <sup>3</sup>	1,72	1,55

**Orizzonte 3:** costituito da sabbie limose e limi sabbiose, con spessori compresi tra 2,0 e 4,0 m da p.c.

Orizzonte di terreno che presenta buone caratteristiche geotecniche, in particolare nei termini di angolo d'attrito, sia nei valori medi sia nei valori minimi, si registrano valori decisamente elevati e caratteristici di sabbie di media dimensione, piuttosto pulite e con scarsissime percentuali di materiali coesivi e/o debolmente coesivi.

Tabella 11.4 – Caratteri geotecnici Orizzonte 3

Parametro	U.M.	Media	Minimo
Modulo Edometrico M	Kg/cm <sup>2</sup>	589	586
Modulo elastico - Young Es	Kg/cm <sup>2</sup>	602	488
Modulo di taglio massimo Go	Kg/cm <sup>2</sup>	754	604
Coesione non drenata Su	Kg/cm <sup>2</sup>	-	-
Densità relativa Dr *	%	41	38
Angolo di attrito $\phi$ *	°	37	36
Peso di Volume $\gamma$	t/m <sup>3</sup>	1,79	1,77



## 12. 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.

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 degli abitati di Bando e Argenta. 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 una piccola porzione del campo agrivoltaico, in particolare nella porzione sud, la presenza di paleoalvei certi e tracce di paleoalvei di ubicazione incerta.

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 esclusioni di alcune porzioni dell'Impianto Agrivoltaico che ricadono in porzioni di territorio classificate P3, ovvero Alluvioni frequenti; elevata probabilità d'accadimento tempo di ritorno compreso fra 50 e 100 Anni. 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 -1,90 m da p.c. con una sostanziale uniformità per l'intero settore, con livelli minimi di soggiacenza pari a -1,60 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 (Stallo arrivo produttore – Sezione a 36 kV) 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 pari a 0,156 g.

Le prove condotte in sito hanno permesso di classificare i terreni di fondazione come appartenenti alla categoria D.

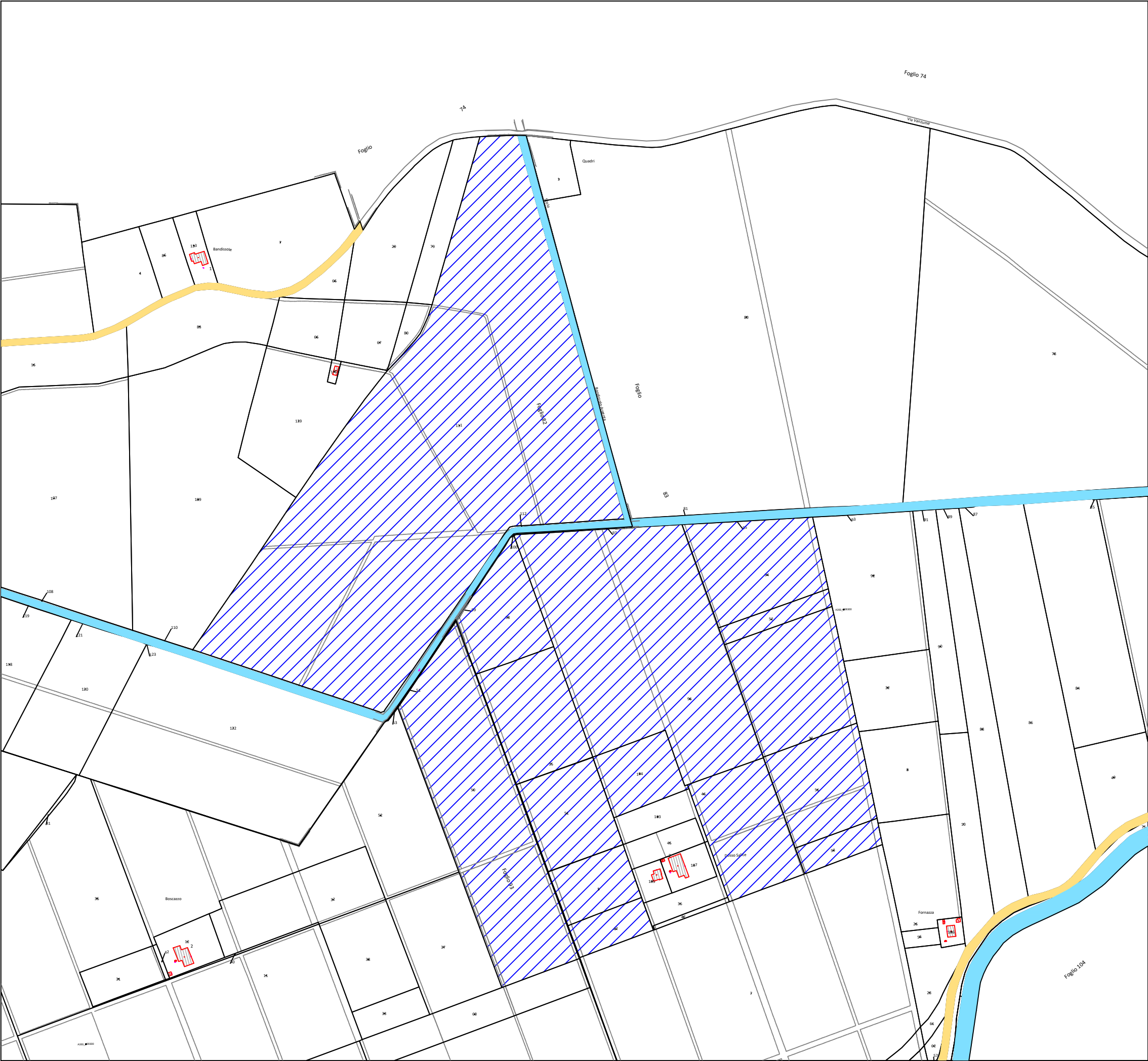
Infine, dalla verifica del potenziale di liquefazione, in corrispondenza dei punti di indagine, il sito è risultato, per la maggior parte, avente un potenziale di liquefazione basso ad esclusione della prova CPTU 03 che mostra potenziale di liquefazione moderato.

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 al tetto dei livelli coesivi (terreni agrari), sia in lenti e strati da centimetrici a metrici intervallati ai materiali coesivi che caratterizzato la maggior parte del volume caratteristico dell'area di studio. Come si è già detto, ciò è rilevato per l'intera area di studio, ed esclusivamente nella prova SCPTU è stato rilevato un livello a maggiore carattere granulare alla base dei materiali coesivi, a profondità comprese tra 28,0 e 30,0 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.

# TAVOLE




LEGENDA

 Aree opere progettuali

**PROVINCIA DI FERRARA**  
**Comune di Argenta**  
• Foglio n. 82 Mappale n. 111  
• Foglio n. 83 Mappali n. 5, 35, 37, 42, 46, 51, 52, 53, 56, 94, 96, 98 e 104  
• Foglio n. 93 Mappale n. 50

Proponente:



PROGETTO DEFINITIVO

Impianto Agrivoltaico Avanzato "Bandissolo" da 24.979,5 kWp abbinato a un sistema di accumulo elettrochimico da 12.000 kW, opere connesse ed infrastrutture indispensabili

Comuni di Argenta e Portomaggiore (FE)

Progettista  
Dott.ssa Geol. Linda Collina

PLANIMETRIA SU CARTOGRAFIA CATASTALE

CODICE ELABORATO  
Tavola 1

N.	Data	Descrizione revisione	BY	CHD	APP
00	Nov. 2024	EMESSO PER ITER AUTORIZZATIVO	xx	LD	AB

SCALA  
1:5.000

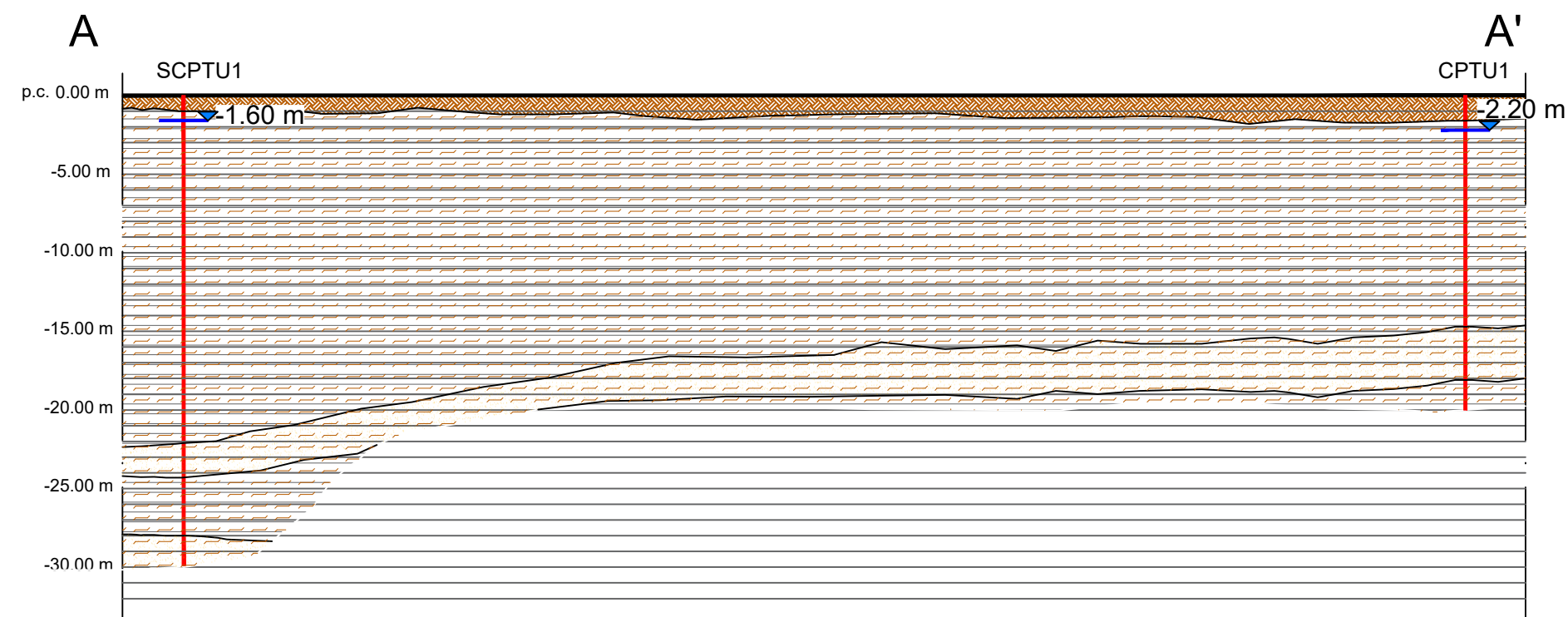
Il presente documento è di proprietà del gruppo Exus, e il destinatario dichiara di averlo ricevuto in maniera conforme alle leggi vigenti. Qualsiasi utilizzo, riproduzione o divulgazione del contenuto richiede una specifica autorizzazione da parte del gruppo Exus.



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



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



LEGENDA

- Prove penetrometriche CPTU
- Prove penetrometriche SCPTU
- Prove HVSU
- Tracce sezioni litostratigrafiche
- ▲ -2.20 m Livello statico della falda da p.c.
- ▨ Terreno superficiale molto denso e compatto
- ▨ Sabbia limosa e limo sabbioso
- ▨ Argilla e argilla limosa con lenti di materiale organico
- ▭ Impianto agrivoltaico



Proponente:



PROGETTO DEFINITIVO

Impianto Agrivoltaico Avanzato "Bandissolo"  
da 24.979,5 kWp abbinato a un sistema  
di accumulo elettrochimico  
da 12.000 kW, opere connesse  
ed infrastrutture indispensabili

Comuni di Argenta e Portomaggiore (FE)

Progettista  
Dott.ssa Geol. Linda Collina

PLANIMETRIA CON UBICAZIONE  
DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE E  
TRACCIA SEZIONE STRATIGRAFICA

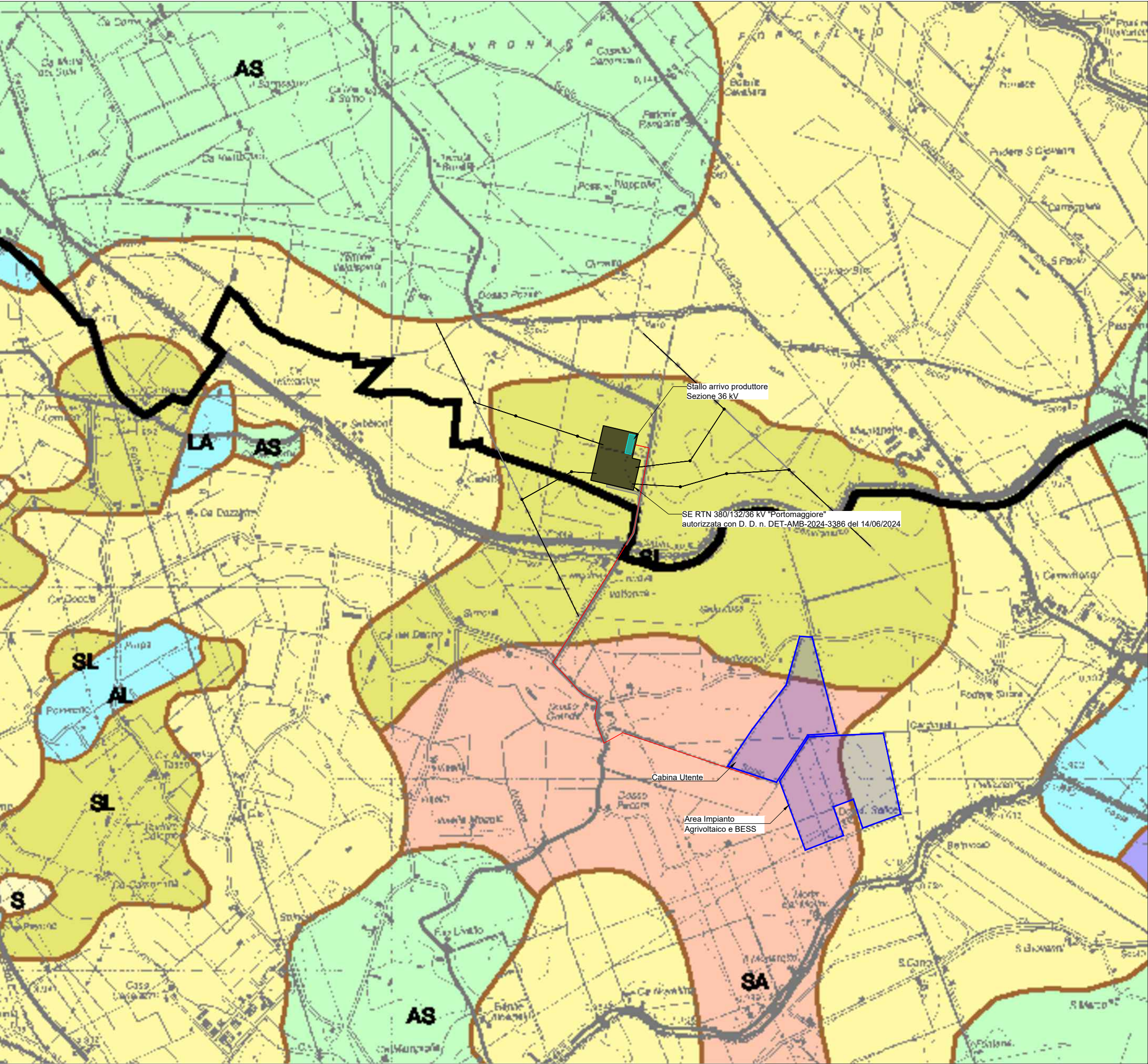
CODICE ELABORATO  
Tavola 2

REVISIONI	N.	Data	Descrizione revisione	BY	CHD	APP
	00	Nov. 2024	EMESSO PER ITER AUTORIZZATIVO	xx	LD	AB

SCALA  
1:10.000

Il presente documento è di proprietà del gruppo Exus, e il destinatario dichiara di averlo ricevuto in maniera conforme alle leggi vigenti. Qualsiasi utilizzo, riproduzione o divulgazione del contenuto richiede una specifica autorizzazione da parte del gruppo Exus.





