

Orosolare S.r.l.

Impianto Agrivoltaico denominato "Argenta 2" da 168.461,3 kWp, opere connesse ed infrastrutture indispensabili

Comuni di Argenta, Comacchio e Portomaggiore (FE)

Progetto Definitivo Impianto Agrivoltaico ed Opere Elettriche di Utenza

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



Professionista incaricato: Dott.ssa Geol. Sara Bedeschi – Ordine Regionale dei Geologi della Regione Emilia-Romagna Sez. A n. 1194

Rev. 0

Ottobre 2023

Indice

1	Premessa	5
1.1	Area in esame	6
1.1.1	Impianto agrivoltaico	6
1.1.2	Impianto di Utente	7
1.2	Scopo della presente documentazione	8
1.3	Indagini geognostiche di riferimento	9
1.3.1	Impianto agrivoltaico	9
1.3.2	Stazione di trasformazione 132/30 kV (Stazione Utente)	9
1.3.3	Cavidotto interrato a 132 kV	10
2	Quadro normativo di riferimento	11
3	Vincolistica	12
4	Relazione geologica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione geologica del sito	13
4.1	Assetto geologico generale	13
4.2	Assetto geologico e geomorfologico dell'area in esame	14
4.2.1	Impianto agrivoltaico e Stazione Utente	14
4.2.2	Cavidotto interrato a 132 kV	16
4.3	Litostratigrafia dell'area in esame e prime considerazioni geotecniche di massima	17
4.3.1	Impianto agrivoltaico	17
4.3.2	Stazione Utente	17
4.3.3	Cavidotto interrato a 132 kV	18
5	Assetto idrologico ed idrogeologico locale	19
6	Prime considerazioni geotecniche sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno	20
6.1	Caratterizzazione fisica dei terreni	20
6.2	Caratterizzazione meccanica dei terreni e definizione dei parametri geotecnici caratteristici	20
7	Relazione sulla modellazione sismica concernente la "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione	27
7.1	Descrizione della metodologia tromografica e HVSR e scopo dell'indagine	27
7.2	Risultati dell'indagine tromografica eseguita	28
7.3	Ulteriori elementi di Caratterizzazione	29
7.4	Storia sismica locale	29

7.5	Disaggregazione statistico- probabilistica dei dati sismici	34
8	Suscettibilita' alla liquefazione degli orizzonti saturi granulari localmente rilevati	37
9	Conclusioni	41

Elaborati Grafici

Nome File	Descrizione elaborato	Scala	Rev.	Data
All. C.05 Tav. 01	Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche		0	Ott-23
All. C.05 Tav. 02	Carta geolitologica		0	Ott-23
All. C.05 Tav. 03	Carta geomorfologica		0	Ott-23
All. C.05 Tav. 04	Carta dell'instabilità potenziale per il rischio liquefazione		0	Ott-23
All. C.05 Tav. 05	Carta idrogeologica		0	Ott-23

Allegati

Nome File	Descrizione elaborato	Rev.	Data
All. C.05 App.01	Restituzione prove CPT	0	Ott-23
All. C.05 App.02	Restituzione prove CPTU	0	Ott-23
All. C.05 App.03	Restituzione indagini sismiche	0	Ott-23
All. C.05 App.04	Studio di risposta sismica locale	0	Ott-23
All. C.05 App.05	Verifica del potenziale di liquefazione	0	Ott-23

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

1 Premessa

Su incarico ricevuto dalla Società Orosolare S.r.l., si redige la presente Relazione geologica, sismica e di prime considerazioni geotecniche, relativa all'impianto agrivoltaico "Argenta 2", opere connesse ed infrastrutture indispensabili.

La Società intende realizzare nei Comuni di Argenta e Comacchio (FE), un impianto per la produzione di energia elettrica con tecnologia fotovoltaica ad inseguimento monoassiale combinato con l'attività di coltivazione agricola. L'impianto è definito "agrivoltaico" in quanto è stato progettato al fine di assicurare la rispondenza ai criteri stabiliti dalle Linee Guida in materia di impianti agrivoltaici pubblicate dal Ministero della Transizione Ecologica (MiTE) nel giugno 2022 e alla Norma CEI PAS 82-93 "Impianti Agrivoltaici" del gennaio 2023. L'impianto ha una potenza complessiva installata di 168.461,3 kWp e l'energia prodotta sarà interamente immessa nella Rete di Trasmissione Nazionale (RTN). Limitatamente alle opere connesse, come meglio precisato in seguito, sarà interessato anche il comune di Portomaggiore (FE).

Le opere progettuali dell'impianto agrivoltaico da realizzare si possono così sintetizzare:

1. Impianto agrivoltaico con tecnologia del tipo con inseguitore monoassiale e con coltivazione di colture specifiche tra le interfile dei pannelli fotovoltaici e relative linee in cavo interrato in media tensione a 30 kV ("Dorsali MT"), per la connessione delle power station alla Stazione elettrica di trasformazione 132/30 kV, ubicato nei Comuni di Argenta e Comacchio (FE) ("Campo Agrivoltaico" o "Impianto Agrivoltaico");
2. Stazione elettrica di trasformazione 132/30 kV ("Stazione Utente"), da realizzarsi in adiacenza all'area dell'Impianto Agrivoltaico, nel comune di Argenta (FE);
3. Linea in cavo interrato a 132 kV ("Cavidotto 132 kV" o "Linea 132 kV"), per il collegamento della Stazione Utente alla sezione a 132 kV della futura stazione elettrica di trasformazione 380/132/36 kV della RTN denominata "Portomaggiore", di proprietà di Terna. La lunghezza complessiva del tracciato della Linea 132 kV sarà pari a circa 8,8 km e il percorso interesserà i comuni di Argenta e Portomaggiore (FE);
4. Opere RTN (congiuntamente di seguito definiti come "Impianto di Rete"), ubicate nel Comune di Portomaggiore e costituite da:
 - Nuova Stazione RTN a 380/132/36 kV denominata "Portomaggiore", da inserire in entra – esce alla linea RTN a 380 kV "Ferrara Focomorto – Ravenna Canala" e alla linea RTN a 132 kV "Portomaggiore – Bando" (di seguito "Stazione RTN");
 - N.2 nuovi raccordi linea a 380 kV della RTN, necessari per il collegamento in entra-esce della nuova SE RTN alla linea RTN a 380 kV "Ferrara Focomorto – Ravenna Canala" della lunghezza di circa 420m e 700m (di seguito "Raccordi Aerei a 380 kV");
 - N.2 nuovi raccordi linea a 132 kV necessari per il collegamento in entra-esce della nuova SE RTN alla linea RTN a 132 kV "Portomaggiore – Bando", della lunghezza di circa 600m e 820m (di seguito "Raccordi Aerei a 132 kV").

Le opere di cui ai precedenti punti 1), 2) e 3) costituiscono il **Progetto Definitivo dell'Impianto Agrivoltaico e delle Opere Elettriche di Utenza** ed il presente documento si configura come la Relazione geologica, sismica e di prime considerazioni geotecniche allegata al medesimo progetto.

Le opere di cui al precedente punto 4) rappresentano l'Impianto di Rete, che sarà di proprietà del gestore di rete (Terna S.p.A.) e costituiscono il **Progetto Definitivo dell'Impianto di Rete**. Quest'ultimo è stato sviluppato dalla società EG Dolomiti S.r.l., in quanto capofila della progettazione per conto del gestore di rete e include una Relazione Geologica dedicata.

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

- il sopralluogo dell'area in esame;
- l'analisi geologica, geomorfologica, idrologica ed idrogeologica dell'area d'interesse e delle zone limitrofe;
- lo studio del terreno interessato dalle opere in progetto;
- un'indagine geognostica di tipo diretta comprendente l'esecuzione di n. 13 prove penetrometriche;

- un'indagine sismica (di tipo indiretto), con la realizzazione di n. 3 indagini di tipo tomografico;
- le prime considerazioni geotecniche connesse con le opere in progetto.

1.1 Area in esame

Come già descritto in precedenza, l'area interessata dalla realizzazione dell'Impianto Agrivoltaico e della Stazione Utente è situata nella parte orientale della Pianura padana, in provincia di Ferrara, nei comuni di Argenta e Comacchio. Limitatamente alle opere connesse, sarà interessato anche il comune di Portomaggiore (FE).

Nella Figura 1 si fornisce un inquadramento generale dell'Impianto Agrivoltaico e delle opere di connessione su base cartografica C.T.R. 10.000 – Foglio 204160 e Foglio 204120.

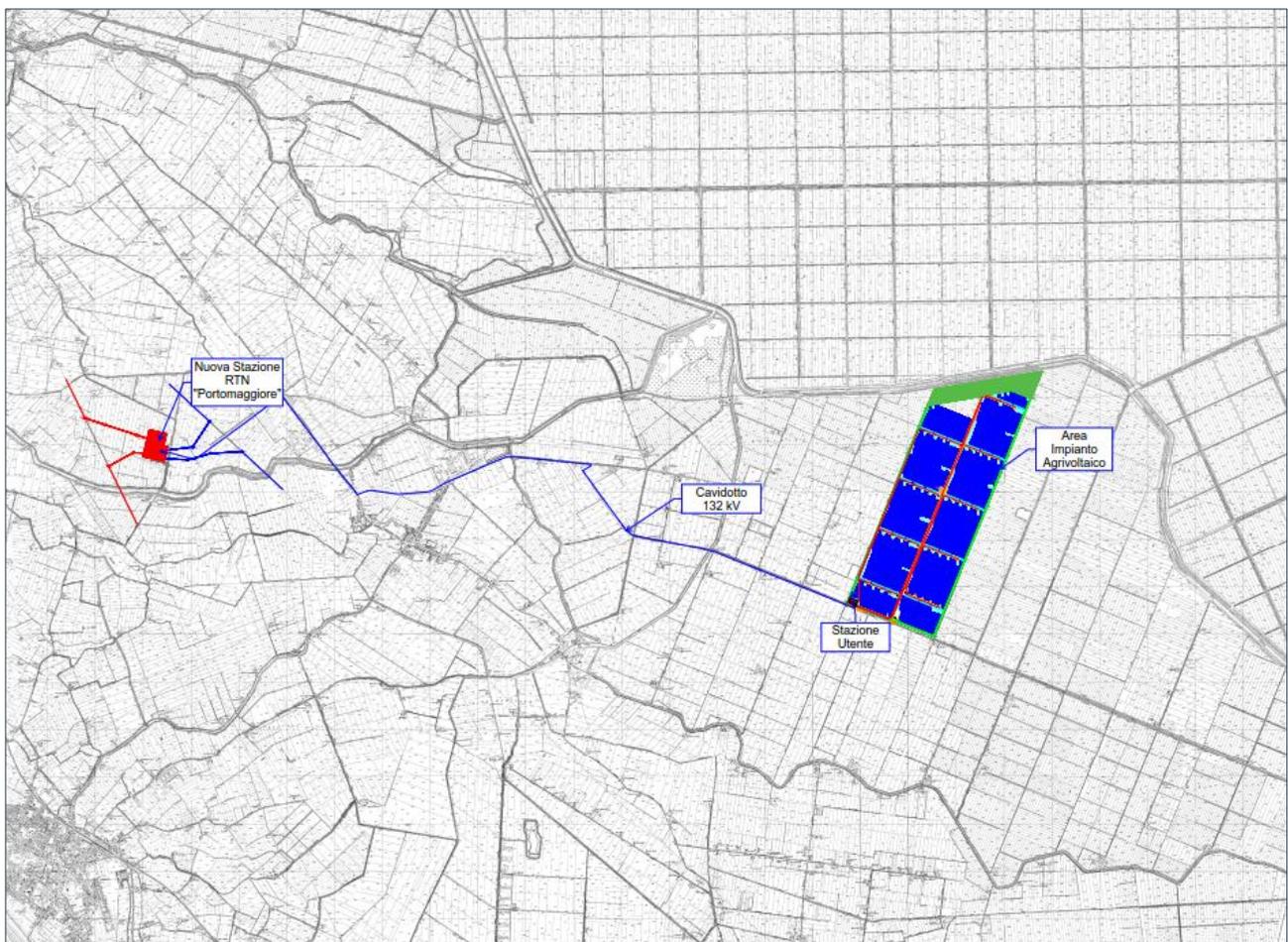


Figura 1 – Inquadramento area Impianto Agrivoltaico e opere connesse su base CTR in scala libera

1.1.1 Impianto agrivoltaico

La superficie complessiva dei terreni su cui si svilupperà l'Impianto Agrivoltaico nella disponibilità della Società è di circa 265 ha (di seguito il "Fondo"). Il paesaggio che caratterizza l'area in esame è riconducibile a quello agricolo di pianura caratterizzata da colture a seminativo semplice. Nelle immediate vicinanze del sito sono presenti poche abitazioni sparse, stabilmente abitate, tipiche degli ambienti rurali, concentrate prevalentemente ad Ovest delle aree di realizzazione dell'impianto. Nelle restanti aree sono presenti esclusivamente nuclei e insediamenti adibiti ad attività agricole e/o al ricovero degli animali nonché fabbricati non utilizzati e/o in stato di abbandono.



Figura 2 – Inquadramento Impianto Agrivoltaico su CTR in scala libera

L'area in esame è ubicata a E-SE degli abitati di Bando e Fiorana, a N dell'abitato di Molino di Filo e ricade in ambito di pianura, a circa -1,00/-2,00 m s.l.m.m.

1.1.2 Impianto di Utenza

L'Impianto di Utenza sarà realizzato allo scopo di collegare l'impianto agrivoltaico alla sezione 132 kV della futura Stazione RTN "Portomaggiore" e sarà sostanzialmente composto da:

1. Stazione elettrica di trasformazione 132/30 kV (Stazione Utente);
2. Linea in cavo interrato a 132 kV (Cavidotto 132 kV) di collegamento allo stallo arrivo produttore nella stazione RTN.

La Stazione Utente complessivamente occuperà un'area che di circa 4000 m². La Stazione è configurata per consentire la connessione di un eventuale futuro progetto di altro proponente, in modo da poter condividere il nuovo stallo a 132 kV nella futura stazione RTN esistente.

Geograficamente l'Impianto di Utenza è inquadrabile nella Carta Tecnica Regionale al Foglio 204160 in scala 1:10.000. Nella Figura 4 sono rappresentati sia la Stazione Utente che il Cavidotto 132 kV su questa carta.



Figura 3 - Inquadramento Stazione Utente e Cavidotto 132 kV su CTR scala libera

1.1.2.1 Stazione di trasformazione 132/30 kV (Stazione Utente)

La Stazione Utente ha lo scopo di elevare la tensione da 30 kV a 132 kV, per convogliare la potenza generata dall'impianto agrivoltaico verso la Rete di Trasmissione Nazionale (RTN).

L'impianto è stato suddiviso, a livello 30 kV, in due porzioni di potenza equivalente, ciascuna facente capo ad un proprio quadro 30kV, a sua volta collegato a un proprio trasformatore elevatore.

Nell'area dedicata alla Stazione Utente si prevede la costruzione di un Edificio Utente al cui interno saranno realizzate la sala quadri MT, con uno spazio separato dedicato al trasformatore ausiliario, la sala quadri BT/sala controllo, un locale misure, una sala riunioni ed i servizi igienici.

Per ulteriori dettagli si rimanda alla Tav. 40 "Planimetria viste e sezione Edificio Utente – Stazione Utente" del Progetto Definitivo Impianto Agrivoltaico ed Opere Elettriche di Utenza.

1.1.2.2 Cavidotto interrato a 132 kV

Il collegamento tra la Stazione Utente dell'impianto e lo stallo arrivo produttore nella futura Stazione Elettrica RTN di Portomaggiore sarà realizzato in cavo interrato (terna di cavi a 132 kV), per un tracciato di lunghezza pari a circa 8,8 km.

I cavi di collegamento saranno attestati a terminali per esterno ad entrambe le estremità del circuito. Data la lunghezza del percorso saranno necessarie giunzioni lungo il tracciato del cavo.

1.2 Scopo della presente documentazione

La presente relazione di modellazione geologica, sismica e di prime considerazioni geotecniche è basata su di una campagna di indagini atte ad acquisire le necessarie conoscenze geologiche, litostratigrafiche, geotecniche e di caratterizzazione sismica dell'area in esame (anche sulla base di riscontri su dati relativi ad aree prossime ed assimilabili a quella in esame, conoscenze in possesso di bibliografia). La figura successiva rappresenta l'ubicazione delle indagini geognostiche e sismiche effettuate, su base orto-fotografica tratta da Google Earth ©.



Figura 4 - Ubicazione dell'area e dei punti di indagine su ortofoto Google Earth © in scala libera (in arancio l'area destinata a campo FV).

La presente modellazione è stata condotta ai sensi delle NTC vigenti e dell'O.P.C.M. 3274/2003 e ss.mm.ii.

1.3 Indagini geognostiche di riferimento

1.3.1 Impianto agrivoltaico

Si è eseguita, in accordo con la Committenza, una indagine stratigrafica, sismica e geotecnica locale che è consistita nell'esecuzione delle seguenti prove:

- n. 8 prove CPT;
- n. 4 prove CPTU;
- n. 2 indagine sismica di tipo tromografico (TR).

Per l'espletamento delle prove sono stati utilizzati:

- CPT: penetrometro statico tipo Pagani a doppio effetto atto al rilievo dell'attrito laterale;
- CPTU: penetrometro statico tipo Pagani con piezocono;
- Indagini tromografica TR: tromografo TROMINO® e l'apposito software GRILLA® di costruzione Micromed.

Ci si è ulteriormente basati su alcune indagini stratigrafiche e penetrometriche di bibliografia come raffronto a quanto puntualmente rilevato.

1.3.2 Stazione di trasformazione 132/30 kV (Stazione Utente)

Si è eseguita, in accordo con la Committenza, una indagine stratigrafica, sismica e geotecnica locale che è consistita

nell'esecuzione delle seguenti prove:

- n. 1 prove CPTU;
- n. 1 indagine sismica di tipo tromografico (TR).

Per l'espletamento delle prove sono stati utilizzati:

- CPTU: penetrometro statico tipo Pagani con piezocono;
- Indagine tromografica TR: tromografo TROMINO[®] e l'apposito software GRILLA[®] di costruzione Micromed.

Ci si è ulteriormente basati su alcune indagini stratigrafiche e penetrometriche di bibliografia come raffronto a quanto puntualmente rilevato.

1.3.1 Cavidotto interrato a 132 kV

Non si è svolta alcuna indagine geognostica lungo il tracciato trattandosi di reti tecnologiche interrate a soli 1,2 m di profondità. Si ritiene ad ogni modo opportuno ricordare che gli attraversamenti del cavidotto di aree demaniali (TOC) saranno soggette a domanda di concessione per l'occupazione di suolo/sottosuolo delle aree e dovranno essere rispettate le prescrizioni impartite all'interno dell'atto.