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



Proponente:



PROGETTO DEFINITIVO

Impianto Agrivoltaico Avanzato "Bandissolo"  
da 24.979,5 kWp abbinato a un sistema  
di accumulo elettrochimico  
da 12.000 kW, opere connesse  
ed infrastrutture indispensabili

Comuni di Argenta e Portomaggiore (FE)

Progettista  
Dott.ssa Geol. Linda Collina

CARTA LITOLOGIA DI SUPERFICIE

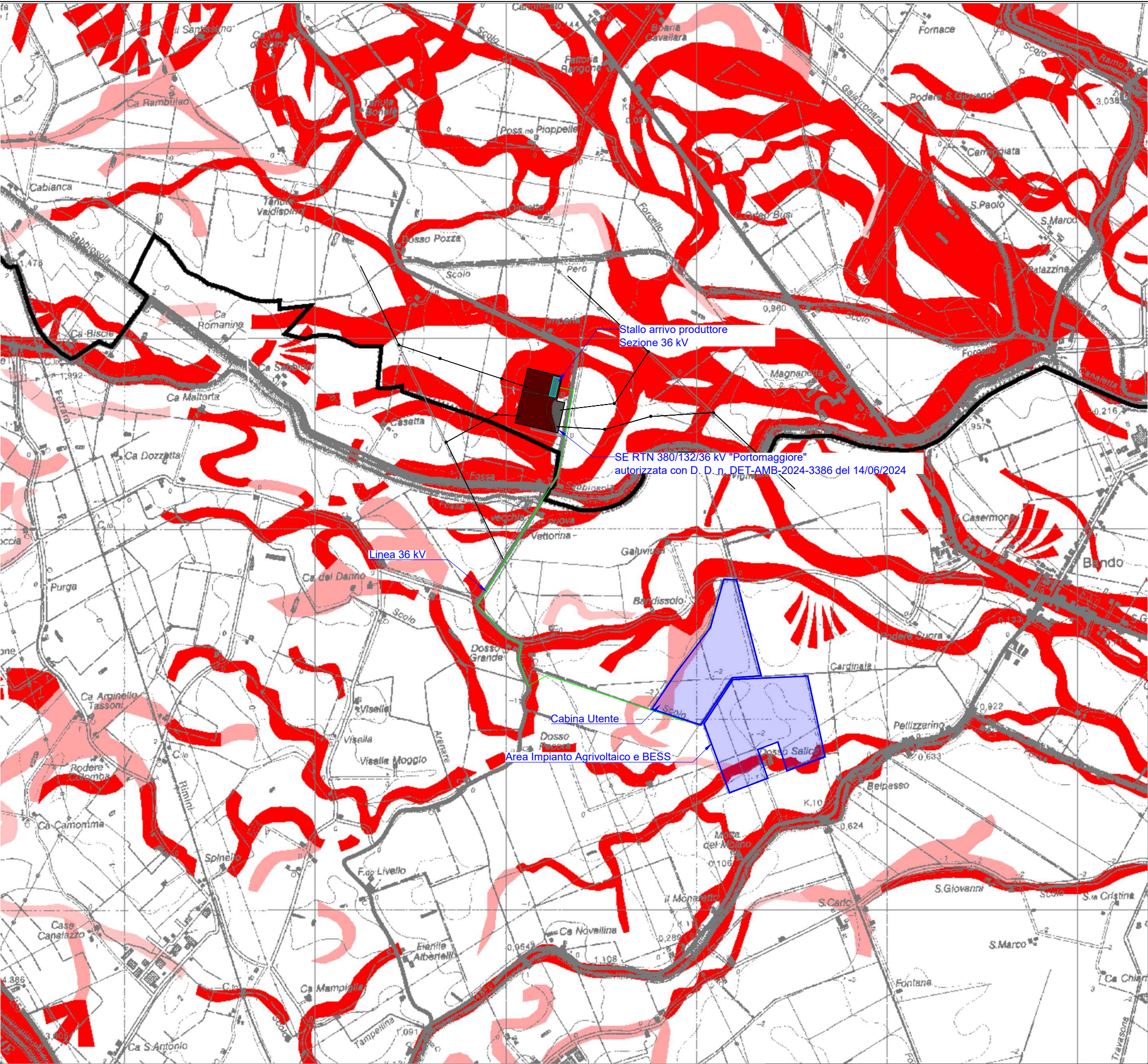
CODICE ELABORATO  
Tavola 3

REVISIONI	N.	Data	Descrizione revisione	BY	CHD	APP
00	Nov. 2024	EMESSO PER ITER AUTORIZZATIVO	xx	LD	AB	

SCALA  
1:5.000

Il presente documento è di proprietà del gruppo Exus, e il destinatario dichiara di averlo ricevuto in maniera conforme alle leggi vigenti.  
Qualsiasi utilizzo, riproduzione o divulgazione del contenuto richiede una specifica autorizzazione da parte del gruppo Exus.





LEGENDA

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



Proponente:



PROGETTO DEFINITIVO

Impianto Agrivoltaico Avanzato "Bandissolo" da 24.979,5 kWp abbinato a un sistema di accumulo elettrochimico da 12.000 kW, opere connesse ed infrastrutture indispensabili

Comuni di Argenta e Portomaggiore (FE)

Progettista  
Dott.ssa Geol. Linda Collina

CARTA GEOMORFOLOGICA

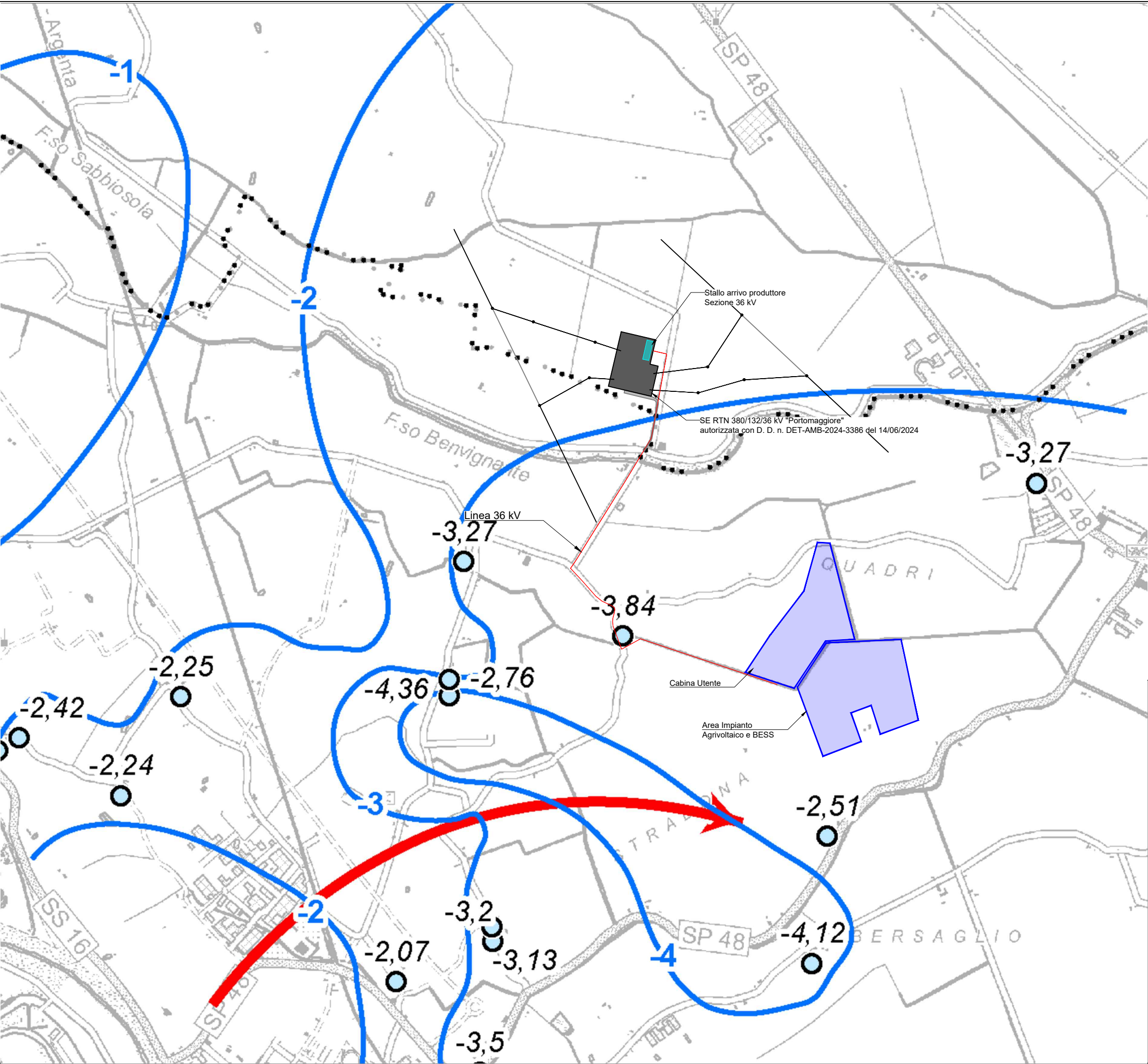
CODICE ELABORATO  
Tavola 4

REVISIONI	N.	Data	Descrizione revisione	BY	CHD	APP
00	Nov. 2024	EMESSO PER ITER AUTORIZZATIVO	xx	LD	AB	

SCALA  
1: 20.000

Il presente documento è di proprietà del gruppo Exus, e il destinatario dichiara di averlo ricevuto in maniera conforme alle leggi vigenti. Qualsiasi utilizzo, riproduzione o divulgazione del contenuto richiede una specifica autorizzazione da parte del gruppo Exus.





LEGENDA

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



Proponente:

PROGETTO DEFINITIVO

Impianto Agrivoltaico Avanzato "Bandissolo" da 24.979,5 kWp abbinato a un sistema di accumulo elettrochimico da 12.000 kW, opere connesse ed infrastrutture indispensabili

Comuni di Argenta e Portomaggiore (FE)

CARTA IDROGEOLOGICA

Progettista  
Dott.ssa Geol. Linda Collina

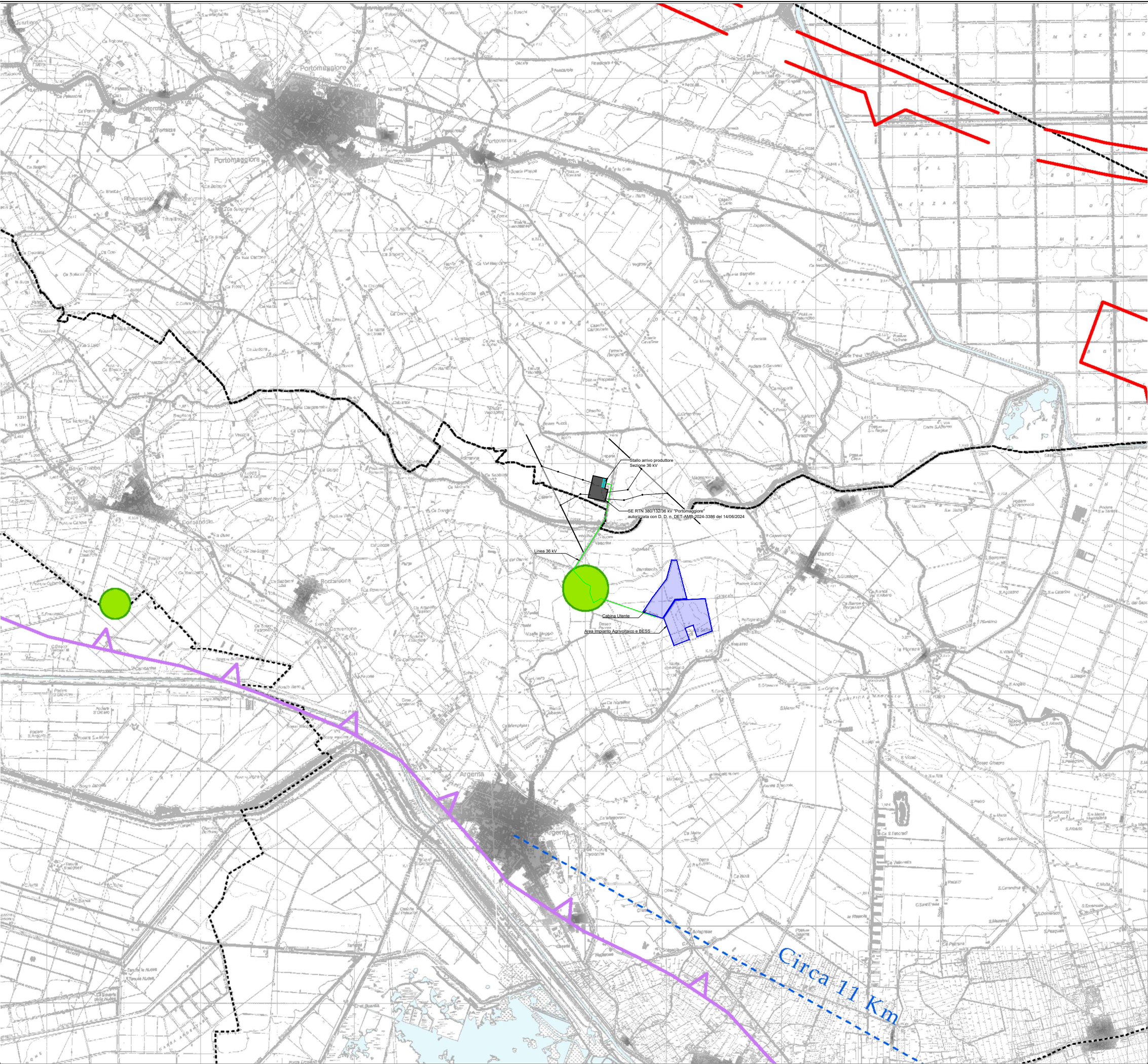
CODICE ELABORATO  
Tavola 5

REVISIONI	N.	Data	Descrizione revisione	BY	CHD	APP
00	Nov. 2024	EMESSO PER ITER AUTORIZZATIVO	xx	LD	AB	

SCALA  
1: 20.000

Il presente documento è di proprietà del gruppo Exus, e il destinatario dichiara di averlo ricevuto in maniera conforme alle leggi vigenti. Qualsiasi utilizzo, riproduzione o divulgazione del contenuto richiede una specifica autorizzazione da parte del gruppo Exus.





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



Proponente:

PROGETTO DEFINITIVO

Impianto Agrivoltaico Avanzato "Bandissolo" da 24.979,5 kWp abbinato a un sistema di accumulo elettrochimico da 12.000 kW, opere connesse ed infrastrutture indispensabili

Comuni di Argenta e Portomaggiore (FE)

CARTA DEGLI ELEMENTI SISMOTETTONICI

CODICE ELABORATO

Tavola 6

N.	Data	Descrizione revisione	BY	CHD	APP
00	Nov. 2024	EMESSO PER ITER AUTORIZZATIVO	xx	LD	AB

SCALA

1: 50.000

Il presente documento è di proprietà del gruppo Exus, e il destinatario dichiara di averlo ricevuto in maniera conforme alle leggi vigenti. Qualsiasi utilizzo, riproduzione o divulgazione del contenuto richiede una specifica autorizzazione da parte del gruppo Exus.

Progettista

Dott.ssa Geol. Linda Collina



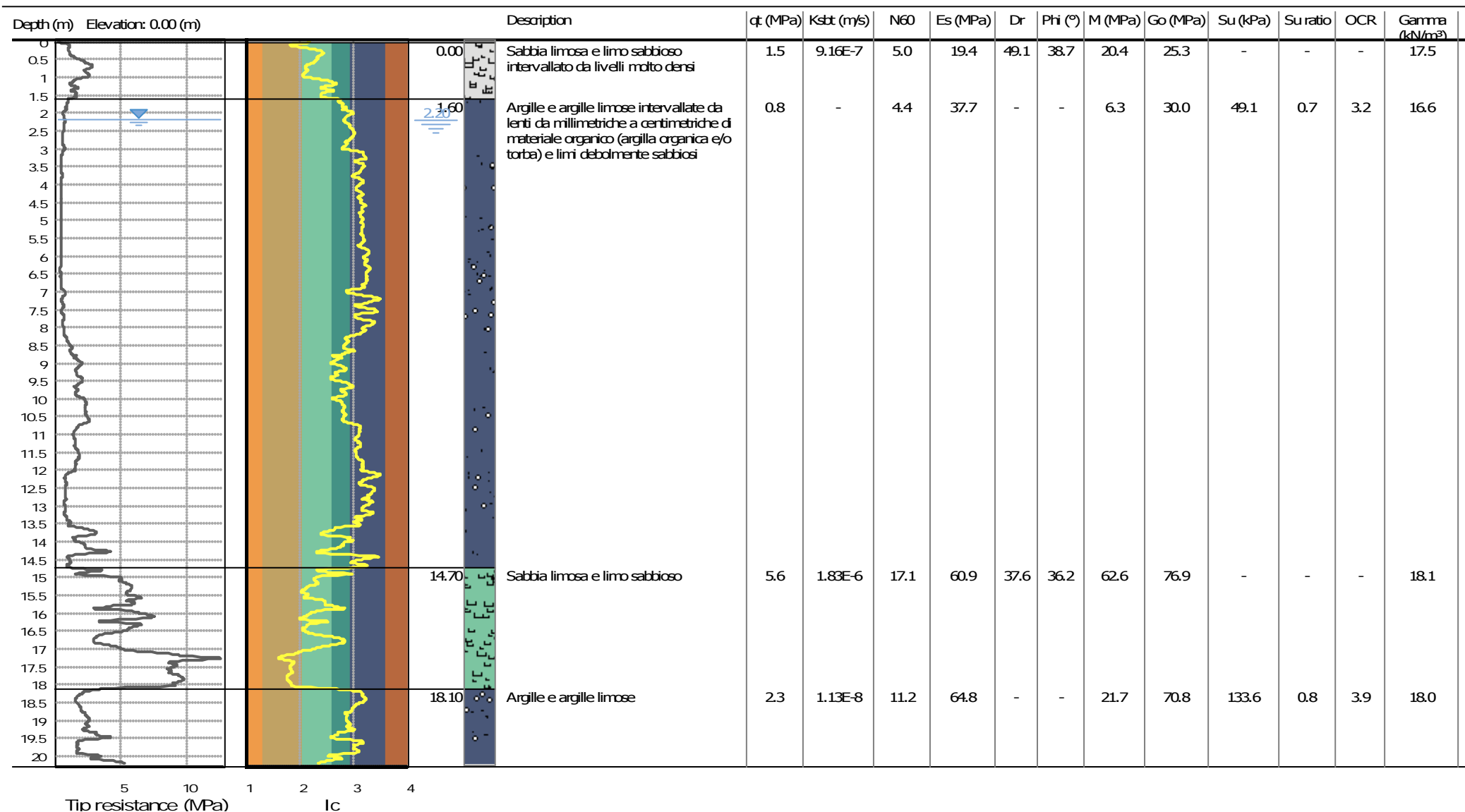
## ALLEGATO 1

**Project:** Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica - Impianto agrivoltaico da 24,99 MWp combinato con accumulo elettrochimico da 12 MW

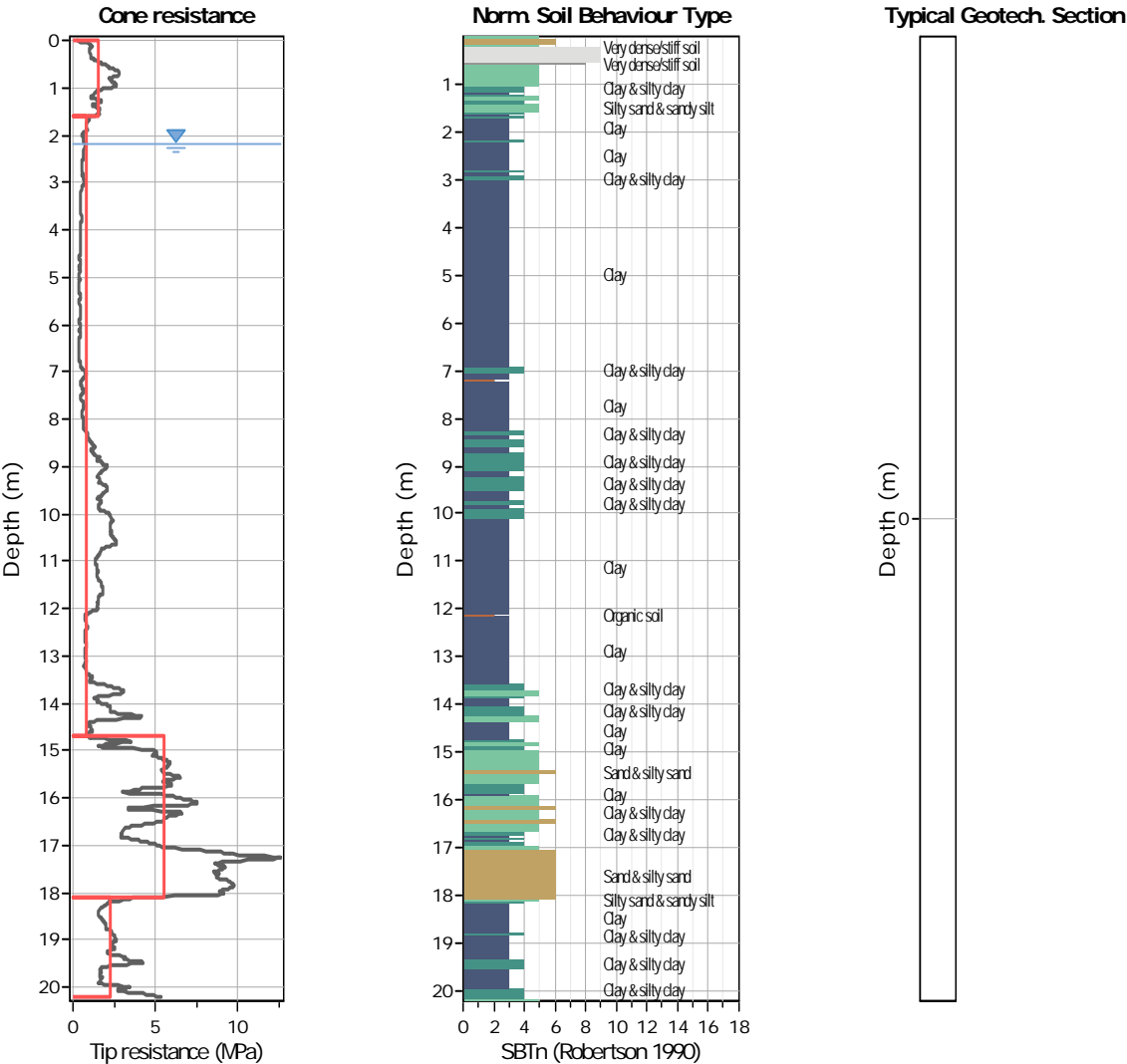
**CPT: CPTU 01**

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

Total depth: 20.20 m







Tabular results

::: Layer No: 1 :::		
Code: 1	Start depth: 0.00 (m), End depth: 1.60 (m)	
Description: Sabbia limosa e limo sabbioso intervallato da livelli molto densi		
Basic results	Estimation results	
Total cone resistance: 1.54 ±0.63 MPa	Permeability: 9.16E-07 ±5.20E-06 m/s	Constrained Mod.: 20.42 ±8.42 MPa
Sleeve friction: 42.07 ±20.01 kPa	N60: 5.04 ±1.70 blows	Go: 25.27 ±8.22 MPa
SBT <sub>n</sub> : 5	Es: 19.37 ±8.11 MPa	Su: 0.00 ±0.00 kPa
SBT <sub>n</sub> description: Silty sand & sandy silt	Dr (%): 49.09 ±9.14	Su ratio: 0.00 ±0.00
	φ (degrees): 38.74 ±1.82 °	O.C.R.: 0.00 ±0.00
	Unit weight: 17.46 ±0.71 kN/m³	

## ::: Layer No: 2 :::

Code: 2      Start depth: 1.60 (m), End depth: 14.70 (m)

**Description:** Argille e argille limose intervallate da lenti da millimetriche a centimetriche di materiale organico (argilla organica e/o torba) e limi debolmente sabbiosi**Basic results**

Total cone resistance: 0.84 ±0.71 MPa

Sleeve friction: 24.25 ±34.05 kPa

SBT<sub>n</sub>: 3

SBTn description: Clay

**Estimation results**

Permeability: 0.00E+00 ±7.00E-08 m/s

N60: 4.40 ±2.99 blows

Es: 37.74 ±5.84 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.59 ±1.15 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 6.29 ±11.09 MPa

Go: 30.00 ±18.57 MPa

Su: 49.15 ±43.40 kPa

Su ratio: 0.69 ±0.46

O.C.R.: 3.20 ±2.14

## ::: Layer No: 3 :::

Code: 3      Start depth: 14.70 (m), End depth: 18.10 (m)

**Description:** Sabbia limosa e limo sabbioso**Basic results**

Total cone resistance: 5.58 ±2.52 MPa

Sleeve friction: 47.31 ±35.55 kPa

SBT<sub>n</sub>: 5

SBTn description: Silty sand &amp; sandy silt

**Estimation results**

Permeability: 1.83E-06 ±2.16E-05 m/s

N60: 17.14 ±4.29 blows

Es: 60.86 ±8.82 MPa

Dr (%): 37.57 ±6.50

φ (degrees): 36.19 ±1.68 °

Unit weight: 18.09 ±0.65 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 62.64 ±19.11 MPa

Go: 76.89 ±15.01 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: 18.10 (m), End depth: 20.20 (m)

**Description:** Argille e argille limose**Basic results**

Total cone resistance: 2.27 ±0.78 MPa

Sleeve friction: 57.74 ±20.90 kPa

SBT<sub>n</sub>: 3

SBTn description: Clay

**Estimation results**

Permeability: 1.13E-08 ±7.85E-08 m/s

N60: 11.15 ±2.17 blows

Es: 64.85 ±8.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.97 ±0.41 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 21.71 ±13.98 MPa

Go: 70.81 ±9.73 MPa

Su: 133.63 ±46.18 kPa

Su ratio: 0.84 ±0.30

O.C.R.: 3.90 ±1.37

**Project:** Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica - Impianto agrivoltaico da 24,99 MWp combinato con accumulo elettrochimico da 12 MW