Per ulteriori dettagli rispetto alla modalità di posa e risoluzione interferenze si rimanda alle Tav. 48 "Percorso Linea di collegamento a 132 kV e tipico posa cavo" e Tav.49 a÷b "Identificazione interferenze - Linea a 132 kV", e all'Allegato C17 "Censimento e risoluzione delle Interferenze".

2 Quadro normativo di riferimento

Per l'esecuzione dell'incarico si è fatto riferimento alle seguenti leggi nazionali e regionali:

- D.M. 11/03/1988 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, ed i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione" in particolare per quanto attiene alla sezione H:
 - L. 02/02/1974 n. 64 "Provvedimenti per le costruzioni con particolare riferimento alle prescrizioni per le zone sismiche" (art.13);
 - D.M. 16/01/1996 "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche" in particolare al punto C.6.1.1.: Azioni orizzontali – coefficiente di fondazione " ϵ ";
- O.P.C.M. 3274/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" e s.m.i. e decreti attuativi;
- L.R. 30/10/2008 n.19 "Norme per la riduzione del rischio sismico" e s.m.i. e circolari illustrative;
- D.G.R. 1373/2011 "Atto di indirizzo recante l'individuazione della documentazione attinente alla riduzione del rischio sismico necessaria per il rilascio del permesso di costruire e per gli altri titoli edilizi, alla individuazione degli elaborati costitutivi e dei contenuti del progetto esecutivo riguardante le strutture e alla definizione delle modalità di controllo degli stessi, ai sensi dell'art. 12, comma 1, e dell'art. 4, comma 1, della L.R. n. 19 del 2008;
- D.M.17/01/18 "Norme tecniche per le costruzioni";
- D.G.R. 630/2019 "Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n.24/2017)" e smi;

Si è fatto altresì riferimento a varia e numerosa bibliografia tecnica.

3 Vincolistica

Per la valutazione degli strumenti di pianificazione sovraordinati che quelli comunali si rimanda allo Studio di Impatto Ambientale, in particolare si fa riferimento a:

- PTPR (Piano Territoriale Paesistico Regionale) approvato con DCR n. 1338 del 28 gennaio 1993;
- PTCP (Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale) della Provincia di Ferrara, elaborato tra il 1993 e il 1995, successivamente all'entrata in vigore della Legge 142/90, e formalmente adottato nel marzo del 1997;
- PAI (Piano di Stralcio Assetto Idrogeologico) del Bacino del Fiume PO adottato con deliberazione n°18 del 26/04/2001;
- PGRA (Piano di Gestione del Rischio Alluvione) – Terzo Ciclo di Pianificazione 2021-2027, approvato con i DPCM del 1°dicembre 2022, pubblicati sulla GU Serie Generale n.32 del 08-02-2023;
- PUG (Piano Urbanistico Generale) dell'Unione dei Comuni Valli e Delizie (di cui fanno parte i comuni di Argenta insieme a Ostellato e Portomaggiore), efficace dal 26 ottobre 2022;
- PRG (Piano Regolatore Generale) del Comune di Comacchio.

4 Relazione geologica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione geologica del sito

4.1 Assetto geologico generale

L'assetto geologico complessivo dell'area in esame è legato all'evoluzione del grande bacino subsidente padano di riempimento detritico ed all'evoluzione tettonica compressiva e convergente fra il dominio Sud-alpino ed il dominio appenninico. Ciò ha comportato la formazione di un complesso sistema di pieghe e faglie, orientate da NNO a SSE, ovvero da ONO a ESE o ancora Nord-Sud. Per la bassa Provincia di Ferrara e quindi anche per il territorio dei Comuni di Argenta, Comacchio e Portomaggiore, nonché ovviamente per l'area in esame la situazione può essere descritta in maniera molto semplificata con la presenza di un notevole "pacco" di deposizioni alluvionali sciolte e/o fini, d'età Pleistocenica (dal Pleistocene Medio-Olocene: 0,45 Milioni di anni-presente, al Pliocene Medio-Superiore: 4,1- 1,8 Milioni di anni) sovrastanti le strutture appenniniche sepolte, d'età Miocenica (2,4- 5,4 Milioni di Anni fa), come riportato alle seguenti quali sovrascorrimenti e/o fronti dai accavallamento (sia della successione carbonatica Meso-Cenozoica che del Triassico Inferiore (Accavallamento profondo d'età Post-Pleistocene Medio). Considerato che nel tempo si sono registrate ricadute sismiche locali, tali strutture risultano essere potenziali sedi di riattivazione di eventi sismici dell'area padana e dell'area in esame, e se ne darà rapido conto al paragrafo 6 "Relazione sulla modellazione sismica concernente la pericolosità sismica di base del sito di costruzione".

Nelle vicinanze dell'area di studio si rilevano sovrascorrimenti attivi nel basamento e nella successione carbonatica e strutture neogeniche senza evidenza di attività recente.

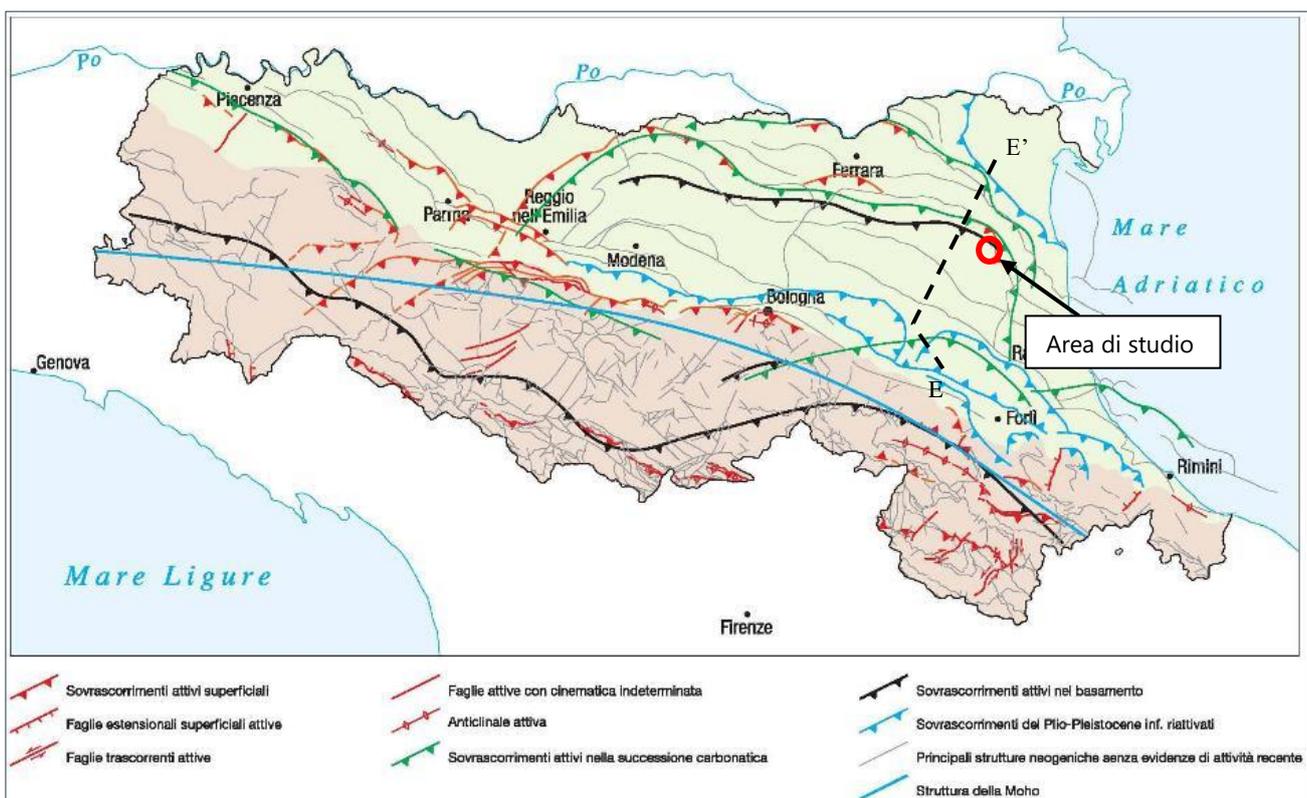


Figura 5 – Schema geologico tratto dalla Carta Sismotettonica dell'Emilia-Romagna

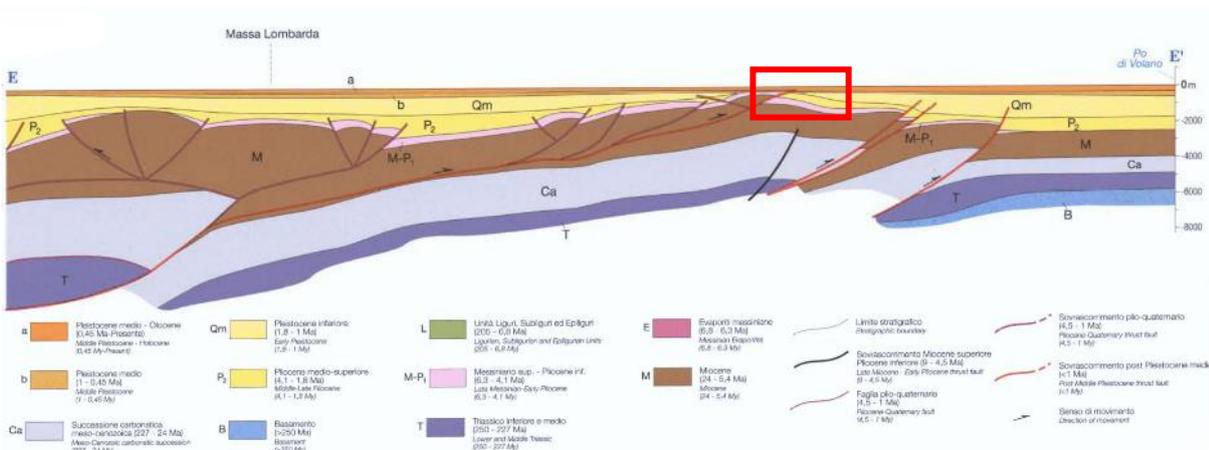


Figura 6 – Sezione geologica E-E', con l'andamento delle pieghe e delle faglie del substrato

4.2 Assetto geologico e geomorfologico dell'area in esame

Dal punto di vista geologico lato-sensu e sulla base delle apposite cartografie di riferimento locale e regionale, è possibile ascrivere i terreni di fondazione, caratterizzanti l'area in esame, ai depositi di origine alluvionale.

4.2.1 Impianto agrivoltaico e Stazione Utente

Dalla Carta Geologica di pianura dell'Emilia-Romagna si evince come per l'area in oggetto si potrebbero riscontrare depositi di natura prevalentemente coesiva (senso lato) ovvero 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. Tali litotipi sono ascrivibili a depositi di baia interdistributrice.

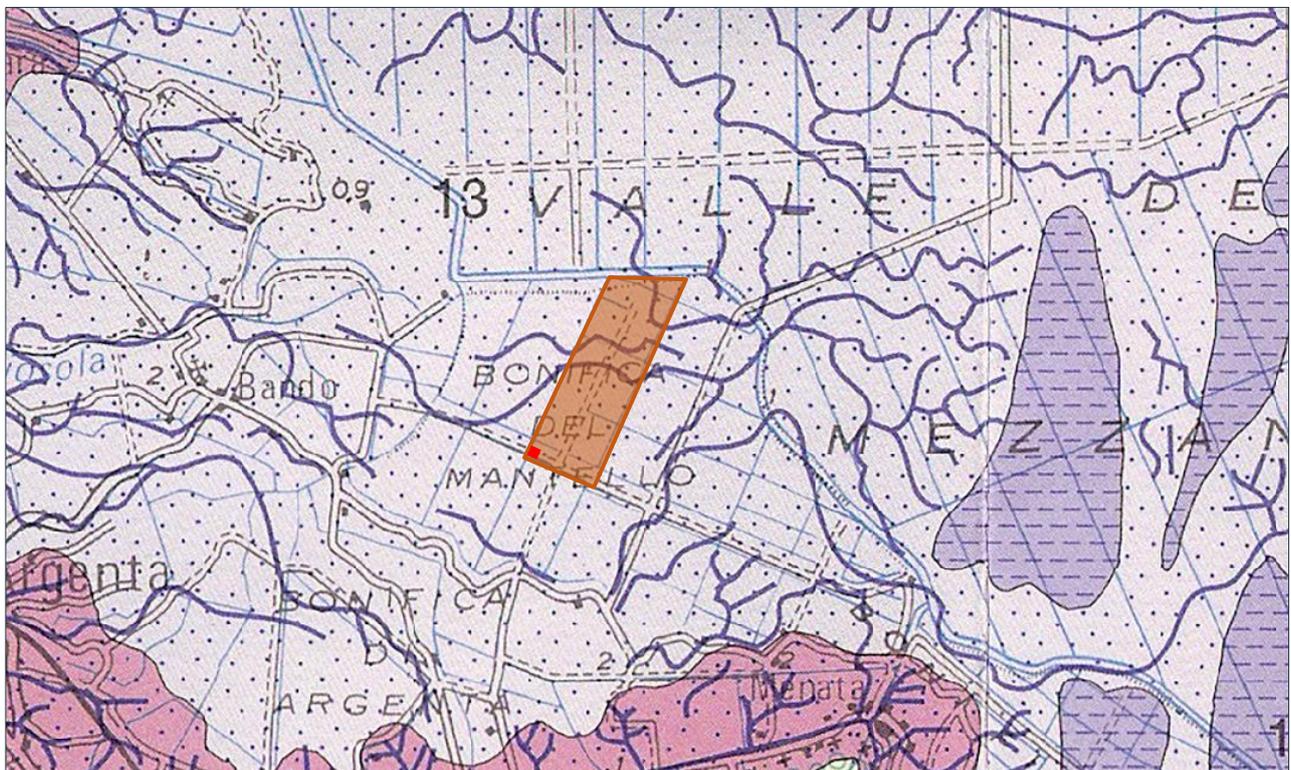


Figura 7 – Estratto della Carta geologica di pianura in scala libera, in arancio l'area dell'impianto agrivoltaico e in rosso la Stazione Utente.

La Carta Geologica dell'Emilia-Romagna in scala 1:50.000 (disponibile dal sito del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli) indica che l'area di studio ricade in un ambiente di piana deltizia, che nello specifico trattasi di litotipi argillo-limosi con sostanza organica (torba) ovvero di terreni tipici dei depositi di palude in area interdistributrice con la presenza di una traccia di alveo fluviale abbandonato certa.

L'unità geologica è la AES8a, ovvero l'unità di Modena, in particolare trattasi del Sintema emiliano-romagnolo superiore - Subsistema di Ravenna.

La AES8a è un'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. Al tetto l'unità presenta localmente un suolo calcareo poco sviluppato di colore grigio-giallastro.

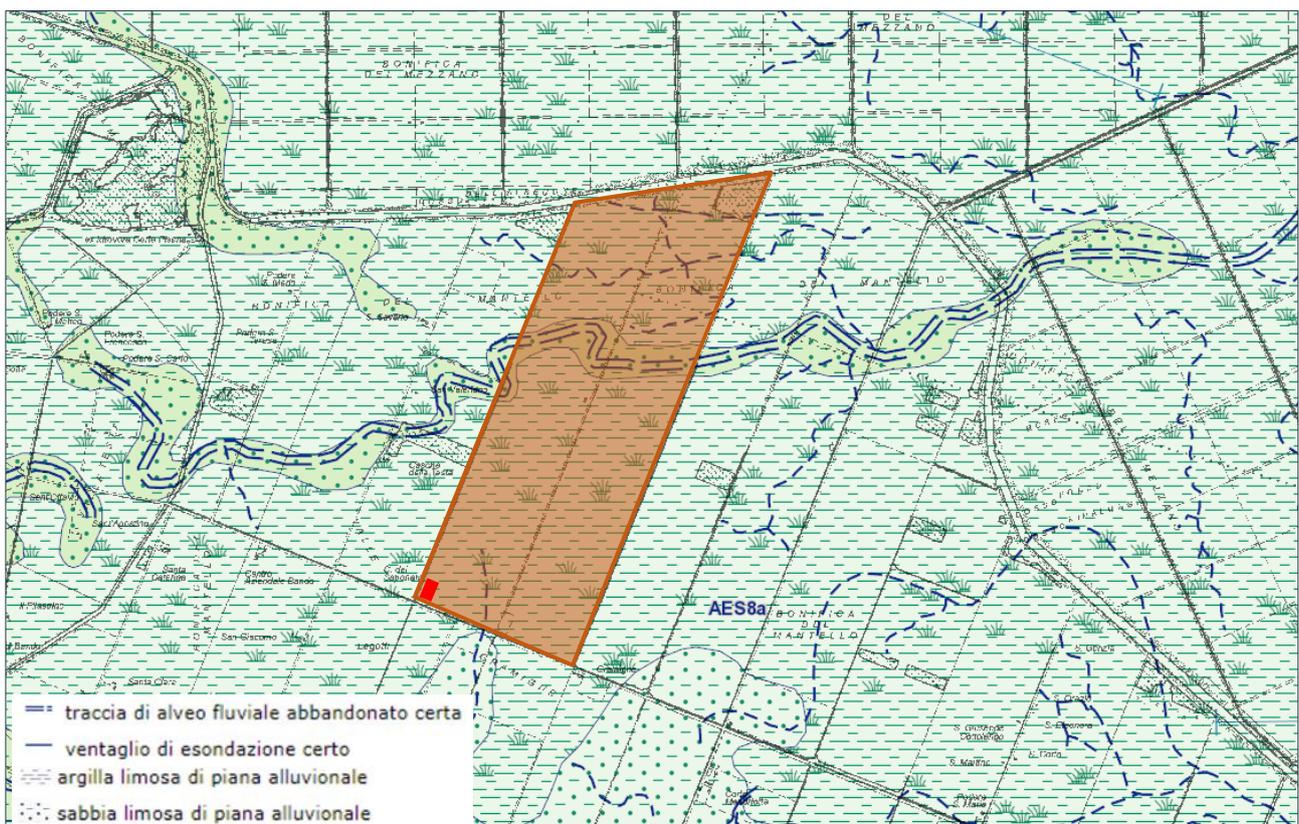


Figura 8 – Estratto della Carta geologica dell'Emilia-Romagna in arancio l'area dell'impianto agrivoltaico e in rosso la Stazione Utente.

La condizione litologica superficiale, riscontrata in fase di indagine penetrometrica, è pienamente conforme con quanto indicato dalle cartografie tematiche di cui sopra che sostanzialmente considerano la litologia di superficie ovvero dei primi decimetri di spessore. Dall'analisi delle risultanze delle prove penetrometriche eseguite e delle indagini bibliografiche, si sono potuti sostanzialmente rilevare litotipi argillosi e argillo-limosi caratterizzati da una probabile presenza di sostanza organica/torba fino ad una profondità variabile di -5,00/-9,00 m dal p.c. e a seguire le prove rilevano non tutte alla medesima profondità la presenza di orizzonti maggiormente caratterizzati da litotipi sabbio-limosi a volte intercalati nuovamente a litotipi argillo-limosi ed in particolare:

- da -4,00 a -15,00 nella CPT1;
- da -5,00 a -7,00 nella CPT4
- da -8,00 a -9,00 poi oltre i -15,00 nella CPTU2
- da -10,00 a -11,00 e a -13,00 nella CPTU3
- da -10,00 a -13,00 poi oltre i -15,00 nella CPTU5

4.2.2 Cavidotto interrato a 132 kV

Dalla Carta Geologica di pianura dell'Emilia-Romagna si evince come per l'area in oggetto si potrebbero riscontrare depositi di natura prevalentemente coesiva (senso lato) ovvero 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. Tali litotipi sono ascrivibili a depositi di baia interdistributrice.

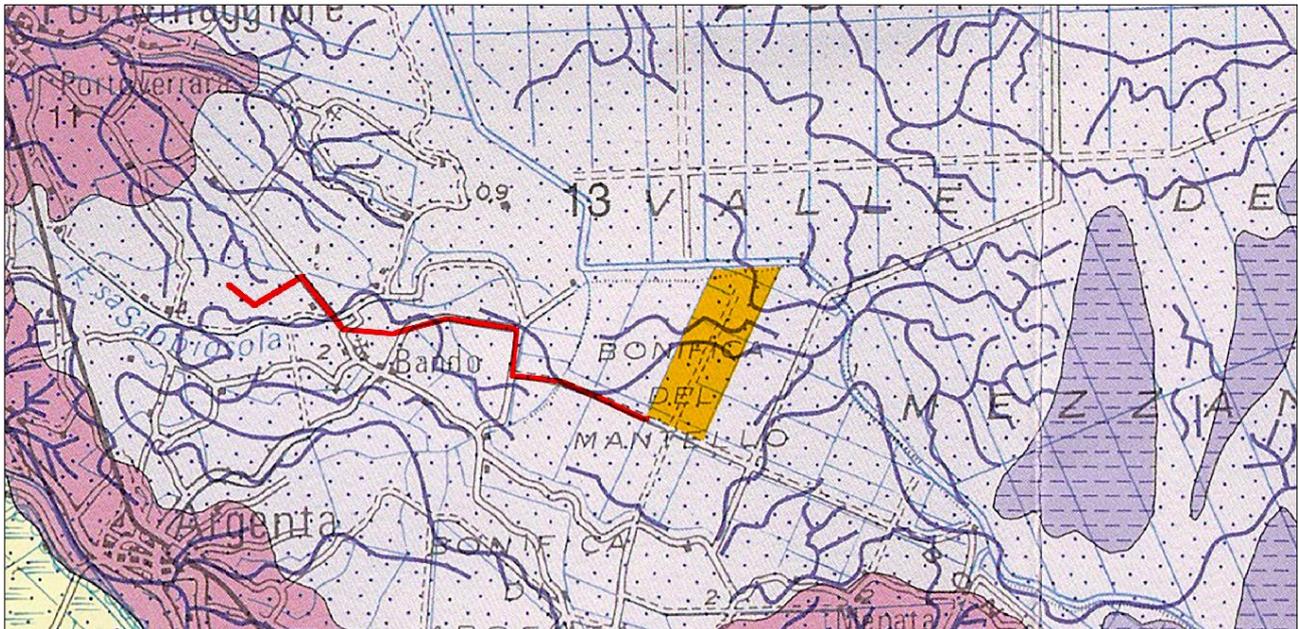


Figura 9 – Estratto della Carta geologica di pianura in scala libera

La Carta Geologica dell'Emilia-Romagna in scala 1:50.000 (disponibile dal sito del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli) indica che l'area di studio ricade in un ambiente di piana deltizia, che nello specifico trattasi di litotipi argillo-limosi con sostanza organica (torba) ovvero di terreni tipici dei depositi di palude in area interdistributrice con la presenza di un traccia di alveo fluviale abbandonato certa e litotipi sabbio-limosi ovvero di terreni tipici di deposito di delta minore in area interdistributrice.

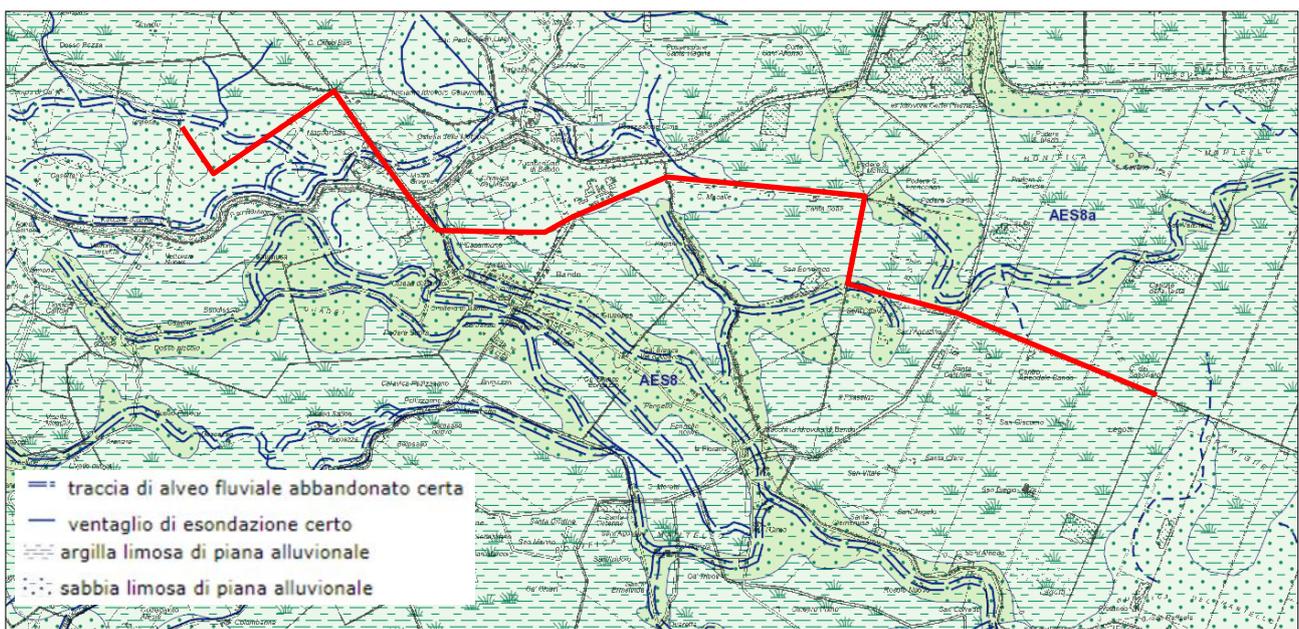


Figura 10 – Estratto della Carta geologica dell'Emilia-Romagna

4.3 Litostratigrafia dell'area in esame e prime considerazioni geotecniche di massima

4.3.1 Impianto agrivoltaico

Sulla base delle prove eseguite, si riportano le seguenti caratteristiche litostratigrafiche caratterizzanti e la resistenza del terreno (Q_c), dal punto di vista geologico, l'area in esame.

- **Orizzonte 1:** da -0,00 m a -4,00~-5,00/-7,00~-10,50 m dal p.c.

Litotipi argillosi e argillosi debolmente limosi con probabile presenza di sostanza organica/torba a componente coesiva prevalente. I valori di Q_c sono mediamente compresi tra 5 e 10 kg/cm² nei livelli maggiormente caratterizzati da una frazione organica prevalente e tra 10 e 20 kg/cm² nei livelli argillosi e argillosi debolmente limosi.

- **Orizzonte 2:** da -4,00~-5,00/-7,00~-10,50 m a -14,00/-17 m dal p.c.

Litotipi limosi, limo-argillosi e limo sabbiosi a componente sia coesiva che granulare che localmente possono essere intercalati a livelli maggiormente sabbiosi e limo-sabbiosi (CPT1, CPT3, CPT5, CPT8 e CPTU5). I valori di Q_c sono mediamente compresi tra 15 e 30 kg/cm² nei livelli maggiormente argillo-limosi e 30 e 60 kg/cm² nei livelli maggiormente sabbio-limosi.

Per una puntuale individuazione della stratigrafia rilevata si rimanda all'All. C.05 App.01 e All. C.05 App.02 in cui sono presenti le schede di restituzione stratigrafica. Per ulteriori considerazioni di natura geotecnica si faccia riferimento al paragrafo 6 che riporta le prime considerazioni geotecniche.

Durante la fase esecutiva, si raccomanda di provvedere alla validazione del modello descritto nel presente documento, ovvero verificare se quanto rilevabile anche solo superficialmente durante la fase di scavo delle eventuali strutture fondali sia sufficientemente aderente a quanto descritto. Nel caso invece si individuasse la presenza di situazioni anomale localizzate e non messe in evidenza dalle prove eseguite, sarebbe opportuno procedere con un aggiornamento del modello proposto al fine di ottenere un modello geologico di dettaglio per la fase progettuale / realizzativa.

4.3.2 Stazione Utente

Sulla base della prova CPTU1 eseguita all'interno dell'area in cui sarà realizzata la Stazione Utente, si riportano le seguenti caratteristiche litostratigrafiche caratterizzanti e la resistenza del terreno (Q_c), dal punto di vista geologico, l'area in esame.

- **Orizzonte 1:** da -0,00 m a -8,70 m dal p.c.

Litotipi argillosi con probabile presenza di sostanza organica/torba a componente coesiva prevalente. I valori di Q_c sono mediamente compresi tra 5 e 10 kg/cm².

- **Orizzonte 2:** da -8,70 m a -14,50 m dal p.c.

Litotipi limosi, limo-argillosi e limo sabbiosi a componente sia coesiva che granulare che tra -13,70/14,30 m dal p.c. risultano essere maggiormente sabbiosi e limo-sabbiosi. I valori di Q_c sono mediamente compresi tra 15 e 30 kg/cm² nei livelli maggiormente argillo-limosi e 30 e 60 kg/cm² nei livelli maggiormente sabbio-limosi.

Per una puntuale individuazione della stratigrafia rilevata si rimanda all'All. C.05 App.01 e All. C.05 App.02 in cui sono presenti le schede di restituzione stratigrafica. Per ulteriori considerazioni di natura geotecnica si faccia riferimento al paragrafo 6 che riporta le prime considerazioni geotecniche.

Durante la fase esecutiva, si raccomanda di provvedere alla validazione del modello descritto nel presente documento, ovvero verificare se quanto rilevabile anche solo superficialmente durante la fase di scavo delle eventuali strutture fondali sia sufficientemente aderente a quanto descritto. Nel caso invece si individuasse la presenza di situazioni anomale localizzate e non messe in evidenza dalle prove eseguite, sarebbe opportuno procedere con un aggiornamento del modello proposto al fine di ottenere un modello geologico di dettaglio per la fase progettuale / realizzativa.

4.3.3 Cavidotto interrato a 132 kV

Non si è svolta alcuna indagine geognostica lungo il tracciato del cavidotto trattandosi di reti tecnologiche interrate a soli 1,2 m di profondità, pertanto a tal proposito si rimanda a quanto descritto al paragrafo 4.2.2 in cui viene fornita una descrizione generale a livello geologico-geomorfologico.

5 Assetto idrologico ed idrogeologico locale

L'area destinata all'impianto agrivoltaico è ubicata a circa 8,00 km A N-E del Fiume Reno, a circa 2 km a Sud dello Scolo Circondariale Gramigne Fosse e a circa 2 km a Nord dello Scolo Dominante Gramigne.

Le opere di connessione dell'impianto agrivoltaico sono ubicate principalmente in aree agricole e attraversano corpi idrici di livello inferiore come scoli.

La falda freatica locale, o almeno la prima falda sospesa, è stata rilevata, nel foro di esecuzione delle CPT/CPTU alla profondità di -1,00/-2,00 m dal p.c. correlabile appunto alla presenza di acquiferi non continui localizzati negli orizzonti argillo-limosi con livelli a maggiore permeabilità. L'andamento della falda freatica, desunta dall'elaborazione delle misure effettuate nelle prove eseguite, viene riportato in All. C.05 Tav. 05 – Carta Idrogeologica.

Si precisa inoltre che la misurazione della falda effettuata nei punti di indagine lungo il confine Est e Ovest in prossimità di scoli consortili ad uso promiscuo (quindi con funzione sia di scolo che di irrigazione) risente dell'interferenza di questi ultimi che risultavano invasati all'atto delle misurazioni. Pertanto, i livelli rilevati nella CPT3 (-1,30), CPT5 (-1,20), CPT7 (-1,00) e CPT8 (-1,20) risultano influenzati maggiormente dal livello di invaso di tali scoli. A tal proposito le misurazioni risultate maggiormente rappresentative sono quelle rilevate nelle prove all'interno dell'area, ovvero CPT2, CPT4, CPT6 e CPTU5 che si attestano su -1,50 m dal p.c.

Durante la fase esecutiva dei lavori di realizzazione della rete scolante dell'impianto si ritiene opportuno approfondire il tema al fine di avere la conferma di quanto sopra esposto.

Per l'area in esame è normale attendersi oscillazioni della falda (che caratterizzano un'ampia fascia della Pianura Padana). È cioè naturale/normale registrare variazioni del livello della falda fra i periodi estivi/caldi e "siccitosi" e quelli invernali/freddi e piovosi. Il regime delle precipitazioni atmosferiche ed il regime termico locale determina la più o meno veloce ricarica (per semplice infiltrazione diretta) o depressione (relativamente ai fenomeni evapo-traspirativi) della prima falda freatica locale. Dalla misura sopra riportata si potranno registrare nei periodi caldi/siccitosi un approfondimento del livello della prima tavola d'acqua rispetto al piano campagna. È plausibile, pertanto, ipotizzare una risalita sino a profondità di 1,50 m circa dal p.c. nei periodi maggiormente piovosi ed un abbassamento sino a 4,00 m circa dal p.c. nei periodi caldi/siccitosi.

Chiaramente di tali variazioni della prima falda occorrerà tenere debito conto relativamente alla progettazione delle strutture previste sull'area in esame in quanto potranno originare fenomeni di rigonfiamento e/o di ritiro dei terreni di fondazione, poiché le variazioni del livello della falda potrebbero svilupparsi anche non in forma ciclica e/o regolare, e anche le eventuali variazioni di volume potrebbero avere andamento imprevedibile. Le variazioni del livello della prima tavola d'acqua potranno poi modificare le caratteristiche geotecniche dei terreni interessati a tale variazione. L'imbibimento, infatti, sviluppandosi su terreni superficiali che presentano una non trascurabile frazione "coesiva" che è per natura più sensibile a tali fenomeni, potrà comunque diminuire le caratteristiche di compressibilità dei terreni.

Relativamente alle falde profonde, queste non verranno ad essere interessate e/o modificate dalla realizzazione delle opere in oggetto.

6 Prime considerazioni geotecniche sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno

Il piano di posa delle strutture fondali dovrà essere posto al di fuori della fascia di terreno di fondazione che potrebbe risentire e/o essere interessata dalle oscillazioni del contenuto di acqua (anche dal fenomeno del gelo, che per le latitudini ed il clima in questione può determinare i propri effetti sino alla profondità di 60 cm circa dal p.c.). Per l'area oggetto della presente relazione occorre ricordare la superficialità della falda durante il periodo invernale/piovoso. Quindi se gli scavi per realizzare le strutture fondali dovessero superare la profondità di -1,50 m dal p.c., potrebbero, se eseguiti in periodo piovoso, dover essere eseguiti in falda o comunque in presenza di acqua; in tal caso si provvederà al mantenimento degli stessi "fronti" di scavo (seppure di modestissima altezza), durante l'esecuzione delle stesse strutture fondali. Occorrerà poi tenere in conto della sottospinta idraulica e del fatto che tale sottospinta potrà essere variabile ovvero anche del tutto assente. Occorrerà infatti tenere conto delle naturali/normali oscillazioni della falda, che potranno essere indicativamente comprese fra 1,50 e 4,00 m circa dal p.c. (come riportato al paragrafo 5 al quale si rimanda per una più attenta descrizione dell'assetto idrogeologico locale). Le oscillazioni potranno seguire o meno il regime termico e pluviometrico atmosferico. La variazione del livello della falda potrebbe causare ritiri e rigonfiamenti (anche centimetrici) degli stessi terreni di fondazione e potrà in tali casi comportare qualche variazione nelle caratteristiche geomeccaniche dei terreni che subiranno tali effetti. Ci si potrà pertanto attendere qualche variazione rispetto ai valori dei parametri geotecnici riportati nelle apposite tabelle di cui al paragrafo 6.2 - Caratterizzazione meccanica dei terreni e definizione dei parametri geotecnici caratteristici. Questo dovrà essere opportunamente preso in considerazione in fase di progettazione esecutiva geotecnica dell'impianto.

Per ulteriori dettagli relativi ai calcoli strutturali in relazione alle opere in progetto ai sensi delle N.T.C. si rimanda all'All. C.06 "Relazione geotecnica e calcoli preliminari strutture".

6.1 Caratterizzazione fisica dei terreni

Le condizioni dei terreni di fondazione sono **non drenate** da una profondità variabile indicativamente compresa fra 1,50/4,00 m circa dal p.c. (come riportato al paragrafo 5), ovvero per la presenza appunto della falda freatica e quindi di una condizione di totale saturazione dei terreni.

Le "condizioni drenate" si verificano qualora si preveda la completa dissipazione della "pressione in eccesso"; per l'area di interesse tali condizioni non si realizzano in quanto vi è la presenza di falda freatica già da 1,50/4,00 m circa dal p.c..

6.2 Caratterizzazione meccanica dei terreni e definizione dei parametri geotecnici caratteristici

Si propone la seguente caratterizzazione dei terreni sulla base dell'indagine penetrometrica eseguita (l'indagine eseguita è stata anche raffrontata ad indagini di bibliografia relative alla caratterizzazione geologica, in senso lato, locale e quindi ad aree prossime a quella in esame e ad essa assimilabili dal punto di vista dell'origine geologica e lito-deposizionale). La Modellazione Geotecnica è proposta nella tabella seguente ed è relativa ai parametri indicati dalle NTC vigenti. Evidentemente è riportata sulla base di ipotesi che si ritengono congrue alle opere da realizzare.