**CPT: CPTU 01**

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

Total depth: 20.20 m, Date: 14/09/2024

**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	1.60	9.16E-07	5.0	19.4	49.1	38.7	20.4	25.3	0.0	0.0	0.0	17.5
1.60		(±5.20E-06)	(±1.7)	(±8.1)	(±9.1)	(±1.8)	(±8.4)	(±8.2)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.7)
1.60	13.10	0.00E+00	4.4	37.7	0.0	0.0	6.3	30.0	49.1	0.7	3.2	16.6
14.70		(±7.00E-08)	(±3.0)	(±5.8)	(±0.0)	(±0.0)	(±11.1)	(±18.6)	(±43.4)	(±0.5)	(±2.1)	(±1.2)
14.70	3.40	1.83E-06	17.1	60.9	37.6	36.2	62.6	76.9	0.0	0.0	0.0	18.1
18.10		(±2.16E-05)	(±4.3)	(±8.8)	(±6.5)	(±1.7)	(±19.1)	(±15.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.7)
18.10	2.10	1.13E-08	11.2	64.8	0.0	0.0	21.7	70.8	133.6	0.8	3.9	18.0
20.20		(±7.85E-08)	(±2.2)	(±8.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±14.0)	(±9.7)	(±46.2)	(±0.3)	(±1.4)	(±0.4)

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

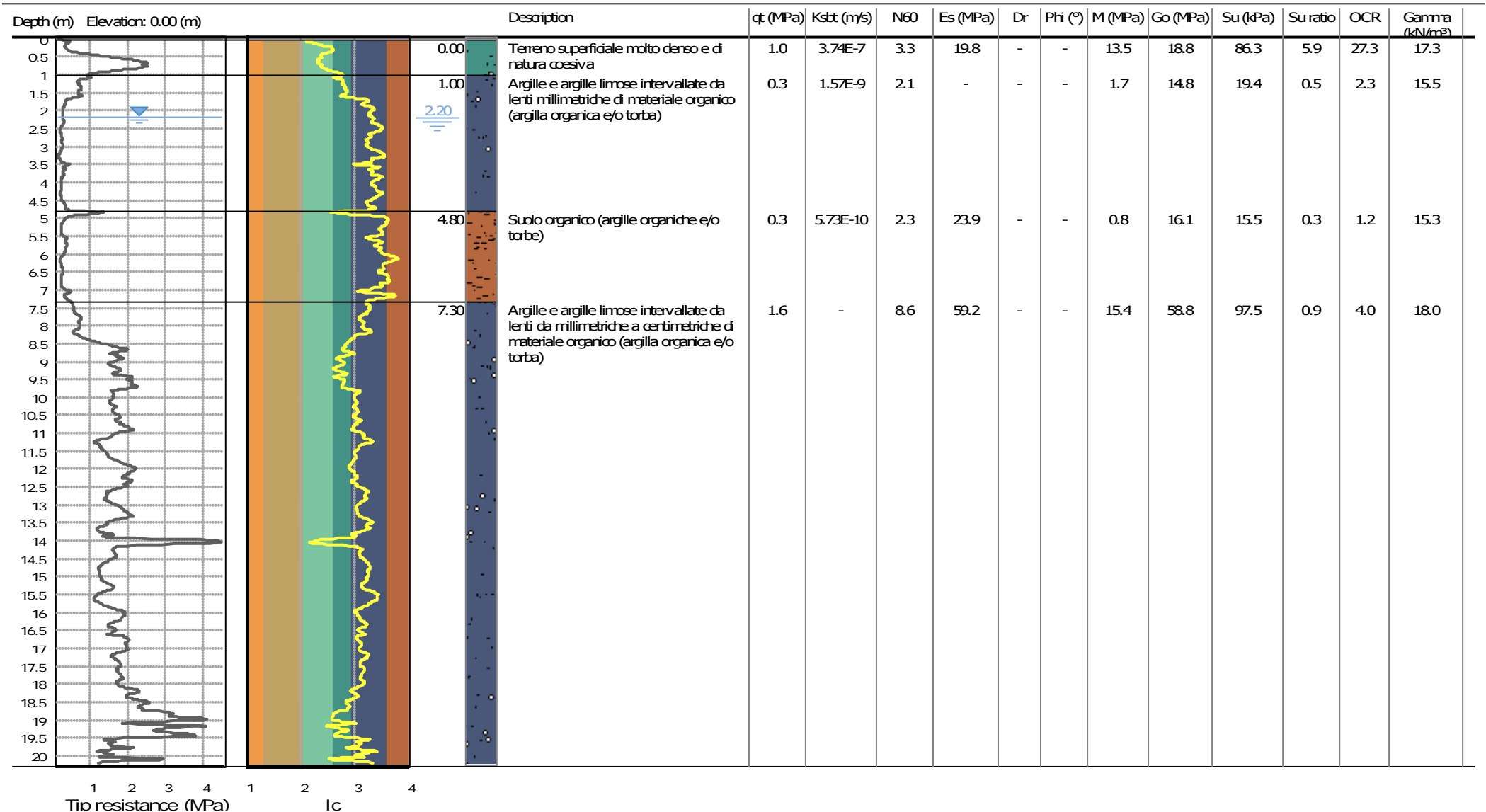


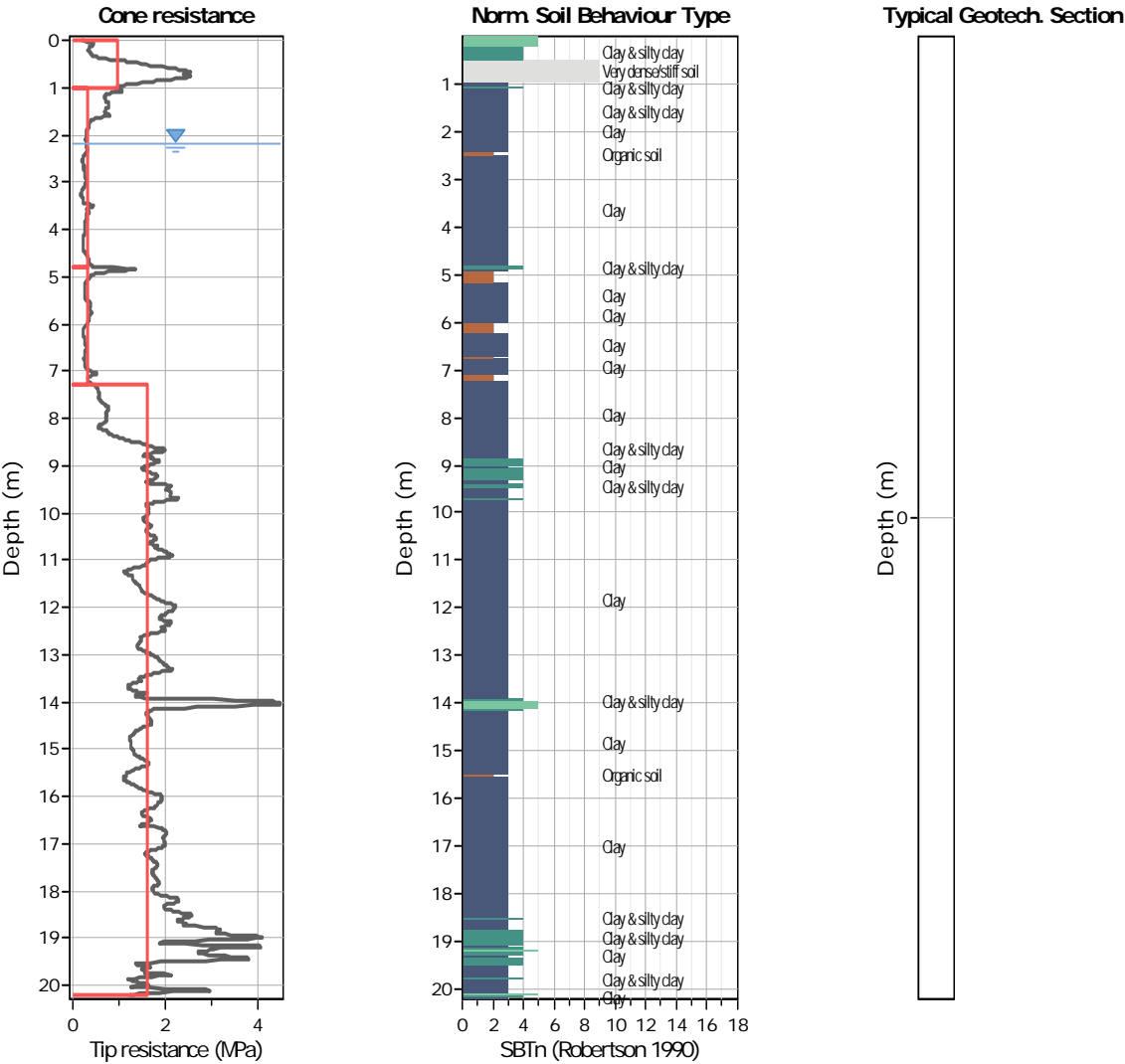
**Project:** Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica - Impianto agrivoltaico da 24,99 MWp combinato con accumulo elettrochimico da 12 MW

**CPT: CPTU 02**

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

Total depth: 20.20 m





Tabular results

::: Layer No: 1 :::		
Code: 1	Start depth: 0.00 (m), End depth: 1.00 (m)	
Description: Terreno superficiale molto denso e di natura coesiva		
Basic results	Estimation results	
Total cone resistance: 0.97 ±0.87 MPa	Permeability: 3.74E-07 ±8.09E-07 m/s	Constrained Mod.: 13.49 ±12.15 MPa
Sleeve friction: 42.13 ±47.04 kPa	N60: 3.31 ±3.01 blows	Go: 18.81 ±15.79 MPa
SBT <sub>n</sub> : 4	Es: 19.76 ±11.39 MPa	Su: 86.31 ±58.09 kPa
SBT <sub>n</sub> description: Clay & silty clay	Dr (%): 0.00 ±0.00	Su ratio: 5.91 ±2.03
	φ (degrees): 0.00 ±0.00 °	O.C.R.: 27.31 ±9.36
	Unit weight: 17.28 ±1.42 kN/m³	

## ::: Layer No: 2 :::

**Code:** 2      **Start depth:** 1.00 (m), **End depth:** 4.80 (m)**Description:** Argille e argille limose intervallate da lenti millimetriche di materiale organico (argilla organica e/o torba)**Basic results**

Total cone resistance: 0.33 ±0.20 MPa

Sleeve friction: 12.84 ±13.29 kPa

SBT<sub>n</sub>: 3

SBTn description: Clay

**Estimation results**

Permeability: 1.57E-09 ±1.46E-08 m/s

N60: 2.06 ±0.68 blows

Es: 0.00 ±0.00 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 15.50 ±0.95 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 1.69 ±3.78 MPa

Go: 14.84 ±4.26 MPa

Su: 19.35 ±15.18 kPa

Su ratio: 0.51 ±0.72

O.C.R.: 2.34 ±3.34

## ::: Layer No: 3 :::

**Code:** 3      **Start depth:** 4.80 (m), **End depth:** 7.30 (m)**Description:** Suolo organico (argille organiche e/o torbe)**Basic results**

Total cone resistance: 0.32 ±0.18 MPa

Sleeve friction: 10.95 ±10.15 kPa

SBT<sub>n</sub>: 3

SBTn description: Clay

**Estimation results**

Permeability: 5.73E-10 ±1.51E-08 m/s

N60: 2.33 ±0.68 blows

Es: 23.89 ±0.65 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 15.31 ±0.81 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 0.81 ±2.91 MPa

Go: 16.07 ±4.92 MPa

Su: 15.54 ±13.22 kPa

Su ratio: 0.27 ±0.25

O.C.R.: 1.24 ±1.14

## ::: Layer No: 4 :::

**Code:** 4      **Start depth:** 7.30 (m), **End depth:** 20.20 (m)**Description:** Argille e argille limose intervallate da lenti da millimetriche a centimetriche di materiale organico (argilla organica e/o torba)**Basic results**

Total cone resistance: 1.62 ±0.63 MPa

Sleeve friction: 64.96 ±31.35 kPa

SBT<sub>n</sub>: 3

SBTn description: Clay

**Estimation results**

Permeability: 0.00E+00 ±1.42E-07 m/s

N60: 8.59 ±2.29 blows

Es: 59.19 ±9.28 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.97 ±0.65 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 15.45 ±10.19 MPa

Go: 58.81 ±14.32 MPa

Su: 97.48 ±37.85 kPa

Su ratio: 0.87 ±0.34

O.C.R.: 4.03 ±1.57



**Project:** Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica - Impianto agrivoltaico da 24,99 MWp combinato con accumulo elettrochimico da 12 MW

**CPT: CPTU 02**

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

Total depth: 20.20 m, Date: 14/09/2024

**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	1.00	3.74E-07	3.3	19.8	0.0	0.0	13.5	18.8	86.3	5.9	27.3	17.3
1.00		(±8.09E-07)	(±3.0)	(±11.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±12.1)	(±15.8)	(±58.1)	(±2.0)	(±9.4)	(±1.4)
1.00	3.80	1.57E-09	2.1	0.0	0.0	0.0	1.7	14.8	19.4	0.5	2.3	15.5
4.80		(±1.46E-08)	(±0.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±3.8)	(±4.3)	(±15.2)	(±0.7)	(±3.3)	(±0.9)
4.80	2.50	5.73E-10	2.3	23.9	0.0	0.0	0.8	16.1	15.5	0.3	1.2	15.3
7.30		(±1.51E-08)	(±0.7)	(±0.6)	(±0.0)	(±0.0)	(±2.9)	(±4.9)	(±13.2)	(±0.2)	(±1.1)	(±0.8)
7.30	12.90	0.00E+00	8.6	59.2	0.0	0.0	15.4	58.8	97.5	0.9	4.0	18.0
20.20		(±1.42E-07)	(±2.3)	(±9.3)	(±0.0)	(±0.0)	(±10.2)	(±14.3)	(±37.8)	(±0.3)	(±1.6)	(±0.6)