Si è quindi proceduto all'individuazione di valori geotecnici caratteristici che saranno di seguito tabellati; tali valori potranno essere suscettibili di riconsiderazione da parte del progettista, sulla base di eventuali considerazioni diverse da quelle adottate nella presente relazione. L'intera progettazione geotecnica delle strutture è stata comunque attentamente valutata in relazione alla funzionalità ed alle "richieste" (carichi, cedimenti ammissibili, altri requisiti funzionali ecc.) delle strutture nell'All. C.06 "Relazione geotecnica e calcoli preliminari strutture". In questa fase di progetto definitivo si sono già altresì valutati i singoli cedimenti assoluti per le singole strutture da realizzarsi, nei vari punti caratteristici di tali strutture (centro fondazione, margini fondazione ecc.); ulteriori approfondite analisi saranno effettuate nella fase di progetto esecutivo.

Evidentemente l'utilizzo di valori riconducibili al 5° percentile ed anche di una individuazione a volume di rottura grande sono due temi suscettibili di condivisione e concorrenzialità (come da N.T.C.) fra progettista e geologo. Si ritiene che per normali fondazioni superficiali il volume significativo sia stato sufficientemente indagato anche in ragione della natura dei terreni e comunque si è certamente indagata la fascia di terreni fondali ove l'incremento di pressione derivante dai carichi gravanti è significativo.

L'assetto lito-deposizionale/geomeccanico complessivo è congruo con quanto precedentemente riportato (anche ad esempio alla Relazione di Modellazione Geologica) circa l'assetto geologico, geomorfologico e lito- deposizionale degli intorno dell'area in esame.

Data la presenza dei terreni coesivi, ovvero di argille è perciò normale attendersi compressibilità/cedevolezza abbastanza elevata ed una maturazione dei cedimenti che potrà avvenire in tempi anche lunghi. Circa l'entità dei cedimenti e le metodologie e tempistiche di maturazione degli stessi, allo stato attuale delle conoscenze, non avendo a disposizione dati edometrici di laboratorio (derivanti da analisi dirette su campioni di terreno indisturbati raccolti in loco), non è possibile aggiungere niente di più preciso; tale tematica dovrà comunque essere attentamente considerata in fase esecutiva del progetto. In tutti i casi occorrerà attentamente valutare le modalità di interazione fra la struttura da realizzare, le derivanti sovrappressioni che saranno trasmesse ai terreni fondali e le caratteristiche geotecniche dei terreni stessi, già trattate adeguatamente in questa fase di progetto definitivo nell'All. C.06 "Relazione geotecnica e calcoli preliminari strutture".

Nel dettaglio si può osservare quanto segue:

- I litotipi coesivi sono quelli che, dal punto di vista di un intervento di edificazione caratterizzano l'area in esame dal punto di vista fisico-geotecnico. Per tali litotipi le condizioni sature (non drenate, $\phi = 0$) caratterizzanti l'area in esame costituiscono un possibile aggravio per la stabilità delle strutture e/o per l'insorgenza dei cedimenti, nonché per la prolungata durata nel tempo dello svilupparsi di tali cedimenti. Infatti, la natura stessa dei litotipi argillosi non consente la rapida dissipazione delle sovrappressioni (date dai carichi gravanti). Il tema dei cedimenti secondari/o a lungo termine sarà attentamente considerato in fase esecutiva del progetto;
- Le eventuali e normali/naturali variazioni del livello della falda freatica potranno dar origine a fenomeni di rigonfiamenti e ritiri per i terreni in oggetto. Tale fenomeno sarà tenuto in considerazione durante la fase di progettazione esecutiva e mitigato con gli opportuni accorgimenti progettuali.

CPT1

CPT1(falda -2,00)											
prof. dal p.c.	γ (t/m ³)		frazione coesiva								
			Cu (kg/cm ²)		OCR		Eu 50 (kg/cm ²)		Mo (fr. coesiva) (kg/cm ²)		
STRATO 1 Litotipi argillosi con probabile presenza di sostanza organica	0,00-3,80	sopra falda		sotto falda		Cu (k)	OCR (k)	Eu50 (k)	Mo (k)		
		γ (k)	1,85	γ (k)	0,88	0,52	14,58	83,32	39,42		
γ (media)		1,85	γ (media)	0,91	0,61	22,95	104,53	48,40			
γ (min)		1,85	γ (min)	0,86	0,30	7,20	12,00	9,00			
		γ (max)	1,85	γ (max)	0,99	0,98	99,90	167,00	87,00		
STRATO 2 Litotipi limosi e argillo-limosi localmente intercalati a livelli maggiormente sabbiosi e limo-sabbiosi	3,80-15,00	γ (k)	0,96	Cu (k)	-	OCR (k)	-	Eu50 (k)	-	Mo (k)	-
γ (media)		0,97	Cu (media)	-	OCR (media)	-	Eu50 (media)	-	Mo (media)	-	
γ (min)		0,90	Cu (min)	-	OCR (min)	-	Eu50 (min)	-	Mo (min)	-	
γ (max)		1,03	Cu (max)	-	OCR (max)	-	Eu50 (max)	-	Mo (max)	-	
CPT1(falda -2,00)											
frazione					valori indicativi						
Dr (%)	ϕ (°)	E'50 (kg/cm ²)	Mo (fr. granulare) (kg/cm ²)	C' (kg/cm ²)	ϕ' (°)	kW (kg/cm ³)	v				
STRATO 1 Litotipi argillosi con probabile presenza di sostanza organica	Dr(k) -	ϕ (k) -	E'50(k) -	Mo (k) -	c' 0,08	ϕ' 20,00	kW -	v -			
	Dr (media) -	ϕ (media) -	E'50(media) -	Mo (media) -							
	Dr (min) -	ϕ (min) -	E'50 (min) -	Mo (min) -							
	Dr (max) -	ϕ (max) -	E'50 (max) -	Mo (max) -							
STRATO 2 Litotipi limosi e argillo-limosi localmente intercalati a livelli maggiormente sabbiosi e limo-sabbiosi	Dr(k) 59,77	ϕ (k) 32,35	E'50 (k) 121,03	Mo (k) 216,29	c' 0,05	ϕ' 29,00	kW 2,40	v 0,35			
	Dr (media) 61,78	ϕ (media) 32,57	E'50(media) 127,85	Mo (media) 229,06							
	Dr (min) 28,00	ϕ (min) 30,00	E'50 (min) 65,00	Mo (min) 117,00							
	Dr (max) 75,00	ϕ (max) 35,00	E'50 (max) 202,00	Mo (max) 363,00							

CPT2

CPT2(falda -1,40)											
prof. dal p.c.	γ (t/m ³)		frazione coesiva								
			Cu (kg/cm ²)		OCR		Eu 50 (kg/cm ²)		Mo (fr. coesiva) (kg/cm ²)		
STRATO 1 Litotipi argillosi con probabile presenza di sostanza organica	0,00-9,20	sopra falda		sotto falda		Cu (k)	OCR (k)	Eu50 (k)	Mo (k)		
		γ (k)	1,85	γ (k)	0,49	0,15	2,59	25,29	7,04		
γ (media)		1,85	γ (media)	0,52	0,19	5,93	37,11	10,87			
γ (min)		1,85	γ (min)	0,46	0,05	0,60	7,00	2,00			
		γ (max)	1,85	γ (max)	0,92	0,64	86,70	177,00	48,00		
STRATO 2 Litotipi limosi e argillo-limosi localmente intercalati a livelli maggiormente sabbiosi e limo-sabbiosi	9,20-10,00	γ (k)	0,91	Cu (k)	0,94	OCR (k)	9,74	Eu50 (k)	161,04	Mo (k)	78,39
γ (media)		0,94	Cu (media)	1,04	OCR (media)	10,77	Eu50 (media)	177,00	Mo (media)	91,00	
γ (min)		0,89	Cu (min)	0,91	OCR (min)	9,50	Eu50 (min)	157,00	Mo (min)	75,00	
γ (max)		0,97	Cu (max)	1,10	OCR (max)	11,60	Eu50 (max)	187,00	Mo (max)	99,00	
CPT2(falda -1,40)											
frazione					valori indicativi						
Dr (%)	ϕ (°)	E'50 (kg/cm ²)	Mo (fr. granulare) (kg/cm ²)	C' (kg/cm ²)	ϕ' (°)	kW (kg/cm ³)	v				
STRATO 1 Litotipi argillosi con probabile presenza di sostanza organica	Dr(k) -	ϕ (k) -	E'50(k) -	Mo (k) -	c' 0,08	ϕ' 20,00	kW -	v -			
	Dr (media) -	ϕ (media) -	E'50(media) -	Mo (media) -							
	Dr (min) -	ϕ (min) -	E'50 (min) -	Mo (min) -							
	Dr (max) -	ϕ (max) -	E'50 (max) -	Mo (max) -							
STRATO 2 Litotipi limosi e argillo-limosi localmente intercalati a livelli maggiormente sabbiosi e limo-sabbiosi	Dr(k) 37,72	ϕ (k) 28,34	E'50 (k) 46,60	Mo (k) 83,43	c' 0,05	ϕ' 29,00	kW 2,40	v 0,35			
	Dr (media) 41,00	ϕ (media) 28,75	E'50(media) 52,25	Mo (media) 93,75							
	Dr (min) 35,00	ϕ (min) 28,00	E'50 (min) 42,00	Mo (min) 75,00							
	Dr (max) 43,00	ϕ (max) 29,00	E'50 (max) 57,00	Mo (max) 102,00							

CPT3

CPT2(falda -1,40)																
prof. dal p.c.	γ (t/m ³)		frazione coesiva													
			Cu (kg/cm ²)		OCR		Eu 50 (kg/cm ²)		Mo (fr. coesiva) (kg/cm ²)							
STRATO 1 Litotipi argillosi con probabile presenza di sostanza organica	0,00-9,20	sopra falda	sotto falda	Cu (k)	OCR (k)	Eu50 (k)	Mo (k)									
		γ (k)	1,85	γ (k)	0,49	0,15	2,59	25,29	7,04							
γ (media)	1,85	γ (media)	0,52	0,19	5,93	37,11	10,87									
γ (min)	1,85	γ (min)	0,46	0,05	0,60	7,00	2,00									
γ (max)	1,85	γ (max)	0,92	0,64	86,70	177,00	48,00									
STRATO 2 Litotipi limosi e argillo-limosi localmente intercalati a livelli maggiormente sabbiosi e limo-sabbiosi	9,20-10,00	γ (k)	0,91	Cu (k)	0,94	OCR (k)	9,74	Eu50 (k)	161,04	Mo (k)	78,39					
		γ (media)	0,94	Cu (media)	1,04	OCR (media)	10,77	Eu50 (media)	177,00	Mo (media)	91,00					
γ (min)	0,89	Cu (min)	0,91	OCR (min)	9,50	Eu50 (min)	157,00	Mo (min)	75,00							
γ (max)	0,97	Cu (max)	1,10	OCR (max)	11,60	Eu50 (max)	187,00	Mo (max)	99,00							
CPT3(falda -1,30)																
frazione					valori indicativi											
Dr (%)	ϕ (°)		E'50 (kg/cm ²)	Mo (fr. granulare) (kg/cm ²)	c' (kg/cm ²)	ϕ' (°)	kW (kg/cm ³)	v								
STRATO 1 Litotipi argillosi con probabile presenza di sostanza organica	Dr(k)	-	ϕ (k)	-	E'50(k)	-	Mo (k)	-								
	Dr (media)	-	ϕ (media)	-	E'50(media)	-	Mo (media)	-	c'	0,08	ϕ'	20,00	kW	1,20	v	0,50
	Dr (min)	-	ϕ (min)	-	E'50 (min)	-	Mo (min)	-								
	Dr (max)	-	ϕ (max)	-	E'50 (max)	-	Mo (max)	-								
STRATO 2 Litotipi limosi e argillo-limosi localmente intercalati a livelli maggiormente sabbiosi e limo-sabbiosi	Dr(k)	30,29	ϕ (k)	28,69	E'50 (k)	51,33	Mo (k)	87,86								
	Dr (media)	35,63	ϕ (media)	29,22	E'50(media)	59,26	Mo (media)	104,62	c'	0,05	ϕ'	29,00	kW	2,40	v	0,35
	Dr (min)	1,00	ϕ (min)	26,00	E'50 (min)	18,00	Mo (min)	8,00								
	Dr (max)	60,00	ϕ (max)	32,00	E'50 (max)	112,00	Mo (max)	201,00								

CPT4

CPT4(falda -1,40)											
prof. dal p.c.	γ (t/m ³)		frazione coesiva								
			Cu (kg/cm ²)		OCR		Eu 50 (kg/cm ²)		Mo (fr. coesiva) (kg/cm ²)		
STRATO 1 Litotipi argillosi con probabile presenza di sostanza organica	0,00-5,20	sopra falda	sotto falda	Cu (k)	OCR (k)	Eu50 (k)	Mo (k)				
		γ (k)	1,85	γ (k)	0,55	0,13	2,90	31,51	8,31		
γ (media)	1,85	γ (media)	0,61	0,17	7,70	42,76	12,28				
γ (min)	1,85	γ (min)	0,46	0,05	0,50	7,00	2,00				
γ (max)	1,85	γ (max)	0,90	0,70	99,90	118,00	52,00				
STRATO 2a Litotipi sabbiosi e sabbio- limosi	5,20-6,60	γ (k)	0,87	Cu (k)	-	OCR (k)	-	Eu50 (k)	-	Mo (k)	-
		γ (media)	0,89	Cu (media)	-	OCR (media)	-	Eu50 (media)	-	Mo (media)	-
		γ (min)	0,86	Cu (min)	-	OCR (min)	-	Eu50 (min)	-	Mo (min)	-
		γ (max)	0,96	Cu (max)	-	OCR (max)	-	Eu50 (max)	-	Mo (max)	-
STRATO 2b Litotipi limosi e argillo-limosi	6,60-10,00	γ (k)	0,77	Cu (k)	0,32	OCR (k)	2,34	Eu50 (k)	137,94	Mo (k)	26,58
		γ (media)	0,82	Cu (media)	0,41	OCR (media)	2,98	Eu50 (media)	167,24	Mo (media)	33,06
		γ (min)	0,46	Cu (min)	0,15	OCR (min)	0,90	Eu50 (min)	26,00	Mo (min)	6,00
		γ (max)	0,94	Cu (max)	0,78	OCR (max)	5,80	Eu50 (max)	242,00	Mo (max)	58,00
CPT4(falda -1,40)											
frazione					valori indicativi						
Dr (%)	ϕ (°)	E'50 (kg/cm ²)	Mo (fr. granulare) (kg/cm ²)	C' (kg/cm ²)	ϕ' (°)	kW (kg/cm ³)	v				
STRATO 1 Litotipi argillosi con probabile presenza di sostanza organica	Dr(k) -	ϕ (k) -	E'50(k) -	Mo (k) -	c' 0,08	ϕ' 20,00	kW -	v -			
Dr (media) -	ϕ (media) -	E'50(media) -	Mo (media) -								
Dr (min) -	ϕ (min) -	E'50 (min) -	Mo (min) -								
Dr (max) -	ϕ (max) -	E'50 (max) -	Mo (max) -								
STRATO 2a Litotipi sabbiosi e sabbio- limosi	Dr(k) 26,74	ϕ (k) 27,70	E'50 (k) 26,14	Mo (k) 64,81	c' 0,05	ϕ' 29,00	kW 2,40	v 0,35			
	Dr (media) 41,43	ϕ (media) 28,57	E'50(media) 47,57	Mo (media) 85,71							
	Dr (min) 6,00	ϕ (min) 26,00	E'50 (min) 17,00	Mo (min) 30,00							
	Dr (max) 58,00	ϕ (max) 30,00	E'50 (max) 68,00	Mo (max) 123,00							
STRATO 2b Litotipi limosi e argillo-limosi	Dr(k) -	ϕ (k) -	E'50 (k) -	Mo (k) -	c' 0,08	ϕ' 20,00	kW 1,20	v 0,50			
	Dr (media) -	ϕ (media) -	E'50(media) -	Mo (media) -							
	Dr (min) -	ϕ (min) -	E'50 (min) -	Mo (min) -							
	Dr (max) -	ϕ (max) -	E'50 (max) -	Mo (max) -							

CPT5

CPT5(falda -1,20)											
prof. dal p.c.	γ (t/m ³)		frazione coesiva								
			Cu (kg/cm ²)		OCR		Eu 50 (kg/cm ²)		Mo (fr. coesiva) (kg/cm ²)		
STRATO 1 Litotipi argillosi con probabile presenza di sostanza organica	0,00-8,20	sopra falda	sotto falda	Cu (k)	OCR (k)	Eu50 (k)	Mo (k)				
		γ (k)	1,85	γ (k)	0,50	0,14	2,44	23,91	7,03		
γ (media)	1,85	γ (media)	0,54	0,18	4,39	36,75	11,15				
γ (min)	1,85	γ (min)	0,46	0,05	0,60	6,00	2,00				
γ (max)	1,85	γ (max)	0,94	0,67	60,00	140,00	50,00				
STRATO 2 Litotipi limosi e argillo-limosi localmente intercalati a livelli maggiormente sabbiosi e limo-sabbiosi	8,20-15,00	γ (k)	0,91	Cu (k)	0,77	OCR (k)	5,39	Eu50 (k)	215,02	Mo (k)	60,10
		γ (media)	0,94	Cu (media)	0,81	OCR (media)	6,05	Eu50 (media)	234,08	Mo (media)	64,20
γ (min)	0,85	Cu (min)	0,50	OCR (min)	2,90	Eu50 (min)	152,00	Mo (min)	40,00		
γ (max)	0,99	Cu (max)	0,98	OCR (max)	10,60	Eu50 (max)	335,00	Mo (max)	87,00		
CPT5(falda -1,20)											
frazione					valori indicativi						
Dr (%)	ϕ (°)	E'50 (kg/cm ²)	Mo (fr. granulare) (kg/cm ²)	C' (kg/cm ²)	ϕ' (°)	kW (kg/cm ³)	v				
STRATO 1 Litotipi argillosi con probabile presenza di sostanza organica	Dr(k) -	ϕ (k) -	E'50(k) -	Mo (k) -	c' 0,08	ϕ' 20,00	kW -	v -			
Dr (media) -	ϕ (media) -	E'50(media) -	Mo (media) -								
Dr (min) -	ϕ (min) -	E'50 (min) -	Mo (min) -								
Dr (max) -	ϕ (max) -	E'50 (max) -	Mo (max) -								
STRATO 2 Litotipi limosi e argillo-limosi localmente intercalati a livelli maggiormente sabbiosi e limo-sabbiosi	Dr(k) 23,23	ϕ (k) 27,60	E'50 (k) 37,83	Mo (k) 68,12	c' 0,05	ϕ' 29,00	kW 2,40	v 0,35			
Dr (media) 26,62	ϕ (media) 27,93	E'50(media) 41,30	Mo (media) 74,40								
Dr (min) 5,00	ϕ (min) 26,00	E'50 (min) 22,00	Mo (min) 39,00								
Dr (max) 44,00	ϕ (max) 31,00	E'50 (max) 73,00	Mo (max) 132,00								