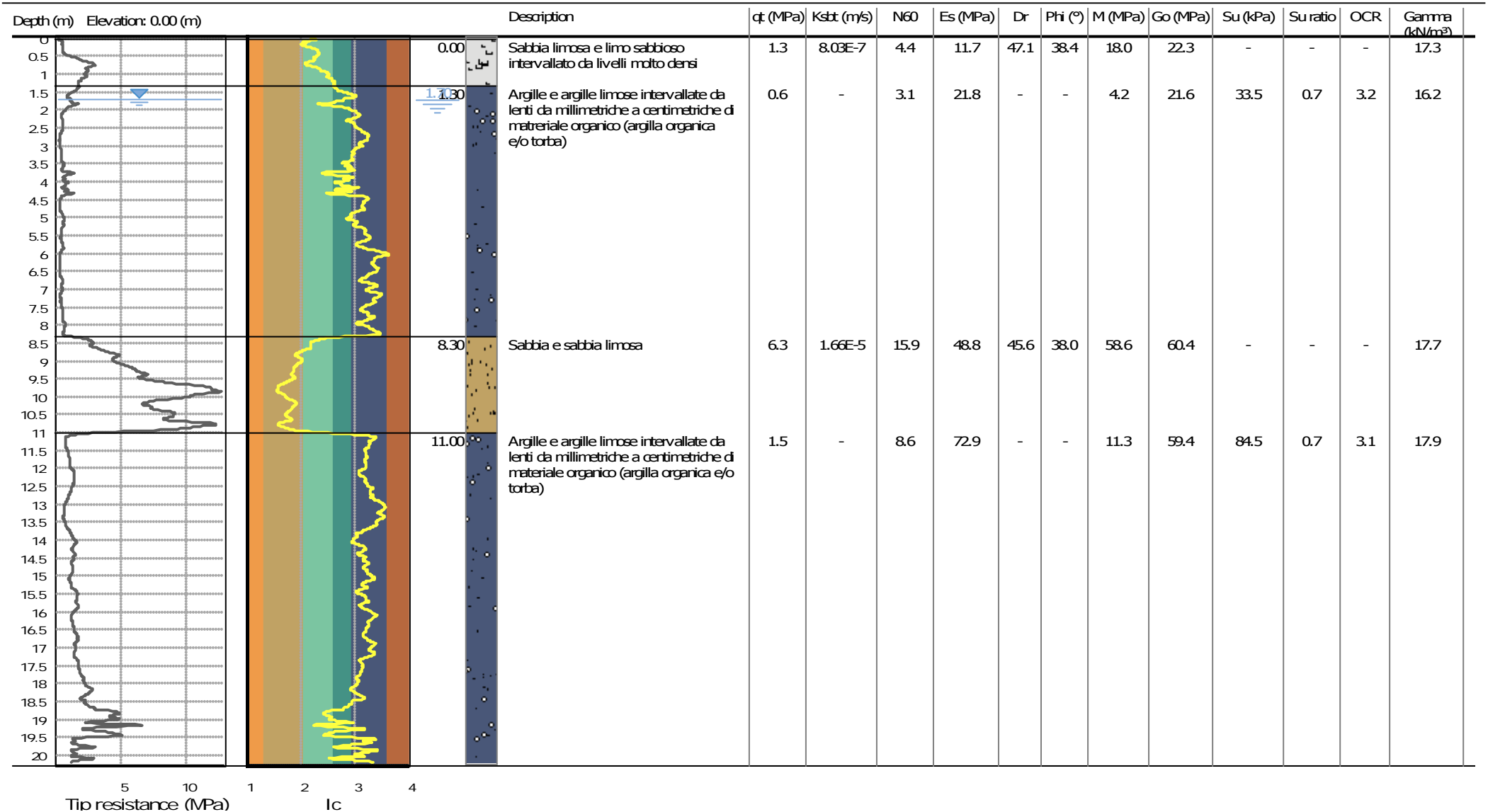
Depth values presented in this table are measured from free ground surface

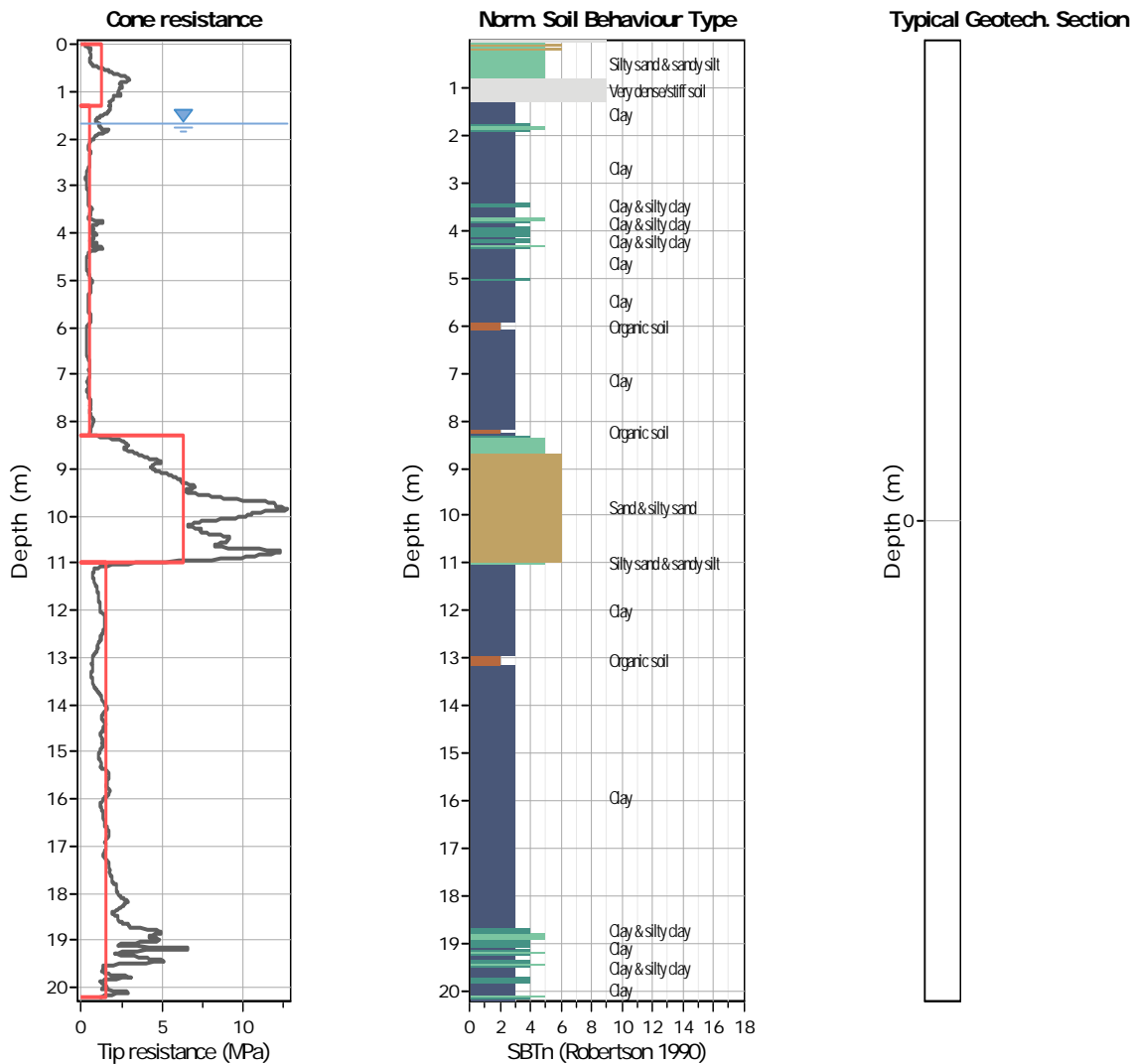
Project: Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica - Impianto agrivoltaico da 24,99 MWp combinato con accumulo elettrochimico da 12 MW

CPT: CPTU 03

Location: Comune di Argenta e Portomaggiore (FE)

Total depth: 20.20 m





### Tabular results

::: Layer No: 1 :::

**Code:** 1      **Start depth:** 0.00 (m), **End depth:** 1.30 (m)

**Description:** Sabbia limosa e limo sabbioso intervallato da livelli molto densi

#### Basic results

Total cone resistance: 1.32 ±0.91 MPa

Sleeve friction: 39.52 ±59.26 kPa

SBT<sub>n</sub>: 5

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

#### Estimation results

Permeability: 8.03E-07 ±1.85E-06 m/s

N<sub>60</sub>: 4.44 ±3.21 blows

Es: 11.72 ±10.39 MPa

Dr (%): 47.12 ±8.71

φ (degrees): 38.36 ±1.70 °

Unit weight: 17.33 ±1.62 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 17.99 ±12.52 MPa

Go: 22.27 ±18.24 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00



## ::: Layer No: 2 :::

**Code:** 2      **Start depth:** 1.30 (m), **End depth:** 8.30 (m)**Description:** Argille e argille limose intervallate da lenti da millimetriche a centimetriche di materiale organico (argilla organica e/o torba)**Basic results**

Total cone resistance: 0.57 ±0.31 MPa

Sleeve friction: 19.72 ±22.94 kPa

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

Permeability: 0.00E+00 ±6.89E-08 m/s

N60: 3.06 ±1.11 blows

Es: 21.84 ±3.48 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 16.20 ±0.82 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 4.18 ±5.53 MPa

Go: 21.58 ±6.62 MPa

Su: 33.52 ±21.42 kPa

Su ratio: 0.69 ±0.79

O.C.R.: 3.19 ±3.65

## ::: Layer No: 3 :::

**Code:** 3      **Start depth:** 8.30 (m), **End depth:** 11.00 (m)**Description:** Sabbia e sabbia limosa**Basic results**

Total cone resistance: 6.34 ±3.08 MPa

Sleeve friction: 33.51 ±12.15 kPa

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

Permeability: 1.66E-05 ±4.76E-05 m/s

N60: 15.90 ±5.47 blows

Es: 48.81 ±11.10 MPa

Dr (%): 45.57 ±9.21

φ (degrees): 38.02 ±1.99 °

Unit weight: 17.74 ±0.61 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 58.64 ±16.12 MPa

Go: 60.41 ±14.38 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:** 11.00 (m), **End depth:** 20.20 (m)**Description:** Argille e argille limose intervallate da lenti da millimetriche a centimetriche di materiale organico (argilla organica e/o torba)**Basic results**

Total cone resistance: 1.51 ±0.94 MPa

Sleeve friction: 62.46 ±26.89 kPa

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

Permeability: 0.00E+00 ±9.77E-08 m/s

N60: 8.57 ±3.07 blows

Es: 72.89 ±7.58 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.90 ±0.60 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 11.35 ±14.80 MPa

Go: 59.45 ±16.51 MPa

Su: 84.52 ±50.98 kPa

Su ratio: 0.67 ±0.31

O.C.R.: 3.10 ±1.42

**Project:** Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica - Impianto agrivoltaico da 24,99 MWp combinato con accumulo elettrochimico da 12 MW

**CPT: CPTU 03**

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

Total depth: 20.20 m, Date: 14/09/2024

**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	1.30	8.03E-07	4.4	11.7	47.1	38.4	18.0	22.3	0.0	0.0	0.0	17.3
1.30		(±1.85E-06)	(±3.2)	(±10.4)	(±8.7)	(±1.7)	(±12.5)	(±18.2)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.6)
1.30	7.00	0.00E+00	3.1	21.8	0.0	0.0	4.2	21.6	33.5	0.7	3.2	16.2
8.30		(±6.89E-08)	(±1.1)	(±3.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±5.5)	(±6.6)	(±21.4)	(±0.8)	(±3.6)	(±0.8)
8.30	2.70	1.66E-05	15.9	48.8	45.6	38.0	58.6	60.4	0.0	0.0	0.0	17.7
11.00		(±4.76E-05)	(±5.5)	(±11.1)	(±9.2)	(±2.0)	(±16.1)	(±14.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.6)
11.00	9.20	0.00E+00	8.6	72.9	0.0	0.0	11.3	59.4	84.5	0.7	3.1	17.9
20.20		(±9.77E-08)	(±3.1)	(±7.6)	(±0.0)	(±0.0)	(±14.8)	(±16.5)	(±51.0)	(±0.3)	(±1.4)	(±0.6)

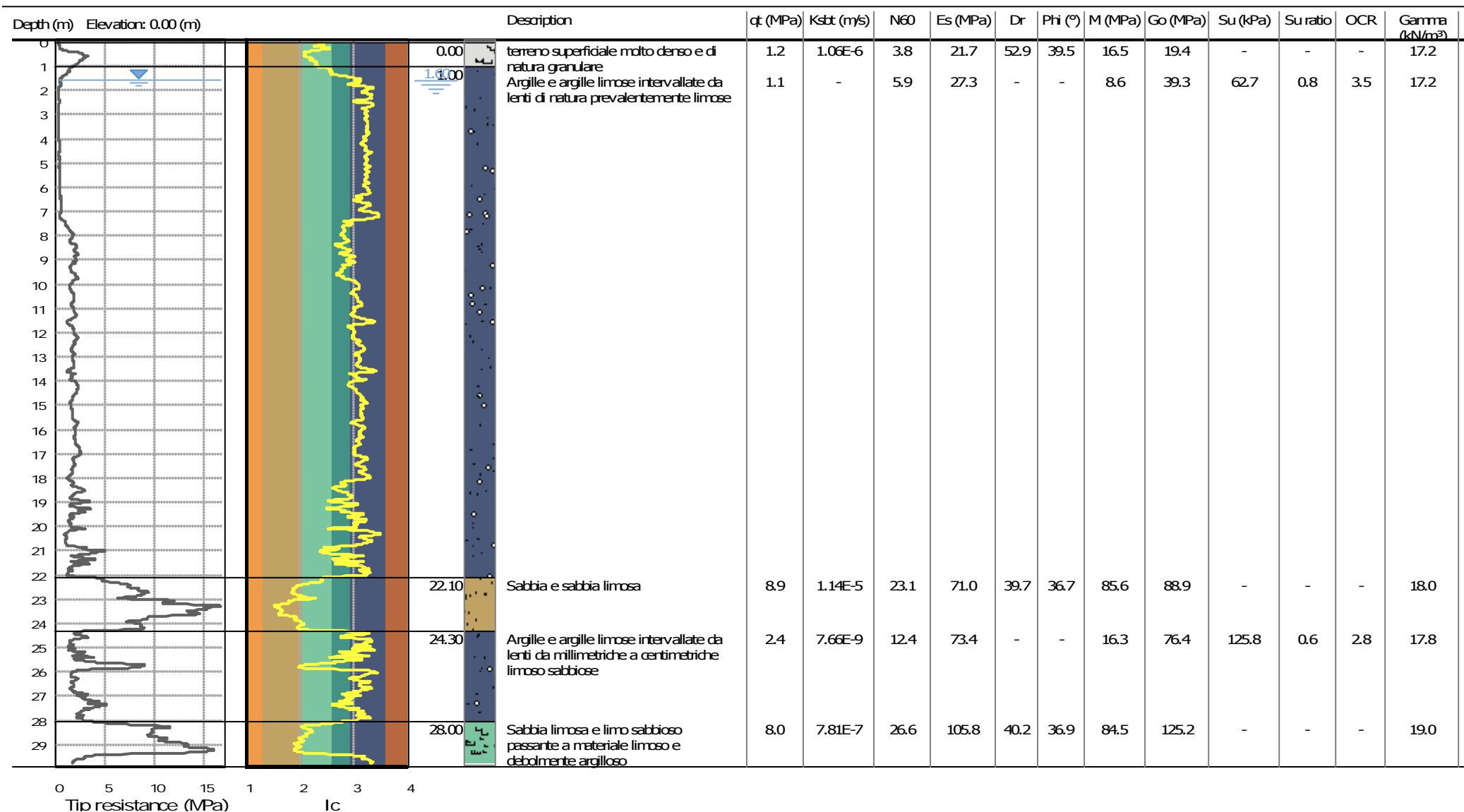
Depth values presented in this table are measured from free ground surface