CPT6

CPT6(falda -1,40)											
prof. dal p.c.	γ (t/m ³)		frazione coesiva								
			Cu (kg/cm ²)		OCR		Eu 50 (kg/cm ²)		Mo (fr. coesiva) (kg/cm ²)		
STRATO 1 Litotipi argillosi con probabile presenza di sostanza organica	0,00-8,60	sopra falda	sotto falda	Cu (k)	OCR (k)	Eu50 (k)	Mo (k)				
		γ (k)	1,85	γ (k)	0,54	0,19	3,15	35,79	10,05		
γ (media)	1,85	γ (media)	0,58	0,22	4,47	50,60	13,67				
γ (min)	1,85	γ (min)	0,46	0,10	1,00	8,00	3,00				
γ (max)	1,85	γ (max)	0,93	0,60	36,10	177,00	47,00				
STRATO 2 Litotipi limosi e argillo-limosi localmente intercalati a livelli maggiormente sabbiosi e limo-sabbiosi	8,60-10,00	γ (k)	0,89	Cu (k)	0,68	OCR (k)	5,43	Eu50 (k)	186,35	Mo (k)	50,40
		γ (media)	0,92	Cu (media)	0,72	OCR (media)	6,00	Eu50 (media)	197,20	Mo (media)	53,60
γ (min)	0,86	Cu (min)	0,64	OCR (min)	5,20	Eu50 (min)	180,00	Mo (min)	48,00		
γ (max)	0,98	Cu (max)	0,80	OCR (max)	7,10	Eu50 (max)	213,00	Mo (max)	60,00		
CPT6(falda -1,40)											
frazione					valori indicativi						
Dr (%)	ϕ (°)	E'50 (kg/cm ²)	Mo (fr. granulare) (kg/cm ²)	C' (kg/cm ²)	ϕ' (°)	kW (kg/cm ³)	v				
STRATO 1 Litotipi argillosi con probabile presenza di sostanza organica	Dr(k) -	ϕ (k) -	E'50(k) -	Mo (k) -	c' 0,08	ϕ' 20,00	kW -	v -			
Dr (media) -	ϕ (media) -	E'50(media) -	Mo (media) -								
Dr (min) -	ϕ (min) -	E'50 (min) -	Mo (min) -								
Dr (max) -	ϕ (max) -	E'50 (max) -	Mo (max) -								
STRATO 2 Litotipi limosi e argillo-limosi localmente intercalati a livelli maggiormente sabbiosi e limo-sabbiosi	Dr(k) 19,69	ϕ (k) 27,03	E'50 (k) 30,28	Mo (k) 54,34	c' 0,05	ϕ' 29,00	kW 2,40	v 0,35			
Dr (media) 27,25	ϕ (media) 27,50	E'50(media) 36,75	Mo (media) 66,00								
Dr (min) 15,00	ϕ (min) 27,00	E'50 (min) 27,00	Mo (min) 48,00								
Dr (max) 37,00	ϕ (max) 28,00	E'50 (max) 47,00	Mo (max) 84,00								

CPT7

CPT7(falda -1,00)											
prof. dal p.c.	γ (t/m ³)		frazione coesiva								
			Cu (kg/cm ²)		OCR		Eu 50 (kg/cm ²)		Mo (fr. coesiva) (kg/cm ²)		
STRATO 1 Litotipi argillosi con probabile presenza di sostanza organica	0,00-6,60	sopra falda	sotto falda	Cu (k)	0,10	OCR (k)	2,18	Eu50 (k)	17,26	Mo (k)	4,95
		γ (k)	1,85								
γ (media)	1,85	γ (media)	0,53	Cu (min)	0,05	OCR (min)	0,80	Eu50 (min)	6,00	Mo (min)	2,00
γ (min)	1,85	γ (min)	0,46	Cu (max)	0,45	OCR (max)	60,00	Eu50 (max)	119,00	Mo (max)	38,00
γ (max)	1,85	γ (max)	0,88								
STRATO 2 Litotipi limosi e argillo-limosi localmente intercalati a livelli maggiormente sabbiosi e limo-sabbiosi	6,60-10,00	γ (k)	0,75	Cu (k)	0,46	OCR (k)	4,78	Eu50 (k)	100,99	Mo (k)	31,83
		γ (media)	0,83	Cu (media)	0,56	OCR (media)	6,06	Eu50 (media)	131,31	Mo (media)	42,38
γ (min)	0,46	Cu (min)	0,15	OCR (min)	1,40	Eu50 (min)	19,00	Mo (min)	5,00		
γ (max)	0,97	Cu (max)	0,93	OCR (max)	10,30	Eu50 (max)	186,00	Mo (max)	78,00		
CPT7(falda -1,00)											
frazione					valori indicativi						
Dr (%)	ϕ (°)	E'50 (kg/cm ²)	Mo (fr. granulare) (kg/cm ²)	C' (kg/cm ²)	ϕ' (°)	kW (kg/cm ³)	v				
STRATO 1 Litotipi argillosi con probabile presenza di sostanza organica	Dr(k) -	ϕ (k) -	E'50(k) -	Mo (k) -	c' 0,08	ϕ' 20,00	kW -	v -			
Dr (media) -	ϕ (media) -	E'50(media) -	Mo (media) -								
Dr (min) -	ϕ (min) -	E'50 (min) -	Mo (min) -								
Dr (max) -	ϕ (max) -	E'50 (max) -	Mo (max) -								
STRATO 2 Litotipi limosi e argillo-limosi localmente intercalati a livelli maggiormente sabbiosi e limo-sabbiosi	Dr(k) 16,91	ϕ (k) 26,47	E'50 (k) 26,03	Mo (k) 41,57	c' 0,05	ϕ' 29,00	kW 2,40	v 0,35			
Dr (media) 24,50	ϕ (media) 26,89	E'50(media) 28,44	Mo (media) 51,33								
Dr (min) 4,00	ϕ (min) 26,00	E'50 (min) 13,00	Mo (min) 24,00								
Dr (max) 33,00	ϕ (max) 28,00	E'50 (max) 43,00	Mo (max) 78,00								

CPT8

CPT8(falda -1,20)											
prof. dal p.c.	γ (t/m ³)		frazione coesiva								
			Cu (kg/cm ²)		OCR		Eu 50 (kg/cm ²)		Mo (fr. coesiva) (kg/cm ²)		
STRATO 1 Litotipi argillosi con probabile presenza di sostanza organica	0,00-6,60	sopra falda	sotto falda	Cu (k)	0,14	OCR (k)	3,47	Eu50 (k)	26,37	Mo (k)	7,52
		γ (k)	1,85								
γ (media)	1,85	γ (media)	0,54	Cu (min)	0,05	OCR (min)	0,50	Eu50 (min)	7,00	Mo (min)	2,00
γ (min)	1,85	γ (min)	0,46	Cu (max)	0,72	OCR (max)	99,90	Eu50 (max)	123,00	Mo (max)	54,00
γ (max)	1,85	γ (max)	0,78								
STRATO 2 Litotipi limosi e argillo-limosi localmente intercalati a livelli maggiormente sabbiosi e limo-sabbiosi	6,60-12,20	γ (k)	0,82	Cu (k)	0,61	OCR (k)	5,62	Eu50 (k)	125,20	Mo (k)	44,29
		γ (media)	0,88	Cu (media)	0,73	OCR (media)	6,66	Eu50 (media)	153,95	Mo (media)	57,05
γ (min)	0,46	Cu (min)	0,20	OCR (min)	1,70	Eu50 (min)	25,00	Mo (min)	6,00		
γ (max)	1,05	Cu (max)	1,77	OCR (max)	14,60	Eu50 (max)	300,00	Mo (max)	159,00		
CPT8(falda -1,20)											
frazione					valori indicativi						
Dr (%)	ϕ (°)	E'50 (kg/cm ²)	Mo (fr. granulare) (kg/cm ²)	C' (kg/cm ²)	ϕ' (°)	kW (kg/cm ³)	v				
STRATO 1 Litotipi argillosi con probabile presenza di sostanza organica	Dr(k) -	ϕ (k) -	E'50(k) -	Mo (k) -	c' 0,08	ϕ' 20,00	kW -	v -			
Dr (media) -	ϕ (media) -	E'50(media) -	Mo (media) -								
Dr (min) -	ϕ (min) -	E'50 (min) -	Mo (min) -								
Dr (max) -	ϕ (max) -	E'50 (max) -	Mo (max) -								
STRATO 2 Litotipi limosi e argillo-limosi localmente intercalati a livelli maggiormente sabbiosi e limo-sabbiosi	Dr(k) 35,79	ϕ (k) 28,76	E'50 (k) 61,10	Mo (k) 110,11	c' 0,05	ϕ' 29,00	kW 2,40	v 0,35			
Dr (media) 45,20	ϕ (media) 30,00	E'50(media) 85,33	Mo (media) 153,80								
Dr (min) 9,00	ϕ (min) 26,00	E'50 (min) 22,00	Mo (min) 39,00								
Dr (max) 82,00	ϕ (max) 35,00	E'50 (max) 218,00	Mo (max) 393,00								

7 Relazione sulla modellazione sismica concernente la “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione

La classificazione sismica dell’area in esame è basata sui contenuti delle NTV vigenti ed è stata individuata sulla base di una misura sismica passiva locale, di tipo H/V (di cui si dirà oltre) realizzata tramite apparecchiatura tromografica TROMINO © di costruzione MICROMED (e restituzione dei dati mediante apposito software GRILLA ©- MICROMED).

7.1 Descrizione della metodologia tromografica e HVSR e scopo dell’indagine

La metodologia tromografica si basa sulla misura diretta delle frequenze di naturale vibrazione dei suoli (e/o di altri oggetti poggiati direttamente o indirettamente sul suolo), sfruttando in pratica l’effetto pendolo. Nel dominio della frequenza vengono coinvolti quattro spettri rappresentati dalle componenti orizzontali e verticali del moto in superficie (HS e VS) e alla base dello strato (HB e VB).

La tecnica di Nakamura si basa sulle seguenti ipotesi: le sorgenti dei microtremori sono locali, trascurando qualsiasi contributo dovuto a sorgenti profonde; le sorgenti dei microtremori in superficie non influenzano i microtremori alla base; la componente verticale del moto non risente di effetti di amplificazione locale.

Sotto queste ipotesi, il rapporto fra le componenti verticali del moto in superficie ed alla base contiene solo termini delle sorgenti locali AS(f) e delle sorgenti alla base AB(f), ed è pari a:

$$R_v(f) = V_s(f)/V_B(f) = A_s(f)/A_B(f).$$

Mentre il rapporto fra l’ampiezza dello spettro della componente orizzontale del moto in superficie (HS) e alla base dello strato (HB), contiene oltre che il termine di sorgente anche il termine di amplificazione di sito in superficie S(f) e può essere espresso nel seguente modo:

$$R_h(f) = H_s(f)/H_B(f) = [A_s(f) * S_s(f)] / A_b(f).$$

Per rimuovere l’effetto di sorgente dai segnali, Nakamura divide i due rapporti R fra loro ottenendo così la seguente espressione per la funzione trasferimento di sito:

$$R_h(f)/R_v(f) = S_s(\omega) = H_s(f)/H_B(f) * V_B(f)/V_s(f).$$

Ipotizzando infine che alla base dei sedimenti l’ampiezza spettrale della componente verticale e di quella orizzontale siano uguali e cioè:

$$V_B(f)/H_B(f) = 1.$$

Il fattore di amplificazione del moto orizzontale in superficie potrà essere valutato direttamente nel seguente modo:

$$S(f) = H_s(f)V_s(f).$$

Le varie ipotesi sono state verificate dallo stesso Nakamura (1989) con misure di microtremori in superficie e in pozzo.

Le stesse assunzioni sono state verificate anche da altri autori confrontando i risultati ottenuti con modelli di propagazione di onde di Rayleigh, modelli di propagazione 1-D di onde S e con modelli di generazione sintetica di rumore. Le conclusioni a cui sono giunti gli studi suddetti sono che il picco visibile nei rapporti H/V ottenuti con il rumore simulato è indipendente dalle caratteristiche della sorgente del rumore e che dipende invece fortemente dalla stratigrafia del terreno.

Tale picco è inoltre ben correlato con la frequenza fondamentale di risonanza del terreno soggetto alla propagazione di onde S verticali e con il picco fondamentale delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh.

La misura è stata eseguita con un apparecchio portatile compatto (TROMINO MICROMED) che alloggia in un unico contenitore rigido metallico tre sensori sismometrici, un digitalizzatore a 24 bit ed il sistema di archiviazione su flash memory. Tutte le operazioni descritte sono state fatte prevalentemente in campagna, mediante un programma applicativo appositamente implementato. Questo ha permesso di avere già al sito la possibilità di verificare le misure effettuate ed eventualmente ripeterle. La misura di microtremori è infatti soggetta ad influenze ambientali (vento, pioggia, copertura artificiale dei terreni, ecc.): per una descrizione dettagliata dei problemi legati alla corretta effettuazione delle misure si veda Mucciarelli (1998).

Di seguito si riporta una succinta bibliografia di riferimento circa metodologia, utilizzo e restituzione della metodologia tromografica: Mucciarelli, M. (1998). Reliability and applicability range of Nakamura's technique using microtremors: an experimental approach, J. Earthquake Engin., Vol. 2, n. 4, 1-14. Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. QR Railway Tech. Res. Inst. 30, 1.

Lo scopo della misura eseguita è l'individuazione dei seguenti parametri caratteristici dell'area in esame:

- V_s e conseguente categoria sismica dei suoli di fondazione, secondo i contenuti del D.M. - N.T.C.;
- Frequenza propria (di vibrazione) dei suoli di fondazione.

Nel prossimo paragrafo si riportano anche gli altri parametri di caratterizzazione sismica per l'area in esame, come "richiesti" dalle N.T.C..

L'indagine tromografica si è appoggiata alle conoscenze stratigrafiche locali derivanti dall'esecuzione dell'indagine penetrometrica statica. Ciò è indispensabile data la natura della strumentazione utilizzata e date le possibilità offerte dalle esperienze di Nakamura (et Alii), di cui si è sopra già ampiamente riportato.

È importante far osservare come uno strumento tromografico sia l'unica strumentazione in grado di misurare la frequenza propria di oscillazione dei terreni. Da tali dati si possono poi ricostruire tutte le altre componenti caratterizzanti dal punto di vista sismico i terreni di un'area (e sopra indicati).

La possibilità di risalire ai dati di V_{s30} conoscendo le frequenze tipiche di un suolo e gli spessori (profondità) dei suoi riflettori sismici, discende dalle esperienze di Nakamura e del derivato metodo HSVR precedentemente descritto.

Il metodo di indagine utilizzato presuppone alcune approssimazioni legate ad esempio al fatto che le velocità di propagazione delle onde sismiche provocate aumentano dall'alto verso il basso (per questo il metodo consente la determinazione delle velocità intese come medie del volume di terra indagato non avendo un grado di definizione elevato); le velocità V_s così misurate sono comunque significative, trattandosi pur sempre di una misura diretta. Nei grafici $H/V - f$, che verranno in seguito riportati, si individuano le varie frequenze tipiche dei terreni di fondazione, dato di notevole importanza per una accurata progettazione delle strutture da realizzarsi sull'area in esame.

Soprattutto in considerazione della tipologia strutturale da realizzarsi, si dovranno evitare accoppiamenti fra le modalità di vibrazione delle strutture (prevedibili in fase di progettazione) e le modalità di vibrazione dei terreni di fondazione, di cui sopra.

7.2 Risultati dell'indagine tromografica eseguita

Le misure tromografiche hanno individuato valori di V_s tra **187 m/sec e 216 m/sec**. Si rimanda all'All. C.05 App.03 in cui viene presentata la restituzione grafica.

La misura individua quindi i terreni di fondazione come classificabili nella categoria di riferimento **C**.

Tale categoria è descritta come: "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_s compresi fra 180 e 360 m/s".

Relativamente all'attendibilità del suddetto valore di V_s , è comunque chiaro che ogni metodologia d'indagine che attiene al "campo" geologico (ancor più se si tratta di un metodo geofisico) è normalmente/fisiologicamente "afflitta" da una aliquota di imprecisione/indeterminatezza e poiché per il metodo in oggetto Autori quali S. Castellaro riportano valori pari al +/-15/20%, sarà il caso di valutare l'influenza di tale errore sui valori sopra riportati.

In relazione quindi ai valori di V_s , questi potrebbero essere compresi fra 150 m/s nel peggiore dei casi (e quindi Categoria D) circa e 259 m/s circa (e quindi sempre Categoria C).

Pertanto di seguito si assumerà la categoria C proposta (ferma restando la possibilità di una differente valutazione da parte del Progettista, nel qual caso quanto riportato all'apposito paragrafo di individuazione dei parametri sismici perderà ogni validità).

7.3 Ulteriori elementi di Caratterizzazione

Si è provveduto a caratterizzare l'area d'indagine secondo i contenuti delle N.T.C., tale caratterizzazione viene riportata di seguito, fra gli altri si è utilizzato il Software Geostru PS ® (free- share disponibile on- line).