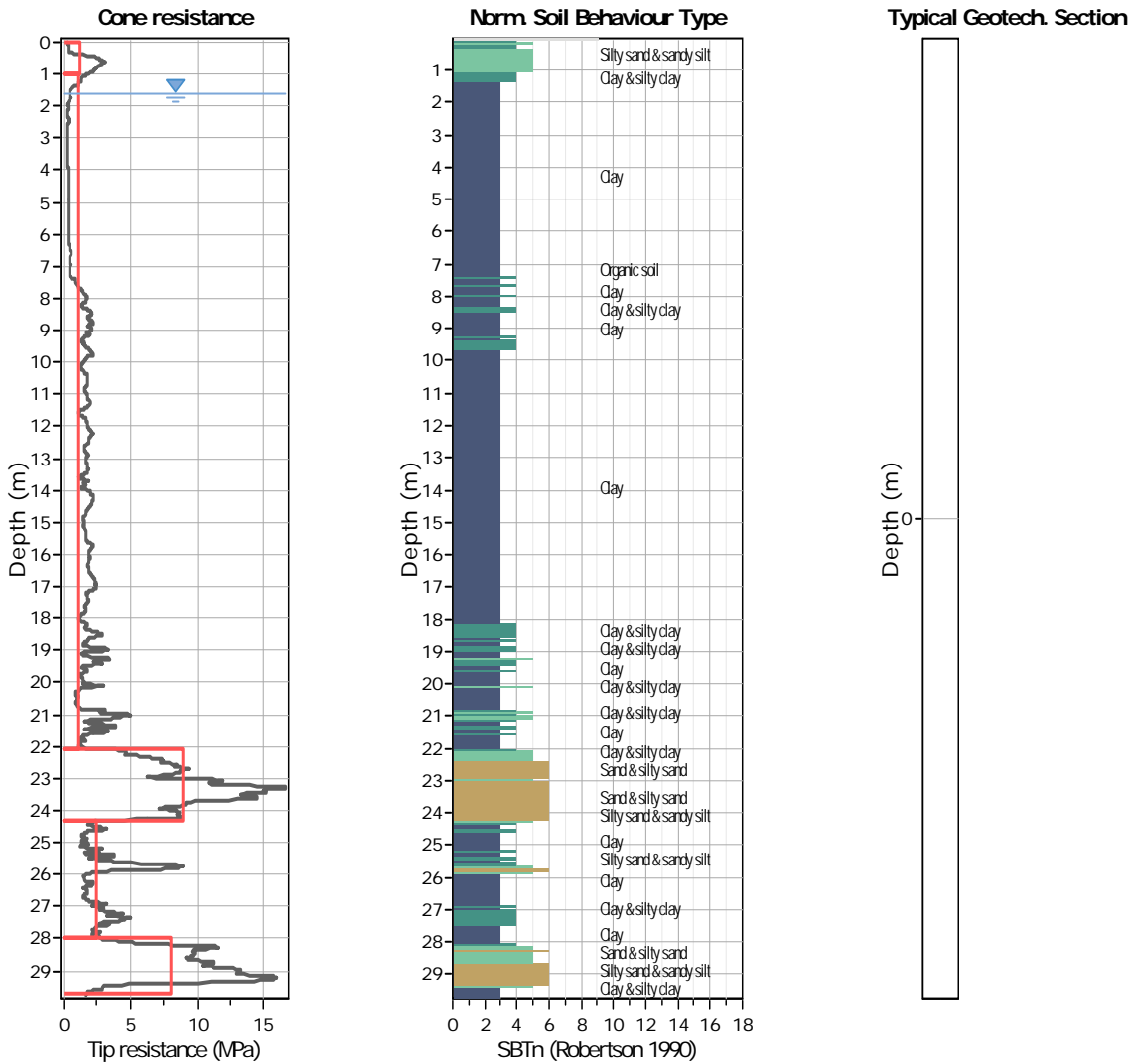
Project: Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica - Impianto agrivoltaico da 24,99 MWp combinato con accumulo elettrochimico da 12 MW

CPT: SCPTU 01

Location: Comune di Argenta e Portomaggiore (FE)

Total depth: 29.77 m





### Tabular results

::: Layer No: 1 :::

Code: 1      Start depth: 0.00 (m), End depth: 1.00 (m)

Description: terreno superficiale molto denso e di natura granulare

#### Basic results

Total cone resistance: 1.21 ±1.15 MPa

Sleeve friction: 36.50 ±32.59 kPa

SBT<sub>n</sub>: 5

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

#### Estimation results

Permeability: 1.06E-06 ±1.48E-06 m/s

N60: 3.78 ±3.53 blows

Es: 21.69 ±9.48 MPa

Dr (%): 52.85 ±8.04

φ (degrees): 39.46 ±1.51 °

Unit weight: 17.20 ±1.32 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 16.46 ±15.40 MPa

Go: 19.36 ±15.36 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00



## :: Layer No: 2 ::

**Code:** 2      **Start depth:** 1.00 (m), **End depth:** 22.10 (m)**Description:** Argille e argille limose intervallate da lenti di natura prevalentemente limose**Basic results**

Total cone resistance: 1.08 ±0.85 MPa

Sleeve friction: 37.37 ±48.05 kPa

SBT<sub>n</sub>: 3

SBTn description: Clay

**Estimation results**

Permeability: 0.00E+00 ±6.36E-08 m/s

N60: 5.89 ±3.79 blows

Es: 27.27 ±12.92 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.18 ±1.46 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 8.62 ±12.35 MPa

Go: 39.33 ±25.85 MPa

Su: 62.74 ±51.07 kPa

Su ratio: 0.76 ±0.53

O.C.R.: 3.50 ±2.46

## :: Layer No: 3 ::

**Code:** 3      **Start depth:** 22.10 (m), **End depth:** 24.30 (m)**Description:** Sabbia e sabbia limosa**Basic results**

Total cone resistance: 8.90 ±3.27 MPa

Sleeve friction: 38.14 ±10.79 kPa

SBT<sub>n</sub>: 6

SBTn description: Sand &amp; silty sand

**Estimation results**

Permeability: 1.14E-05 ±5.15E-05 m/s

N60: 23.10 ±4.81 blows

Es: 70.96 ±7.47 MPa

Dr (%): 39.71 ±8.27

φ (degrees): 36.71 ±1.97 °

Unit weight: 18.02 ±0.34 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 85.63 ±13.16 MPa

Go: 88.93 ±9.36 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:** 24.30 (m), **End depth:** 28.00 (m)**Description:** Argille e argille limose intervallate da lenti da millimetriche a centimetriche limoso sabbiose**Basic results**

Total cone resistance: 2.43 ±1.60 MPa

Sleeve friction: 48.85 ±27.48 kPa

SBT<sub>n</sub>: 3

SBTn description: Clay

**Estimation results**

Permeability: 7.66E-09 ±1.32E-06 m/s

N60: 12.43 ±3.90 blows

Es: 73.39 ±17.48 MPa

Dr (%): 0.00 ±0.00

φ (degrees): 0.00 ±0.00 °

Unit weight: 17.80 ±0.65 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 16.27 ±24.35 MPa

Go: 76.45 ±18.45 MPa

Su: 125.84 ±61.76 kPa

Su ratio: 0.60 ±0.29

O.C.R.: 2.76 ±1.33

## :: Layer No: 5 ::

**Code:** 5      **Start depth:** 28.00 (m), **End depth:** 29.70 (m)**Description:** Sabbia limosa e limo sabbioso passante a materiale limoso e debolmente argilloso**Basic results**

Total cone resistance: 8.00 ±4.35 MPa

Sleeve friction: 93.13 ±26.86 kPa

SBT<sub>n</sub>: 5

SBTn description: Silty sand &amp; sandy silt

**Estimation results**

Permeability: 7.81E-07 ±5.87E-06 m/s

N60: 26.56 ±8.00 blows

Es: 105.80 ±10.53 MPa

Dr (%): 40.16 ±4.80

φ (degrees): 36.85 ±1.15 °

Unit weight: 19.00 ±0.40 kN/m<sup>3</sup>

Constrained Mod.: 84.45 ±50.73 MPa

Go: 125.20 ±18.51 MPa

Su: 0.00 ±0.00 kPa

Su ratio: 0.00 ±0.00

O.C.R.: 0.00 ±0.00

**Project:** Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica - Impianto agrivoltaico da 24,99 MWp combinato con accumulo elettrochimico da 12 MW

**CPT: SCPTU 01**

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

Total depth: 29.77 m, Date: 14/09/2024

**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	1.00	1.06E-06	3.8	21.7	52.9	39.5	16.5	19.4	0.0	0.0	0.0	17.2
1.00		(±1.48E-06)	(±3.5)	(±9.5)	(±8.0)	(±1.5)	(±15.4)	(±15.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±1.3)
1.00	21.10	0.00E+00	5.9	27.3	0.0	0.0	8.6	39.3	62.7	0.8	3.5	17.2
22.10		(±6.36E-08)	(±3.8)	(±12.9)	(±0.0)	(±0.0)	(±12.4)	(±25.8)	(±51.1)	(±0.5)	(±2.5)	(±1.5)
22.10	2.20	1.14E-05	23.1	71.0	39.7	36.7	85.6	88.9	0.0	0.0	0.0	18.0
24.30		(±5.15E-05)	(±4.8)	(±7.5)	(±8.3)	(±2.0)	(±13.2)	(±9.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.3)
24.30	3.70	7.66E-09	12.4	73.4	0.0	0.0	16.3	76.4	125.8	0.6	2.8	17.8
28.00		(±1.32E-06)	(±3.9)	(±17.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±24.3)	(±18.5)	(±61.8)	(±0.3)	(±1.3)	(±0.7)
28.00	1.70	7.81E-07	26.6	105.8	40.2	36.9	84.5	125.2	0.0	0.0	0.0	19.0
29.70		(±5.87E-06)	(±8.0)	(±10.5)	(±4.8)	(±1.2)	(±50.7)	(±18.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.4)

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

## ALLEGATO 2

## COMMITTENTE:



## REPORT TECNICO

Oggetto: Report Tecnico registrazioni HVSR

Località: Territorio Comunale di Argenta – Via Argine Marino

Contratto:

Riferimento ODL:

*Data emissione documento:*  
**Settembre 2024**



## INDICE GENERALE

1	PREMESSA.....	3
2	DESCRIZIONE GENERALE DELLA PROCEDURA HVSR.....	4
2.1	ANALISI DEI MICROTREMORI A STAZIONE SINGOLA (HVSR).....	4
2.2	STRUMENTAZIONE E METODOLOGIA DI INDAGINE.....	4
3	RISULTATI DELL'INDAGINE SISMICA.....	6
3.1	DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA DELLA PROVA HVSR 1.....	6
3.2	TRACCIATI SISMICI DELLA PROVA HVSR 1.....	7
3.3	<i>CURVA DEL RAPPORTO h/v PROVA HVSR 1</i> .....	7
3.4	ANALISI DEL PROFILO DELLE VELOCITA'.....	9
3.5	DETERMINAZIONE DELLE VS30 E DELLA CATEGORIA DI SUOLO.....	10
3.6	DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA DELLA PROVA HVSR 2.....	11
3.7	TRACCIATI SISMICI DELLA PROVA HVSR 2.....	12
3.8	<i>CURVA DEL RAPPORTO h/v PROVA HVSR 2</i> .....	12
3.9	ANALISI DEL PROFILO DELLE VELOCITA'.....	14
3.10	DETERMINAZIONE DELLE VS30 E DELLA CATEGORIA DI SUOLO.....	15
4	CONCLUSIONI.....	15

## 1 PREMESSA

La scrivente SGM GEOLOGIA e AMBIENTE Srl ha eseguito in data 21 Settembre 2024 un'indagine sismica di analisi dei microtremori mediante il metodo di Nakamura, nel territorio comunale di Argenta (FE).

L'indagine è consistita nell'esecuzione di n°2 analisi HVSR per l'individuazione delle frequenze di risonanza del sito in esame e per la determinazione del profilo verticale delle onde di taglio e del valore Vseq, necessario per la classificazione dei terreni di fondazione degli interventi in progetto nelle categorie di suolo descritte al paragrafo 3.2.2 delle N.T.C. 2018 "D.M. 17 del 17/01/2018".