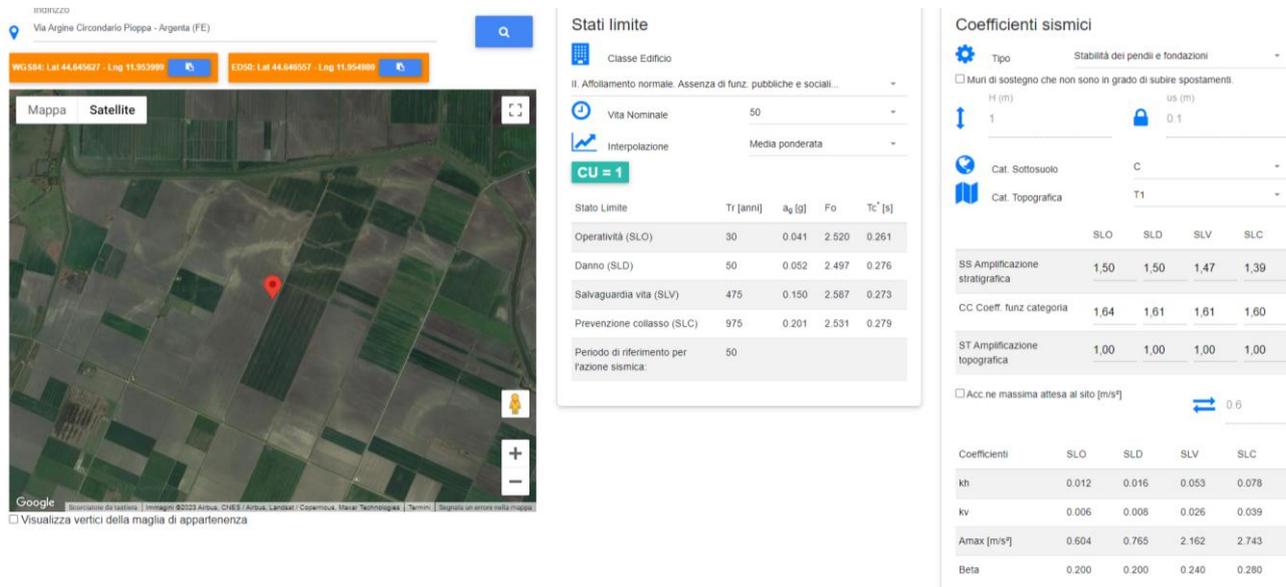


Figura 11 - Ubicazione dell'area ed individuazione dei parametri sismici.

7.4 Storia sismica locale

L'Emilia-Romagna è interessata da una sismicità che può essere definita media relativamente alla sismicità nazionale, con terremoti storici di magnitudo massima compresa tra 5,50 e 6 e intensità massime risentite del IX-X grado della scala MCS. I maggiori terremoti si sono verificati nel settore sud-orientale, in particolare nell'Appennino romagnolo e lungo la costa riminese. Altri settori interessati da sismicità frequente ma generalmente di minore energia sono il margine appenninico-padano tra la Val d'Arda e Bologna, l'arco della dorsale ferrarese e il crinale appenninico. Tale sismicità è dovuta al processo ancora attivo di costruzione della catena appenninica. In particolare, risultano attivi i sovrascorrimenti sepolti che danno luogo agli archi di Piacenza- Parma, Reggio Emilia e di Ferrara. (Boccaletti et al., 2004).

A seguito del terremoto del Molise del 2002, è stata elaborata una nuova Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale e la progettazione in zona sismica non è più effettuata secondo zone di pari sismicità ma viene effettuata a partire dai valori assoluti di scuotimento del suolo attesi secondo la nuova mappa di pericolosità sismica (che verranno riportate alle figure seguenti).

L'Intensità Massima IMax attesa è pari a 9. L'area è sita all'interno della Zona Sismogenetica (ZS9) di riferimento 912, come verrà illustrato di seguito.

Il territorio del Comune di Argenta è correttamente classificato come zona sismica 2 e ad esso (per la maggior parte) è associato un valore di accelerazione massima al suolo compreso tra 0,150 e 0,175g.

Il territorio del Comune di Comacchio, interessato per una ridottissima superficie dell'impianto, è correttamente classificato come zona sismica 3 e ad esso (per la maggior parte) è associato un valore di accelerazione massima al suolo compreso tra 0,125 e 0,150.

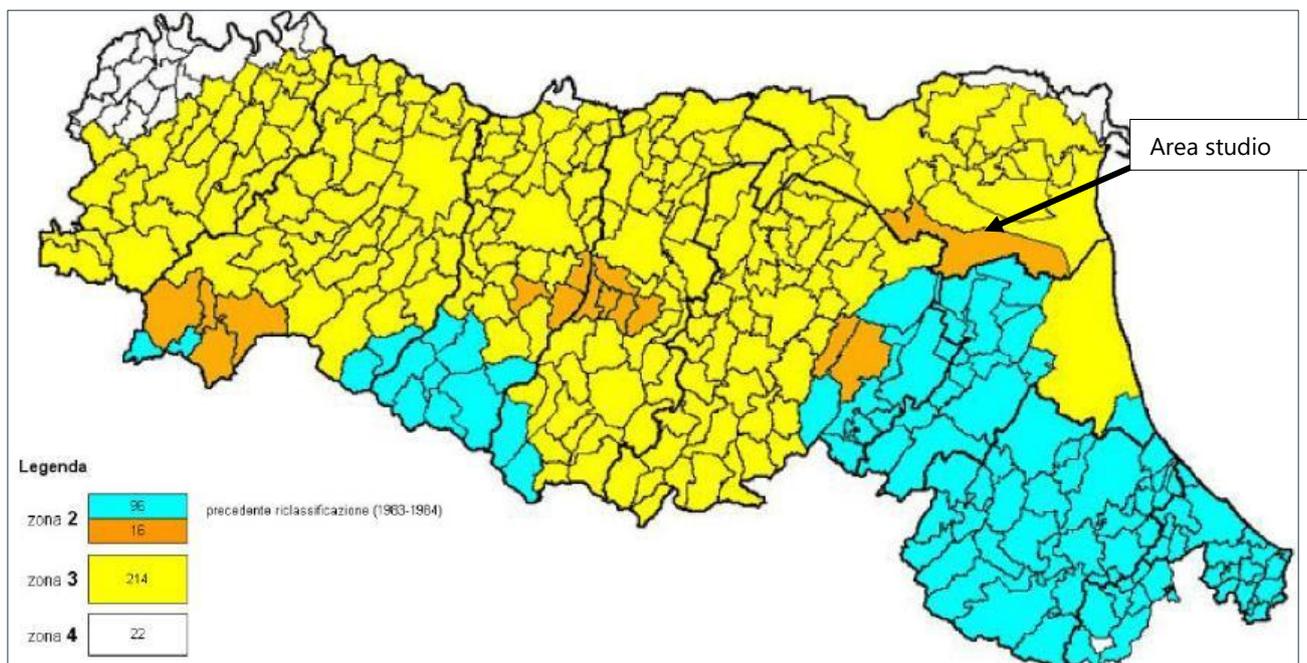


Figura 12 – Classificazione sismica del territorio regionale secondo l'OPCM 3274/2003. Il Comune di Argenta viene attribuito alla zona 2 e il Comune di Comacchio alla zona 3.

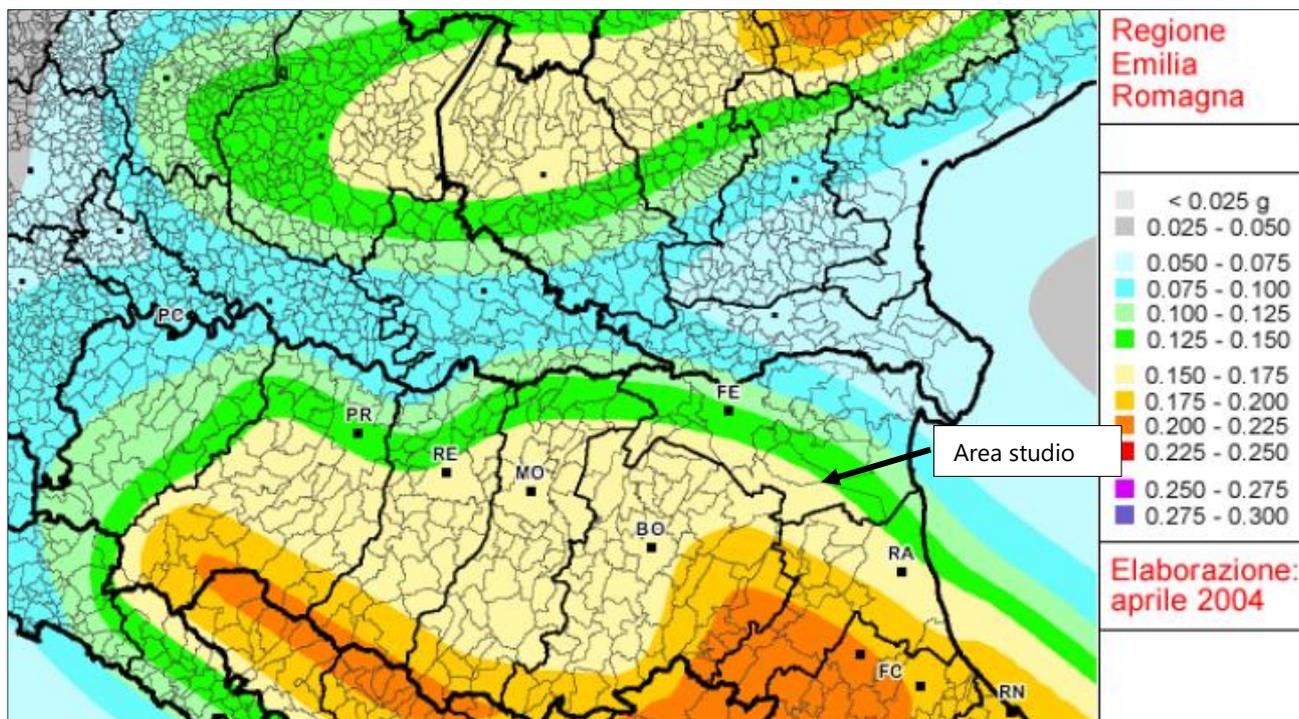


Figura 13 – Mappa di pericolosità sismica della Regione Emilia-Romagna espressa in termini di accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi (Cat. A). All'area del Comune di Argenta è associata un'accelerazione compresa tra 0,150 e 0,175 g e all'area del Comune di Comacchio è associata un'accelerazione compresa tra 0,125 e 0,150 g (Meletti & Montalbo, 2007).

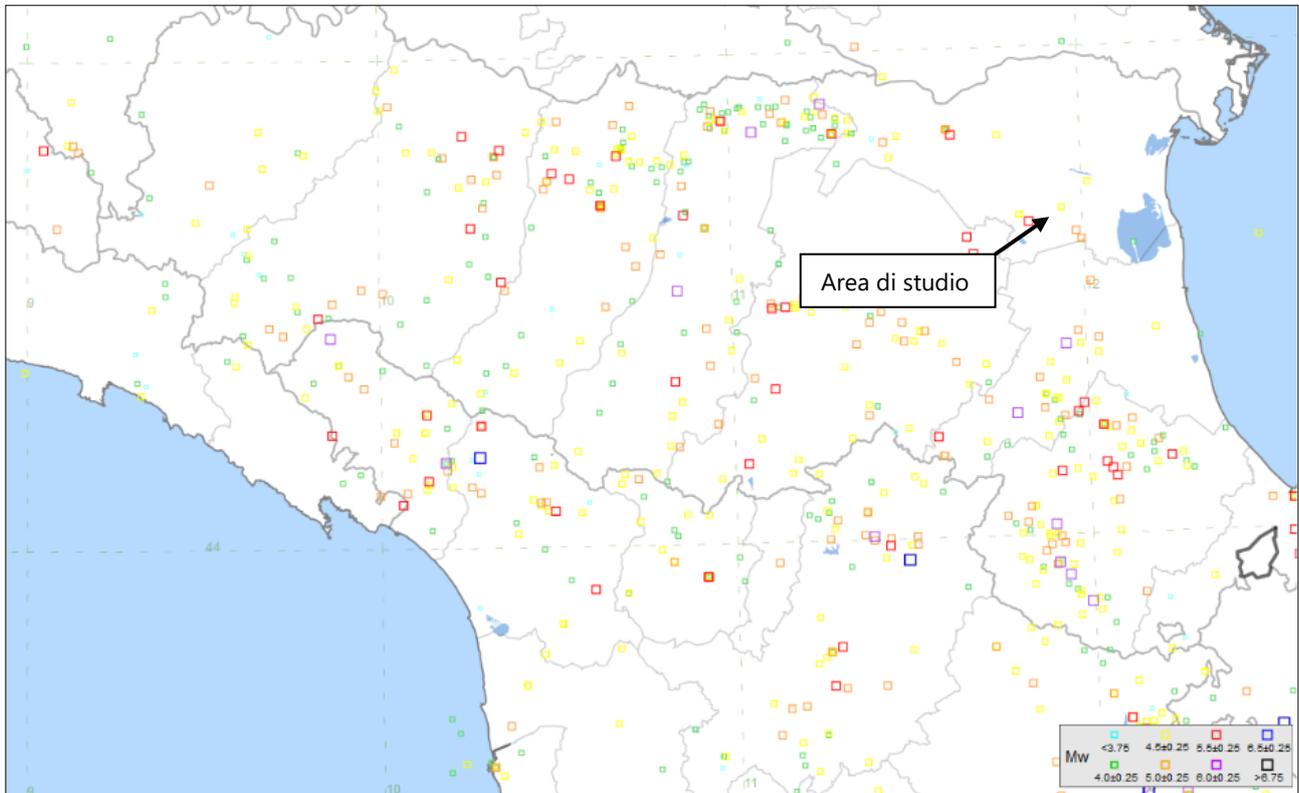


Figura 14 – Mappa degli epicentri dei terremoti avvenuti in Emilia Romagna dal 1000 ad oggi (CPTI2015).

Nella mappa degli epicentri dei terremoti avvenuti nella Regione Emilia-Romagna dal XIII secolo ad oggi. Si può osservare che la maggior sismicità è concentrata nella zona dell'Appennino Romagnolo. Relativamente ai pressi (molto allargati invero) dell'area in esame (riquadro nero) si osservano alcuni eventi di magnitudo compresa tra 4.0 e 5.0 (Mw).

Poiché l'area di studio si trova quasi interamente in territorio comunale di Argenta e solo una porzione esigua dell'impianto ricade in territorio comunale di Comacchio che risulta ad ogni modo più prossima all'abitato di Argenta, si prenderanno come riferimento le intensità rilevate nel solo comune di Argenta.

L'area di studio, in particolare, è stata colpita dal terremoto:

- nel 1624 - Argenta (Intensità VIII-IX, Mw 5.43);
- nel 1898 - Romagna settentrionale (Intensità VII, Mw 4.59).

La magnitudo attesa per il territorio del Comune di Argenta e di Comacchio (e di una ulteriore fascia molto estesa della Provincia di Ferrara, nella Zona Sismogenetica 912) è pari a $M = 6,1$ circa, ciò sulla base di considerazioni statistico-probabilistiche (determinazioni tramite il Metodo di Gumbel, 1997) che tengono in considerazione distanza epicentrale degli eventi dall'area in esame e della regressione temporale degli stessi, per le ZS 912/914.

Questo valore è molto penalizzante per l'area in esame, ricordando le magnitudo storiche sopra citate e considerando che la scala di misura della magnitudo è logaritmica.

Dalla consultazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15, l'area di studio ha registrato nel tempo gli eventi sismici riportati nelle figure di seguito.

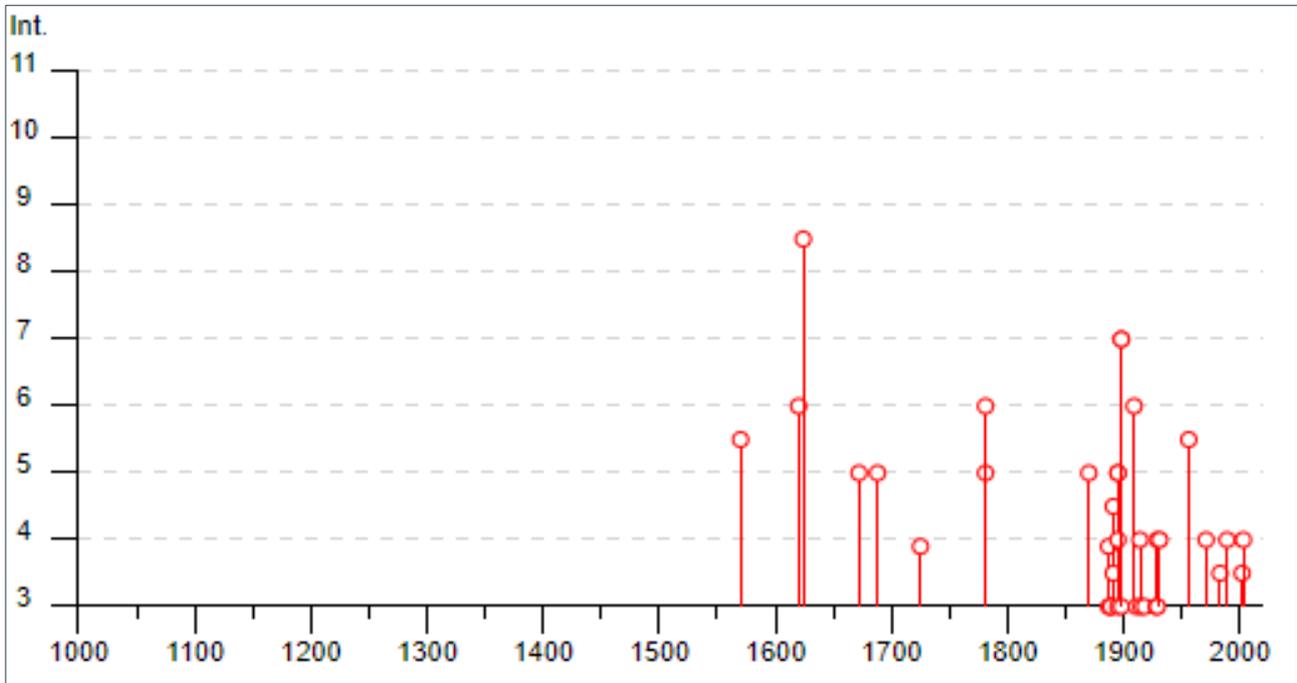


Figura 15 – Storia sismica del Comune di Argenta. L'Intensità Sismica (Is) massima registrata è 8-9.