Le registrazioni effettuate sono state ubicate come da tabella seguente:

Nome	data	SR riferimento	X Cord	Y Cord
HVSR 1	21/09/2024	WGS 84	11° 51' 54.57" E	44° 38' 11.06" N
HVSR 2	21/09/2024	WGS 84	11° 51' 45.02" E	44° 38' 27.62" N



*Figura 1 – ubicazione registrazioni HVSR*

## 2 DESCRIZIONE GENERALE DELLA PROCEDURA HVSR

### 2.1 ANALISI DEI MICROTREMORI A STAZIONE SINGOLA (HVSR)

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

### 2.2 STRUMENTAZIONE E METODOLOGIA DI INDAGINE

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

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

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

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

Le caratteristiche salienti sono le seguenti:

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



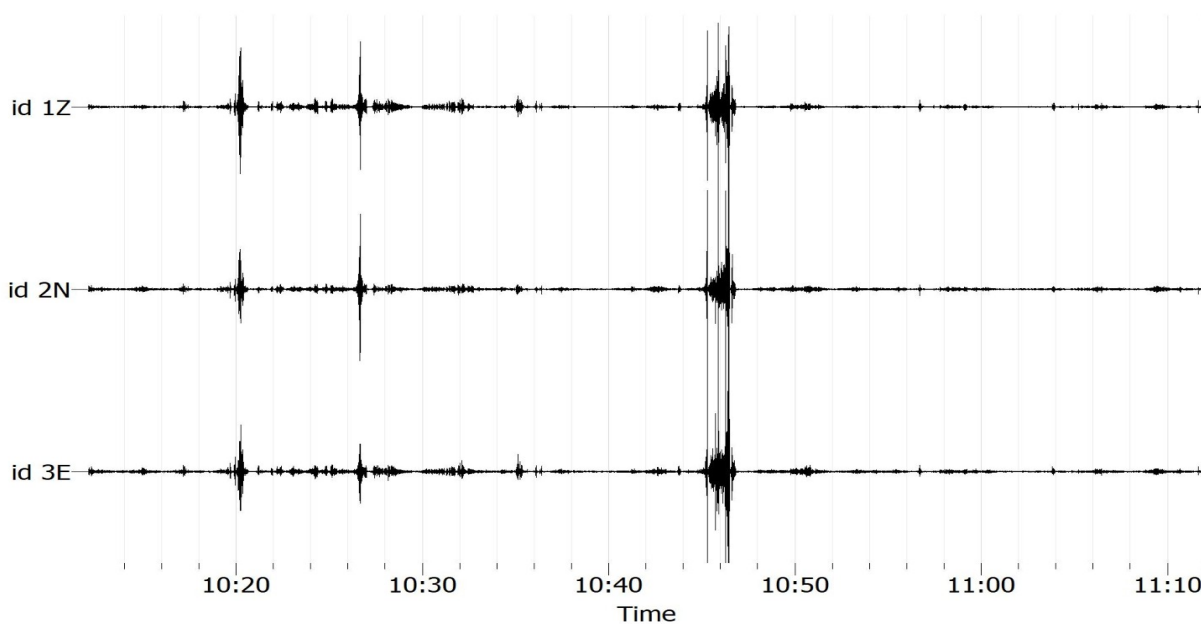
### 3 RISULTATI DELL'INDAGINE SISMICA

#### 3.1 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA DELLA PROVA HVSR 1



*Figura 2 – dettaglio posizionamento prova HVSR 1*

#### 3.2 TRACCIATI SISMICI DELLA PROVA HVSR 1



*Figura 3 – tracciati sismici prova HVSR 1*



### 3.3 CURVA DEL RAPPORTO $h/v$ PROVA HVSR 1

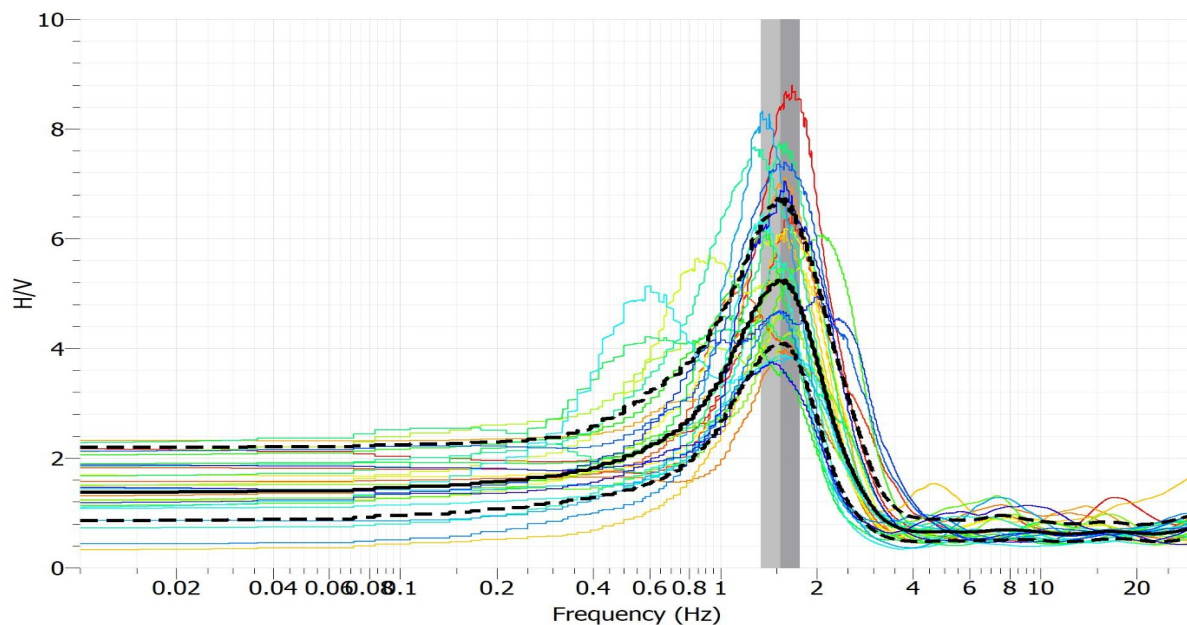


Figura 4 – Curva  $H/V$  prova HVSR 1

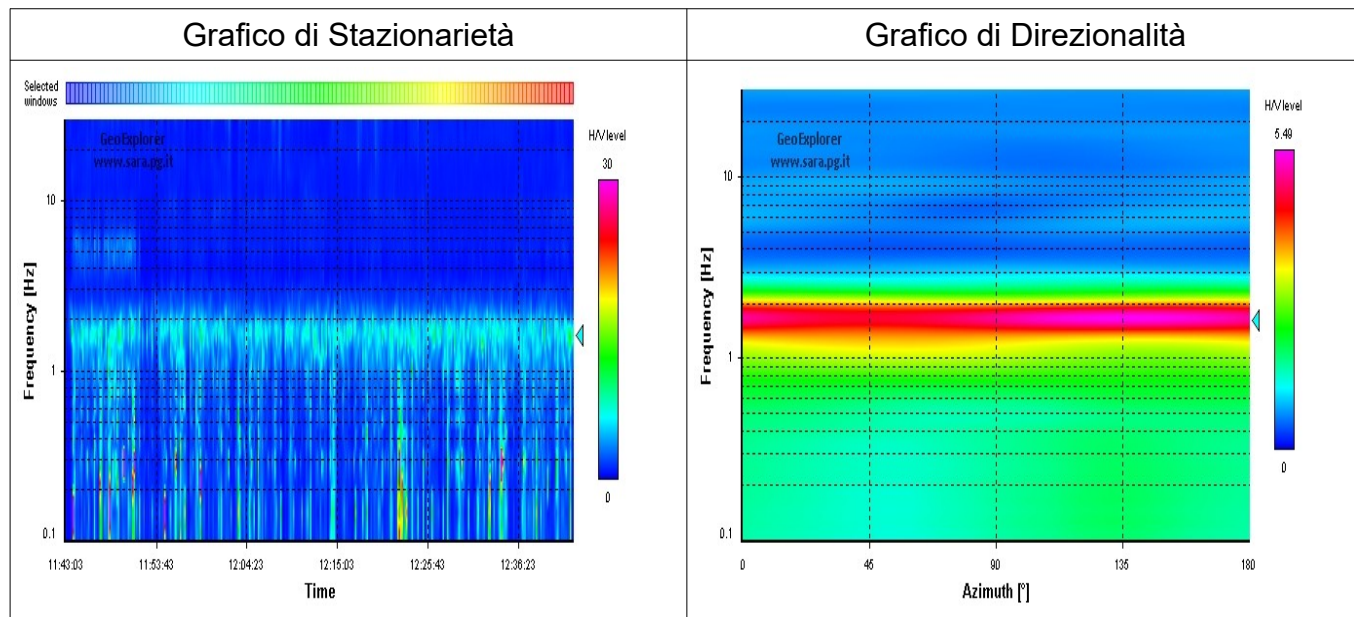


Figura 5 – Grafici di stazionarietà e direzionalità prova HVSR 1

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

Parametri	Valore
Finestra temporale	20 s
Frequenza massima	20 hz
Numero di Campioni	40
f0	1,54 (1,33; 1,77)
A0	5,21 (4,08; 6,68)

### 3.4 ANALISI DEL PROFILO DELLE VELOCITA'

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

Strato	h [m]	z [m]	Vs fin. [m/s]
Strato 1	10,00	-10,00	105
Strato 2	30,00	-40,00	230
Strato 3	50,00	-90,00	430
Strato 4	80,00	-170,00	550
Strato 5	/	-∞	750

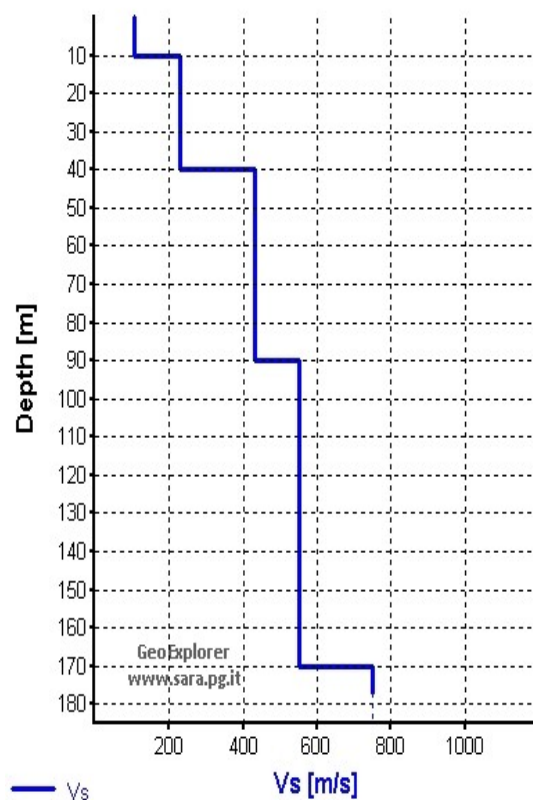


Figura 6 – Profilo verticale di velocità delle Vs

### 3.5 DETERMINAZIONE DELLE VS30 E DELLA CATEGORIA DI SUOLO

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

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

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

Utilizzando la formula sopra riportata si ottiene il seguente valore:

$$\underline{V_{s,eq} = 177 \text{ m/s}}$$

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

#### **suolo di fondazione di tipo D**

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

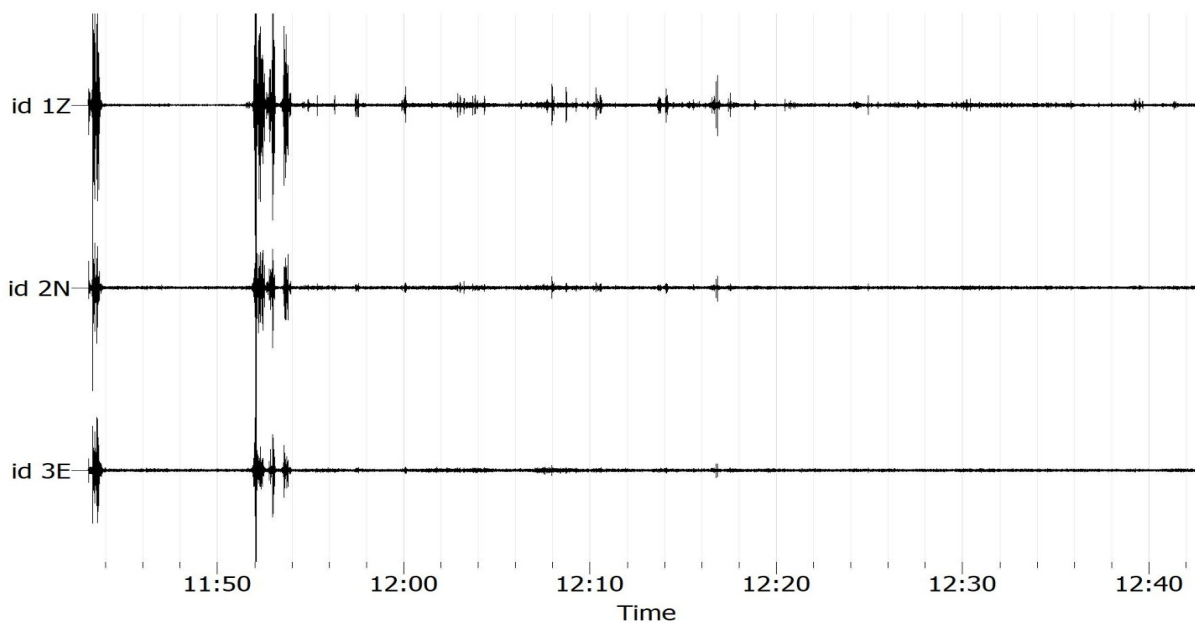


### 3.6 DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA DELLA PROVA HVSR 2



*Figura 7 – dettaglio posizionamento prova HVSR 2*

### 3.7 TRACCIATI SISMICI DELLA PROVA HVSR 2



*Figura 8 – tracciati sismici prova HVSR 2*

### 3.8 CURVA DEL RAPPORTO $h/v$ PROVA HVSR 2

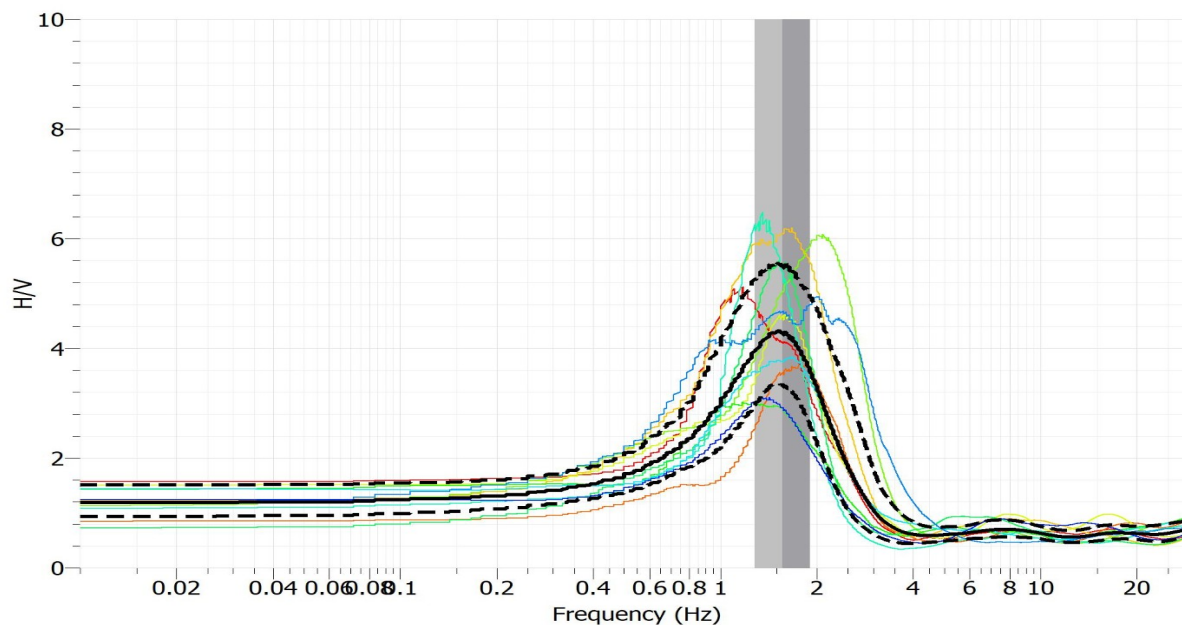


Figura 9 – Curva  $H/V$  prova HVSR 2

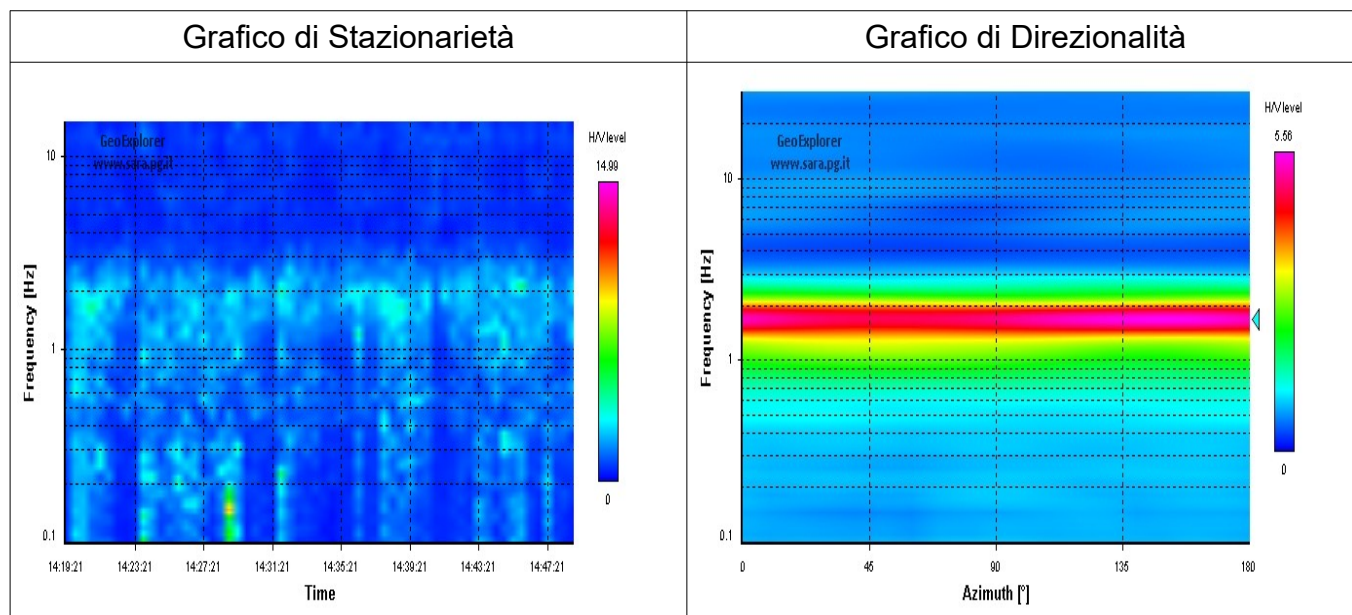


Figura 10 – Grafici di stazionarietà e direzionalità prova HVSR 2

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

Parametri	Valore
Finestra temporale	20 s
Frequenza massima	20 hz
Numero di Campioni	40
f0	1,56 (1,28; 1,90)
A0	4,29 (3,33; 5,51)

### 3.9 ANALISI DEL PROFILO DELLE VELOCITA'

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

Strato	h [m]	z [m]	Vs fin. [m/s]
Strato 1	10,00	-10,00	115
Strato 2	30,00	-40,00	240
Strato 3	50,00	-90,00	430
Strato 4	90,00	-180,00	550
Strato 5	/	-∞	700

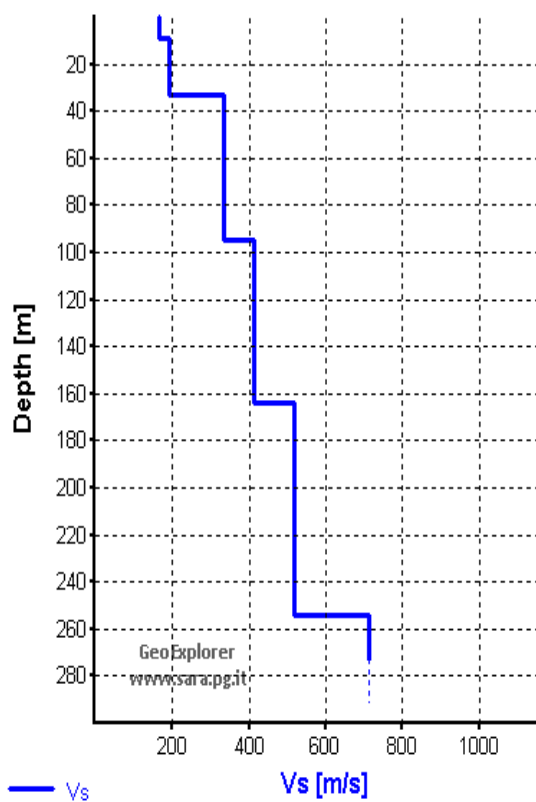


Figura 11 – Profilo verticale di velocità delle Vs



### 3.10 DETERMINAZIONE DELLE VS30 E DELLA CATEGORIA DI SUOLO

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

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

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

Utilizzando la formula sopra riportata si ottiene il seguente valore:

$$\underline{V_{s,eq} = 164 \text{ m/s}}$$

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

#### **suolo di fondazione di tipo D**

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

## 4 CONCLUSIONI

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

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

Per la prova HVSR 1 si è individuato un picco alla frequenza  $f_0$  di 1,54 Hz e  $A_0$  5,21.

Per la prova HVSR 2 si è individuato un picco alla frequenza  $f_0$  di 1,56 Hz e  $A_0$  4,29.

## ALLEGATO 3

Comm. **Alfi Green S.r.l.**

Prog. **Agrivoltaico Bandissolo - Argenta/Portomaggiore**

ID **S-CPTU 1**

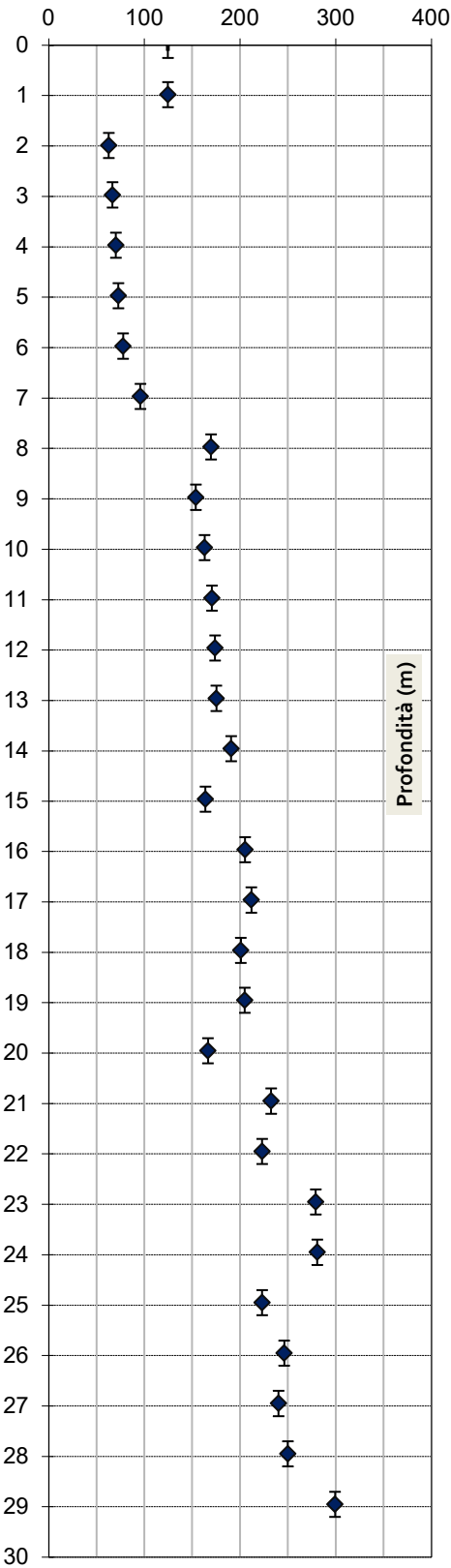
Data **14 settembre 2024**

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

Distanza sorgente onde Vp da verticale misura: **-**

Distanza sorgente onde Vs da verticale misura: **0.75 metri**

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



Prof. misura		Prof. dato	Velocità	Time Shift	Accuratezza
da	a	m	m/s	msec	
		0,00		5,85	
0,73	1,23	0,98	124,58	3,19	0,953
1,74	2,24	1,99	62,71	7,81	0,665
2,72	3,22	2,97	66,66	7,31	0,800
3,72	4,22	3,97	70,23	7,00	0,973
4,72	5,22	4,97	72,73	6,81	0,946
5,72	6,22	5,97	77,85	6,38	0,981
6,72	7,22	6,97	95,87	5,19	0,978
7,72	8,22	7,97	169,70	2,94	0,984
8,72	9,22	8,97	153,77	3,25	0,991
9,72	10,22	9,97	163,00	3,06	0,993
10,72	11,22	10,97	170,64	2,94	0,973
11,71	12,21	11,96	173,90	2,88	0,989
12,71	13,21	12,96	175,29	2,88	0,982
13,71	14,21	13,96	190,63	2,63	0,987
14,71	15,21	14,96	163,84	3,06	0,993
15,71	16,21	15,96	205,33	2,44	0,985
16,71	17,21	16,96	211,91	2,38	0,975
17,71	18,21	17,96	200,84	2,50	0,991
18,70	19,20	18,95	205,02	2,50	0,937
19,70	20,20	19,95	166,55	3,00	0,947
20,70	21,20	20,95	232,41	2,15	0,849
21,70	22,20	21,95	223,08	2,24	0,987
22,70	23,20	22,95	279,18	1,79	0,972
23,70	24,20	23,95	280,76	1,78	0,992
24,70	25,20	24,95	223,11	2,24	0,997
25,70	26,20	25,95	246,20	2,03	0,989
26,70	27,20	26,95	240,29	2,08	0,980
27,70	28,20	27,95	249,91	2,00	0,992
28,70	29,20	28,95	299,30	1,67	0,995

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

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

$V_{Seq}$  0,0 / 30,0 = **148,54 m/s**

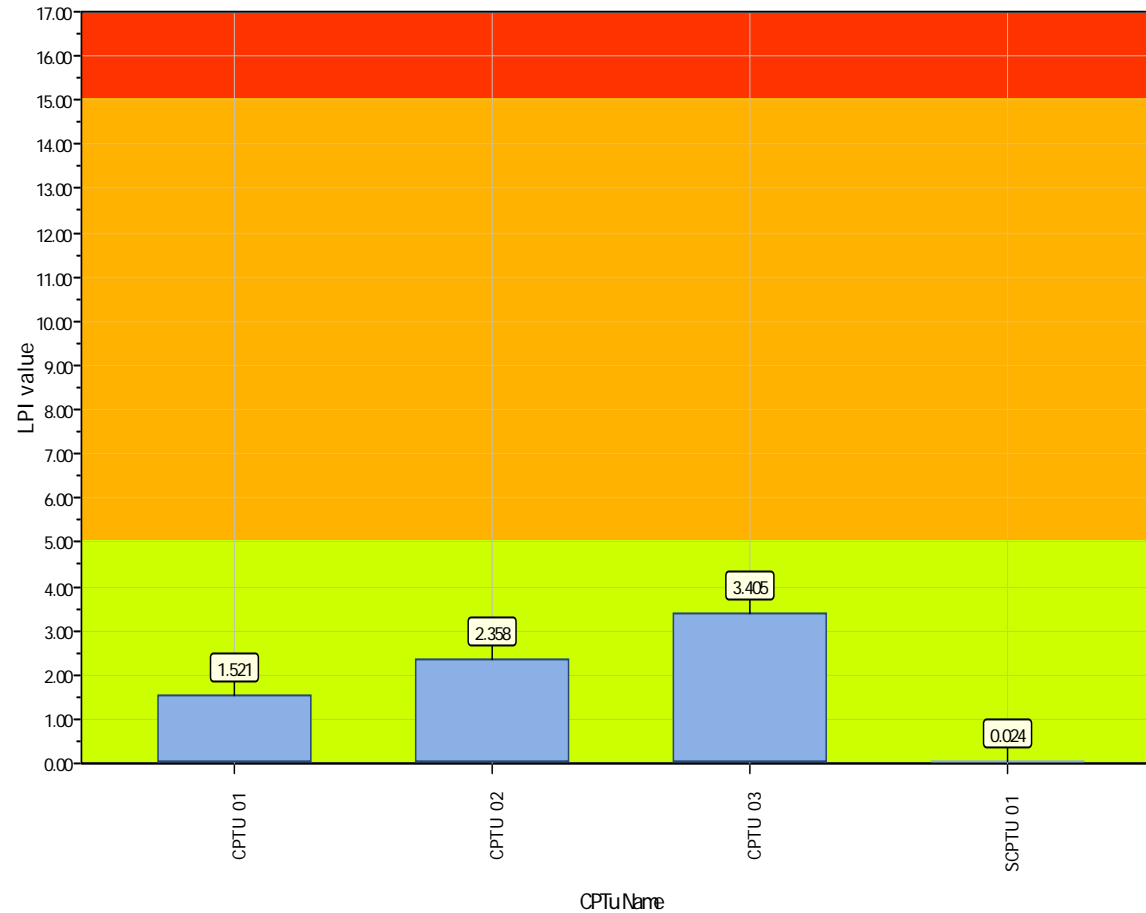
## ALLEGATO 4



Project title : Relazione Geologica, Geotecnica e Sismica - Impianto agrivoltaico da 24,99 MWp combinato con accumulo elettrochimico da 12 MW

Location : Comune 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: 4  
100.00% low risk  
0.00% high risk  
0.00% very high risk