Effetti	In occasione del terremoto del																					
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw												
5-6	1570	11	17	19	10		Ferrarese	58	7-8	5.44												
6	1620	06	22				Ravennate	2	6-7	4.86												
8-9	1624	03	19				Argenta	18	7-8	5.43	3	1911	02	19	07	18	30	Forlivese	181	7	5.26	
5	1672	04	14	15	45		Riminese	92	8	5.59	4	1914	10	27	09	22		Lucchesia	660	7	5.63	
5	1688	04	11	12	20		Romagna	39	8-9	5.84	3	1915	01	13	06	52	43	Marsica	1041	11	7.08	
F	1725	10	29	17	40		Appennino tosco-emiliano	28	8	5.67	3	1918	11	10	15	12	28	Appennino forlivese	187	9	5.96	
5	1781	04	04	21	20		Faentino	96	9-10	6.12	3	1928	03	27	08	32		Carnia	359	9	6.02	
6	1781	07	17	09	40		Faentino	46	8	5.61	4	1929	04	10	05	44		Bolognese	87	6	5.05	
5	1870	10	30	18	34		Forlivese	41	8	5.61	3	1929	04	22	08	26		Bolognese	41	6-7	5.10	
F	1887	02	23	05	21	50	Liguria occidentale	1511	9	6.27	4	1931	03	27	02	46	57	Ferrarese	7	6	4.74	
3	1887	09	30	15	55		Faenza	10	5	4.12	5-6	1956	02	20	01	29	41	Argenta	17	5-6	4.96	
3	1889	03	08	02	57	04	Bolognese	38	5	4.53	4	1971	07	15	01	33	23	Parmense	228	8	5.51	
3	1889	12	08				Gargano	122	7	5.47	3-4	1983	11	09	16	29	52	Parmense	850	6-7	5.04	
4-5	1891	06	07	01	06	14	Valle d'Ilasi	403	8-9	5.87	NF	1986	12	06	17	07	1	Ferrarese	604	6	4.43	
3-4	1891	08	01	13	32	22	Lugo	15	4-5	4.36	NF	1987	05	02	20	43	5	Reggiano	802	6	4.71	
5	1895	03	23				Comacchio	33	6	4.65	4	1989	09	13	21	54	1	Prealpi Vicentine	779	6-7	4.85	
3	1895	06	10	01	47		Prealpi Trevigiane	73	6	4.85	NF	2000	05	06	22	07	0	Faentino	85	5	4.08	
5	1895	07	30	10	47		Comacchio	10	5	4.47	NF	2000	05	08	12	29	0	Faentino	126	5	4.67	
4	1895	08	07	19	49	32	Appennino tosco-emiliano	84	5	4.67	2	2000	05	10	16	52	0	Faentino	151	5-6	4.82	
7	1898	01	16	13	10		Romagna settentrionale	110	6	4.59	3-4	2002	11	02	10	57	4	Ferrarese	79	4	4.21	
3	1898	03	04	21	05		Parmense	313	7-8	5.37	4	2003	09	14	21	42	5	Appennino bolognese	133	6	5.24	
7	1898	03	09	11	43		Romagna settentrionale	68	6	4.59	NF	2003	12	07	10	20	3	Forlivese	165	5	4.18	
NF	1904	11	17	05	02		Pistoiese	204	7	5.10	NF	2005	07	15	15	17	18	Forlivese	173	4-5	4.29	
6	1909	01	13	00	45		Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36												

Figura 16 – Elenco dei terremoti per il Comune di Argenta

Il comune di Argenta, è stato colpito dal forte terremoto del 1624 (IS= 8-9, Mw 5.43±0.40); per tale evento il valore di IS, nei pressi di Argenta è 8-9.

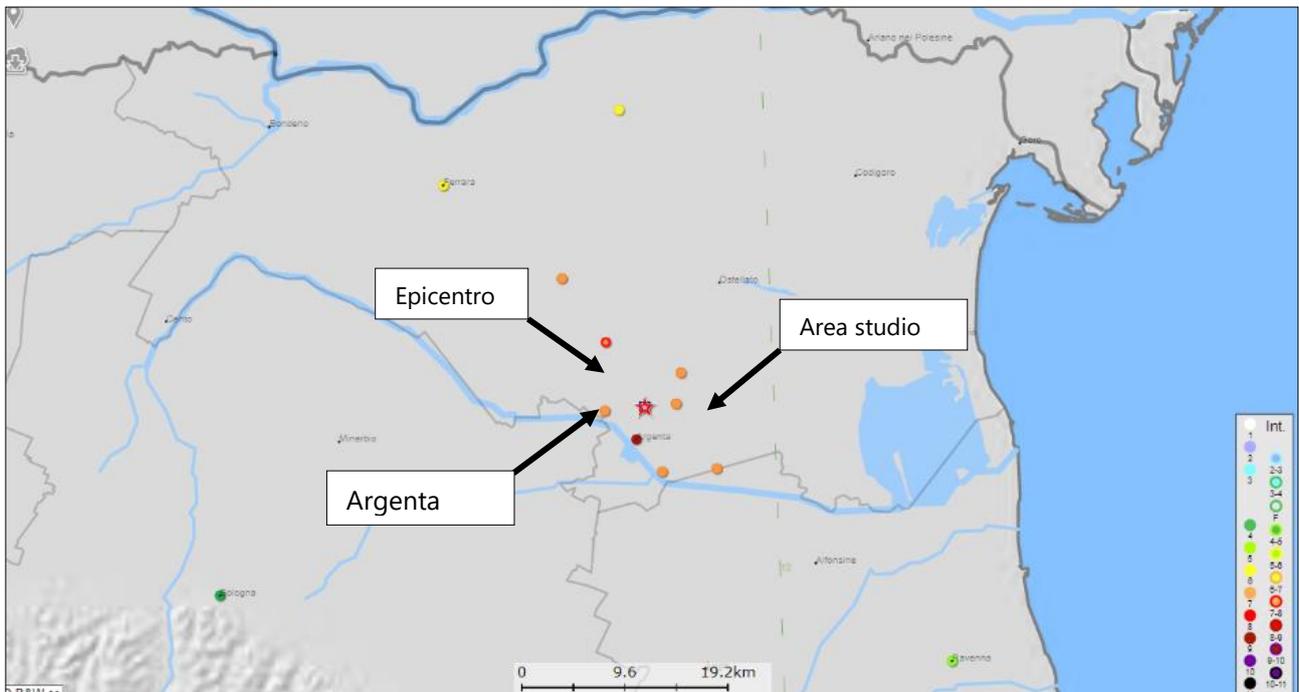


Figura 17 – Distribuzione dei risentimenti dell’evento del 1624 – Argenta

Il comune di Argenta, è stato colpito anche dal terremoto del 1898 (IS= 7, Mw 4.59±0.37); per tale evento il valore di IS, nei pressi di Argenta è 7.

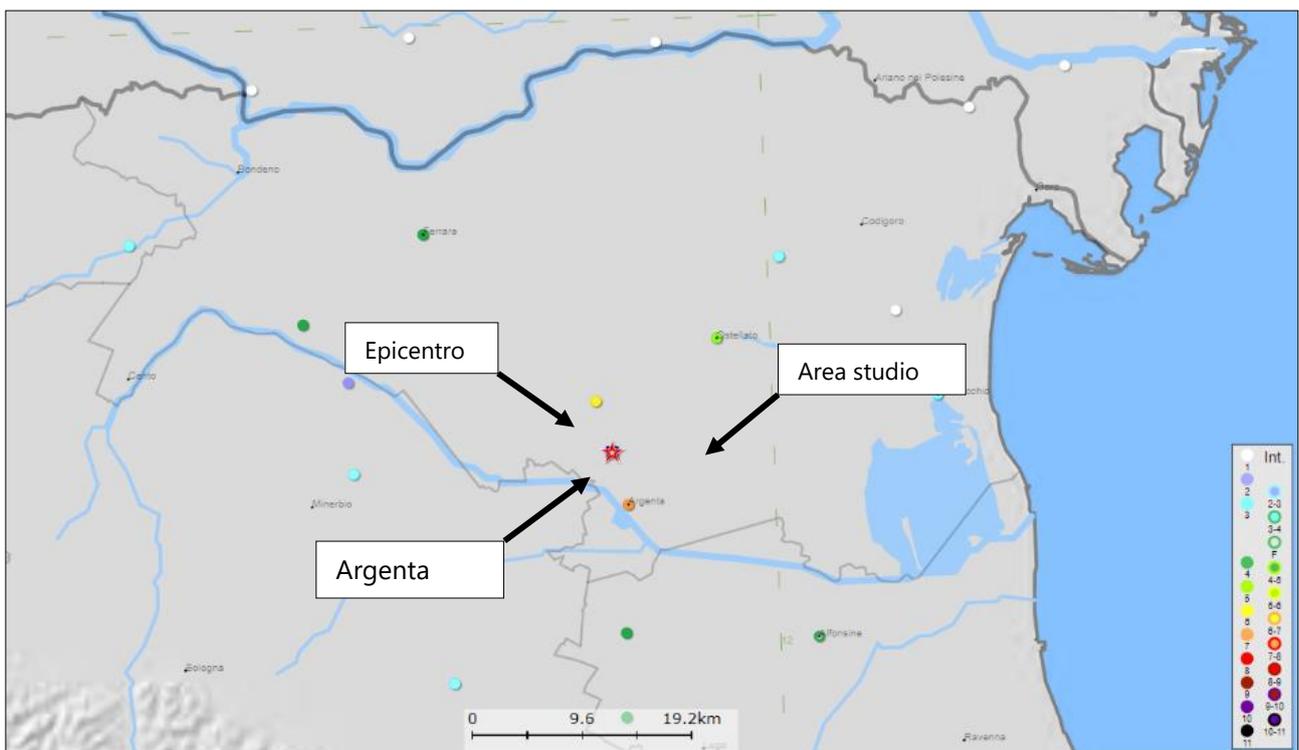


Figura 18 – Distribuzione dei risentimenti dell’evento del 1898 – Romagna settentrionale

Evidentemente occorrerà aggiungere come gli eventi sismici del 20-29/05/2012, nonché la prolungata sequenza sismica annessa, abbiano profondamente “aggiornato” la sismicità della Pianura Padana.

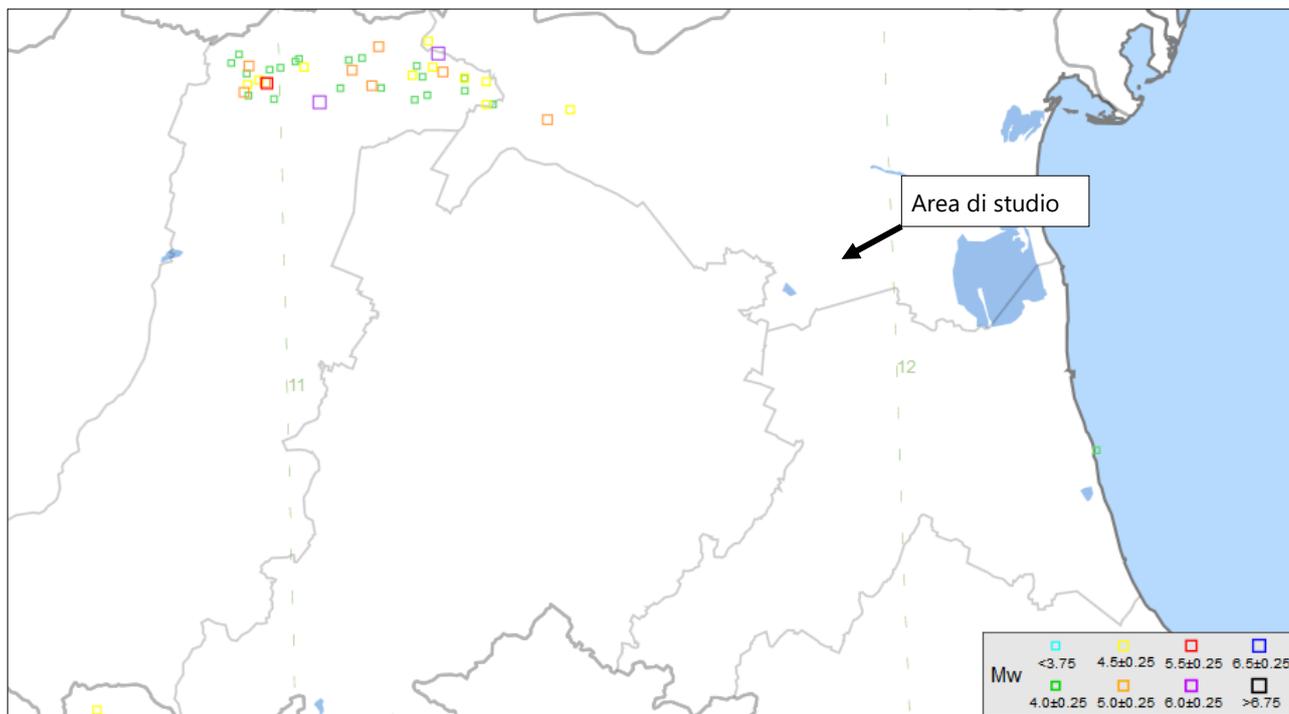


Figura 19 – Sismicità recente in Emilia-Romagna in scala libera

7.5 Disaggregazione statistico- probabilistica dei dati sismici

Come visto nel capitolo precedente, il territorio del Comune di Argenta e la porzione del territorio comunale di Comacchio prossima alla confine comunale con Argenta, sono stati sede di epicentri di eventi sismici caratterizzati da Intensità e Magnitudo NON trascurabili e si è già potuta constatare la complessità geologica profonda, caratterizzata da sovrascorrimenti riattivati in prossimità dell’area di studio.

Da un’analisi di disaggregazione statistico - probabilistica dei dati sismici relativi a distanza e valori di magnitudo ed avente come riferimento l’area in esame (analisi che verrà di seguito riportata) si può evincere che, con un tempo di ritorno di 50 anni:

- il valore di M avente localmente maggiori probabilità di ripetersi è pari a 5,00 e ha una probabilità di accadimento del 25-30% entro 10 km e del 9-11% entro 20 km;
- i valori di M =4,50 hanno una probabilità di accadimento di 11-15% entro 10km e 3-4% entro 20km;
- i valori di M =5,50 hanno una probabilità di accadimento di 11-15% entro 10km e 7-9% entro 20km;
- i valori di M=6 ha una probabilità di accadimento del 5-7% entro 10 km e entro 20 km.

Si ricorda l’evento con magnitudo massima del 1909 con un valore di M pari a 5,43.

Modello di pericolosità sismica MPS04-S1

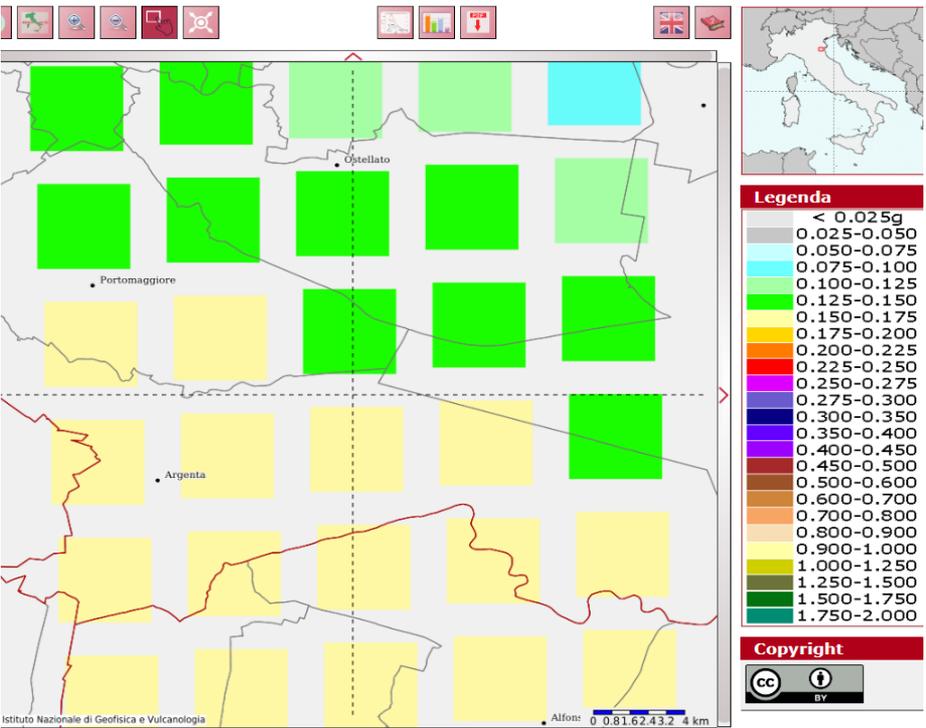


Figura 20 – Pericolosità sismica in prossimità dell'area di studio

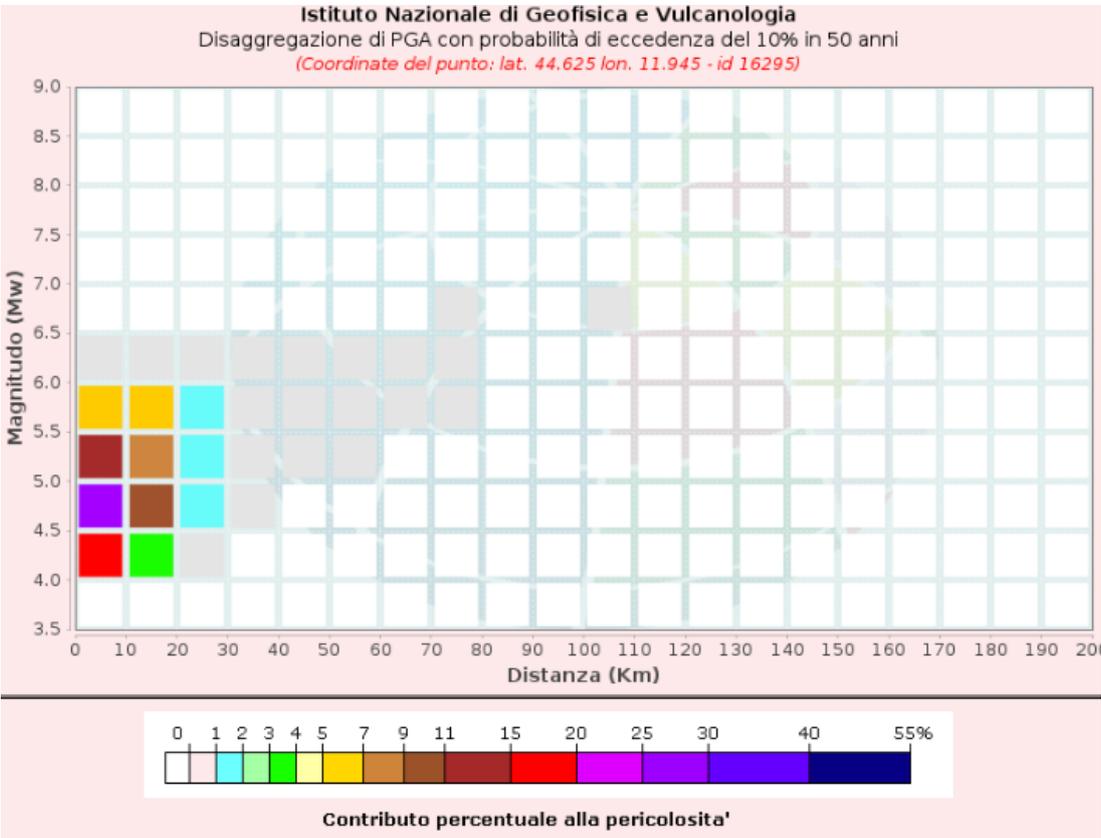


Figura 21 – Probabilità del verificarsi di un evento sismico in prossimità dell'area di studio

Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto: lat. 44.625 lon. 11.945 - id 16295)											
Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.0000	15.5000	27.0000	14.0000	6.2300	0.6990	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	3.9200	10.1000	8.6300	5.8700	0.8390	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.1790	1.1900	1.9100	1.9300	0.3270	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0436	0.4650	0.7250	0.0960	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0387	0.2260	0.0387	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0516	0.0184	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0073	0.0076	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0020	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.97	9.44	0.678

Figura 22 – Probabilità del verificarsi di un evento sismico

8 Suscettibilità alla liquefazione degli orizzonti saturi granulari localmente rilevati

Il fenomeno della liquefazione determina una diminuzione della resistenza al taglio e/o della rigidità, nei litotipi granulari, causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico e tale da generare deformazioni permanenti significative o persino l'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno. Le Norme Tecniche annesse alla vigente Normativa Sismica (NTC 2018 capitolo 7.11.3.4) permettono di omettere la verifica a liquefazione 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 piano campagna, 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 $U_c > 3,5$.

Inoltre, secondo l'Ordinanza 3274, 3316 e s.m.i. impongono detta verifica quando *“la falda freatica si trovi in prossimità della superficie (p.c.) ed il terreno di fondazione comprenda **strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda**, anche se contenenti una frazione fine limo- argillosa”*.

“Nel caso di edifici con fondazioni superficiali tale verifica può essere omessa per litotipi suscettibili che si trovino a profondità maggiore di 15 m dal p.c.”.

“Tale verifica si può altresì omettere nel caso $S_{ag} < 0,15$ g e contemporaneamente il litotipo potenzialmente liquefacibili soddisfi almeno una delle seguenti condizioni:

- contenuto d'argilla $> 20\%$ con IP (Indice Plastico) > 10 ;
- contenuto di limo $> 35\%$ e $N_{spt} > 20$;
- frazione fine trascurabile e $N_{spt} > 25$ ”;
- (dove IP =Indice Plastico, N_{spt} =Resistenza Penetrometrica normalizzata alla prova N_{spt} in foro).

Da quanto emerso da ricostruzione lito-stratigrafica delle prove CPT/CPTU, sono presenti sostanzialmente litotipi argillosi e argillo-limosi caratterizzati da una probabile presenza di sostanza organica/torba fino ad una profondità variabile di -4,00/-7,00 e persino fino a -10,50 m dal p.c. e a seguire le prove rilevano non tutte alla medesima profondità la presenza di orizzonti maggiormente limosi e limo-argillosi fino a fine prova e localmente, non in tutti le prove, la presenza di litotipi sabbiosi e sabbio-limosi ed in particolare:

- CPT1: da -4,00 m a -15,00 m dal p.c.;
- CPT3: da -10,60 m a -15,00 m dal p.c.;
- CPT5: da -8,00 m a -15,00 m dal p.c.;
- CPT8: da -9,80 m a -12,20 m dal p.c.;
- CPTU5: da -10,50 m a -13,20 m e da -15,00 e a -17,00 m dal p.c.

Per una valutazione della suscettibilità alla liquefazione si sono tenute in considerazione le valutazioni presentate nell'All. C.05 App.04.

Autori quali Crespellani, Sheriff, Ishibashi ed altri riportano che, per le energie sismiche attese per l'area in esame, uno spessore pari a circa cinque metri di materiale non liquefacibile sovrastante la lente granulare eventualmente liquefacibile, svolge un'azione di contrasto sufficiente a far sì che gli effetti di una eventuale liquefazione non vengano trasmessi alla superficie.

A questo punto occorre riportare alcune considerazioni circa la determinazione del terremoto di progetto, a partire dal valore di M utilizzato per il calcolo in esame. Per la presente verifica si adatterà il valore di 6,1, come precisato al paragrafo 7.3.

Sulla scorta del Catalogo CTPI15 si potrà invece rilevare come il Comune di Argenta (e la porzione del territorio comunale di Comacchio al confine con il Comune di Argenta) sia in realtà stato sottoposto ad eventi sismici di Magnitudo (Richter) massima pari a 5,43. **Si osservi che essendo la scala di M logaritmica, il valore di 6,14 risulta quindi essere estremamente penalizzante.**

Ad ulteriore penalizzazione nella verifica la falda è stata posta alla profondità assolutamente penalizzante di 1,00 m dal p.c. per effetto della sua risalita in caso di evento sismico e non alla sua oscillazione stagionale (che si attesterebbe mediamente tra -1,50/-4,00 m dal p.c. come riportato al paragrafo 5)

La verifica alla liquefazione è stata eseguita mediante il metodo di calcolo Robertson et Al. (1998) per il calcolo dell'indice di potenziale liquefazione (LPI) sia per la magnitudo massima attesa per la ZS 912/914 (M=6.14) che per valori inferiori con maggior probabilità di accadimento con indicato al paragrafo precedente (M=5.00) fino alla profondità di -15 m dal p.c. per tutte le CPTU eseguite.

Inoltre, si è provveduto ad un approfondimento sismico di III livello con la redazione dello studio di risposta sismica locale (All. C.05 App.05). È stato calcolato un valore di S*ag/g pari a 0,297 (valore del 90° percentile che deriva dallo studio RSL)

Il calcolo del LPI utilizza la metodologia sviluppata da Iwasaki (1982) ed è adottata da AFPS. Per stimare la gravità della liquefazione in un dato sito. LPI è calcolato in base alla seguente equazione:

$$LPI = \int_0^{20} (10 - 0,5z) \times F_z \times d_z$$

- FL = 1 – F.S. quando F.S. è inferiore a 1;
- FL = 0 quando F.S. è superiore a 1;
- Z = profondità (m).

Il valore di LPI può variare tra 0 (quando non ci sono spessori in cui si rileva liquefazione) e 100 (tutti gli spessori sono caratterizzati da una suscettibilità alla liquefazione). Iwasaki propone 4 categorie basate sul valore di LPI:

- LPI = 0 Rischio di liquefazione è molto basso;
- 0 < LPI ≤ 5 Rischio di liquefazione è basso;
- 5 < LPI ≤ 15 Rischio di liquefazione è alto;
- LPI > 15 Rischio di liquefazione è molto alto.

La D.G.R. 467/2021, delibera di aggiornamento della D.G.R. 630/2019, in base al valore stimato dell'indice del potenziale di liquefazione IL si definisce le classi di pericolosità (Sonmez, 2003):

IL = 0	Non liquefacibile (FL ≥ 1.2)
0 < IL ≤ 2	Potenziale basso
2 < IL ≤ 5	Potenziale moderato
5 < IL ≤ 15	Potenziale alto
15 < IL	Potenziale molto alto

Si riporta una tabella di sintesi i valori dell'indice del potenziale di liquefazione ILP mentre in All. C.05 App.04 vengono riportate le risultanze delle verifiche effettuate.

CPTU	M=6.14	M=6.00	M=5.75	M=5.50	M=5.00
CPTU1	2,36	2,13	1,70	1,28	0,61
CPTU2	8,81	8,33	7,41	6,42	4,26
CPTU3	7,12	6,63	5,67	4,63	2,19
CPTU4	3,39	3,24	2,94	2,58	1,71
CPTU5	8,58	8,07	7,14	6,24	4,18

Si può concludere quanto segue:

- Sulla scorta del Catalogo degli eventi sismici succedutisi in Italia dal 1000 ad oggi si potrà rilevare come il Comune di Argenta e la porzione del territorio comunale di Comacchio al confine con il Comune di Argenta in realtà sono stati sottoposti ad eventi sismici di Magnitudo (Richter) **massima pari a 5,43** (1624) e che il valore di M avente localmente **maggiori probabilità di ripetersi è pari a 5,00**;
- **Si osservi che essendo la scala di M logaritmica, il valore di 6,14 risulta quindi essere estremamente penalizzante:**
- **È stata ipotizzata una profondità del livello della falda freatica a -1,00 m dal p.c. per effetto della sua risalita in caso di evento sismico e quindi essere estremamente penalizzante in quanto mediamente le oscillazioni stagionali si attesterebbero mediamente tra -1,50/-4,00 m dal p.c. come riportato al paragrafo 5;**
- Autori quali Crespellani, Sheriff, Ishibashi ed altri riportano che, per le energie sismiche attese per l'area in esame, uno spessore pari a circa tre/cinque metri di materiale non liquefacibile sovrastante la lente granulare eventualmente liquefacibile, svolge un'azione di contrasto sufficiente a far sì che gli effetti di una eventuale liquefazione non vengano trasmessi alla superficie come indicato nella figura successive;
- In tutte le prove si sono rilevati localmente livelli potenzialmente liquefacibili oltre -6,50/-8,00 m dal p.c. e i terreni sovrastanti fungeranno da azione di contrasto alla trasmissione in superficie degli effetti di una eventuale liquefazione. L'indice ILP è risultato in alcune prove nell'intervallo di rischio alto (il massimo massimo rilevato è $ILP=8,81$) ma comunque prossimo al limite del rischio moderato ($2 < ILP < 5$).

Qui sotto viene inoltre riportato il Metodo di Sherif e Ishibashi (1978), fonte bibliografica di riferimento per le prime valutazioni sul tema della liquefazione che indica che gli strati non sono liquefacibili.

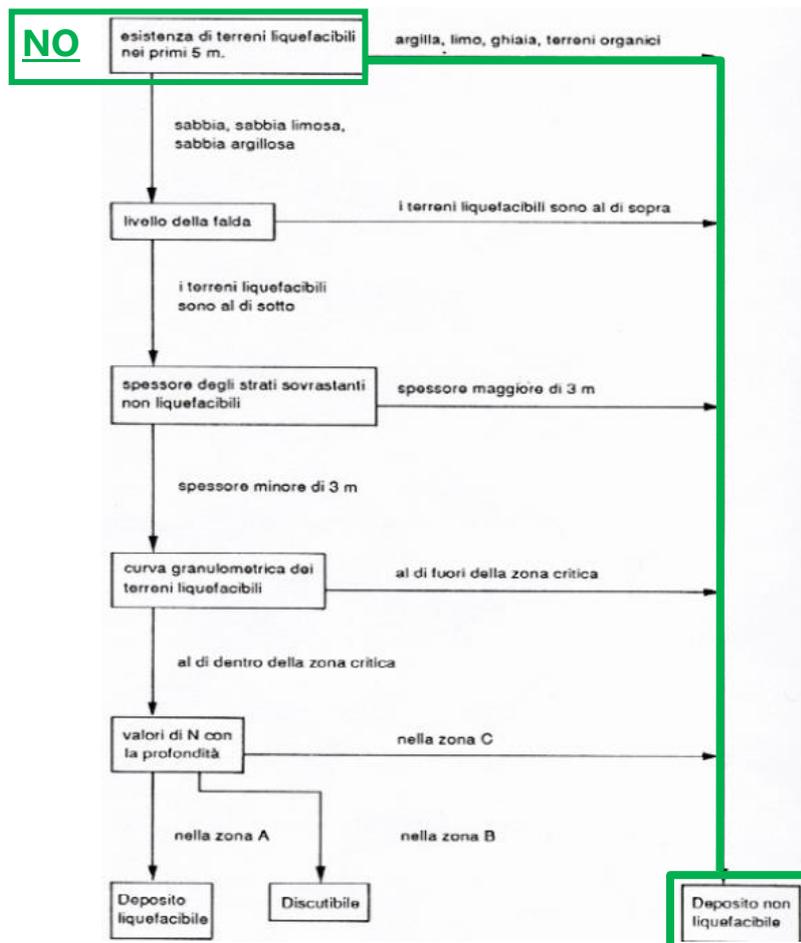


Figura 23 – Metodo Sherif-Ishibashi (1978) – Tabella A

wood.

9 Conclusioni

Il presente studio è stato redatto conformemente ai contenuti tecnici delle NTC ed in ottemperanza al D.M. 17/01/2018.

Le campagne d'indagini eseguite hanno permesso di approfondire 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 terreni argillosi e argillo-limosi caratterizzati da una probabile presenza di sostanza organica/torba fino ad una profondità variabile di -4,00/-7,00 e persino fino a -10,50 m dal p.c. e a seguire la presenza di orizzonti maggiormente limosi e limo-argillosi fino a fine prova e localmente la presenza di litotipi sabbiosi e sabbio-limosi
- Dal punto di vista geomorfologico, l'area oggetto di studio mostra una scarsa urbanizzazione essendo ubicata in area agricola di pianura, ad una propensione al dissesto pressochè nulla e ad un rischio alluvioni rare rispetto al reticolo idrografico principale, mentre relativamente al reticolo secondario di pianura l'area di progetto risulta interamente compresa in aree classificate come P2 - alluvioni poco frequenti, inoltre la sola porzione Nord è compresa anche in aree classificate come P3-alluvioni frequenti. Le aree dove è prevista la realizzazione dell'impianto agrivoltaico in considerazione della natura geologica, delle caratteristiche geo-meccaniche, nonché della conformazione geomorfologica, non presentano a tutt'oggi condizioni di rischio potenziale al fenomeno della liquefazione né tanto meno di altri evidenti fenomeni deformativi (erosioni, smottamenti, frane). Sull'area non si segnala la presenza di alterazioni significative della struttura pedologica (variazione ad es. della permeabilità e della porosità) né forme significative di erosione (idrica e/o eolica). L'impatto che l'intervento andrà a realizzare sull'assetto geomorfologico attuale, sarà abbastanza limitato in quanto non sono previsti particolari movimenti di materiale e/o sbancamenti;
- Per la realizzazione delle strade a servizio dell'impianto agrivoltaico e dei piazzali, si produrranno ridotti movimenti di terra in quanto l'area risulta già sub-pianeggiante. Anche le opere fuori-terra sono state minimizzate mediante la realizzazione di cavidotti che consentiranno di annullare l'impatto visivo;
- Per quanto riguarda il regime vincolistico, è stata fatta una verifica cartografica del Piano per l'Assetto Idrogeologico del Fiume Po. L'area interessata dalle opere in progetto ricade interamente in fascia "C", definita come "Area di inondazione per piena catastrofica" ovvero che può essere interessata da inondazione al verificarsi di eventi di piena più gravosi di quelli di riferimento. La fascia "C" è disciplinata dall'art. 31 delle NTA del PAI che prevede che le attività ivi consentite e i relativi limiti siano regolamentati dagli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica;
- In merito all'analisi del Rischio Idraulico e Idrogeologico, l'intera area di Progetto risulta ricadere in area R1 definita a Rischio Moderato, per il quale sono possibili danni sociali ed economici marginali; il grado di rischio è comunque il più basso di quelli previsti dalle NTA. Non sono presenti aree di frana o dissesto idrogeologico, tipiche di contesti montani e collinari e non di pianura come quelli in oggetto;
- Dal punto di vista idrologico per le aree d'intervento, le strutture di sostegno dei moduli fotovoltaici sono state posizionate in modo tale da non interferire con i corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrografico secondario (scoli o canali). Gli edifici e le cabine verranno realizzati 1,5 m rispetto al piano campagna (quota ritenuta sufficiente a scongiurare il rischio allagamento degli stessi, calcolata sulla base del rilievo plano-altimetrico effettuato e in base a indicazioni del Consorzio di Bonifica Pianura di Ferrara). Tali quote tuttavia saranno oggetto di approvazione da parte dell'ente territoriale competente;
- Dal punto di vista dell'interferenza con la falda freatica locale, o almeno la prima falda sospesa, è stata rilevata, alla profondità di -1,00/-2,00 m dal p.c. correlabile appunto alla presenza di acquiferi non continui localizzati negli orizzonti argillo-limosi con livelli a maggiore permeabilità. Si precisa inoltre che la misurazione della falda effettuata nei punti di indagine lungo il confine Est e Ovest in prossimità di scoli consortili ad uso promiscuo (quindi con funzione sia di scolo che di irrigazione) risente dell'interferenza di questi ultimi che risultavano invasati all'atto delle misurazioni. Pertanto i livelli rilevati nella CPT3 (-1,30), CPT5 (-1,20), CPT7 (-1,00) e CPT8 (-1,20) risultano influenzati maggiormente dal livello di invaso di tali scoli. A tal proposito le misurazioni risultate maggiormente rappresentative sono quelle rilevate nelle prove all'interno dell'area, ovvero CPT2, CPT4, CPT6 e CPTU5 che si attestano su -1,50 m dal p.c. Dalla misura sopra riportata si potranno registrare nei periodi caldi/siccitosi un approfondimento del livello della prima tavola d'acqua rispetto al piano campagna. È plausibile, pertanto, ipotizzare una risalita sino a profondità di 1,50 m circa dal p.c. nei periodi maggiormente piovosi ed un abbassamento sino a 4,00 m circa dal p.c. nei periodi caldi/siccitosi.

- Dal punto di vista geotecnico, sulla base delle indagini geognostiche svolte, le strutture dei moduli fotovoltaici, le cabine e gli edifici tecnologici attinenti al campo agrivoltaico, l'attraversamento delle viabilità pubbliche saranno fondati sul substrato caratterizzato da terreni sostanzialmente argillosi e argillo-limosi;
- Le misure tomografiche hanno individuato valori di **Vs** tra **187 m/sec e 216 m/sec**;
- La categoria dei terreni di fondazione risulta essere di Categoria C ovvero "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m", caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi fra 180 e 360 m/s;
- Dalla verifica del potenziale di liquefazione è risultato che:
 - ✓ In tutte le prove si sono rilevati localmente livelli potenzialmente liquefacibili oltre -6,50/-8,00 m dal p.c. e i terreni sovrastanti fungeranno da azione di contrasto alla trasmissione in superficie degli effetti di una eventuale liquefazione. L'indice ILP è risultato in alcune prove nell'intervallo di rischio alto (il massimo massimo rilevato è ILP=8,81) ma comunque prossimo al limite del rischio moderato ($2 < ILP < 5$);
 - ✓ Autori quali Crespellani, Sheriff, Ishibashi ed altri riportano che, per le energie sismiche attese per l'area in esame, uno spessore pari a circa tre/cinque metri di materiale non liquefacibile sovrastante la lente granulare eventualmente liquefacibile, svolge un'azione di contrasto sufficiente a far sì che gli effetti di una eventuale liquefazione non vengano trasmessi alla superficie come indicato nella figura successiva.

Per ulteriori considerazioni relative ai calcoli strutturali in relazione alle opere in progetto ai sensi delle N.T.C. si rimanda all'All. C.06 "Relazione geotecnica e calcoli preliminari strutture".