

Concetto Green S.r.l.

Impianto agrivoltaico "Lugo" da 69.423,2 kWp ed opere connesse

Comuni di Lugo, Alfonsine, Bagnacavallo, Fusignano e Ravenna (RA)

Progetto Definitivo Impianto di utenza

Allegato C.04 Relazione Geologica, Geomorfologica, Idrologica, Idrogeologica e di prime considerazione geotecniche



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

Rev. 0

Giugno 2023

Indice

1	PREMESSA	4
1.1	Area in esame	5
1.2	Scopo della presente documentazione	6
1.3	Indagini geognostiche di riferimento	6
2	QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO	7
3	VINCOLISTICA	8
3.1	Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dei Bacini Regionali Romagnoli	8
3.2	Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale di Ravenna	9
3.3	Piano Strutturale Comunale di Ravenna	10
3.4	Regolamento Urbanistico Edilizio del Comune di Ravenna	10
4	ASSETTO GEOLOGICO GENERALE	11
4.1	Assetto geologico e geomorfologico dell'area in esame	12
4.2	Litostratigrafia dell'area in esame e prime considerazioni geotecniche di massima	13
4.3	Assetto Idrologico ed Idrogeologico locale	14
5	PRIME CONSIDERAZIONI GEOTECNICHE SULLE INDAGINI, CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE DEL VOLUME SIGNIFICATIVO DI TERRENO	15
5.1	Caratterizzazione fisica dei terreni	15
5.2	Caratterizzazione meccanica dei terreni e definizione dei parametri geotecnici caratteristici	15
6	SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE DEGLI ORIZZONTI SATURI GRANULARI LOCALMENTE RILEVATI	18
7	CONCLUSIONI	21

Elaborati Grafici

Nome File	Descrizione elaborato	Scala	Rev.	Data
All. C.04.Tav. 01	Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche		0	Mag-23

Allegati

Nome File	Descrizione elaborato	Rev.	Data
All. C.04.01	Restituzione prove CPT	0	Giu-23
All. C.04.02	Restituzione prove CPTU	0	Giu-23
All. C.04.03	Verifica del potenziale di liquefazione	0	Giu-23

Questo documento è di proprietà di Concetto Green 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 Concetto Green S.r.l.

1 PREMESSA

Su incarico ricevuto dalla Società Concetto Green S.r.l., si redige la presente relazione geologica, idrologica e idrogeologica, relativa all'Impianto di Utenza che consentirà la connessione alla RTN dell'impianto agrivoltaico da 69.423,2 kWp che la Società intende realizzare nei comuni di Lugo e Alfonsine (RA). L'Impianto di Utenza sarà ubicato nel comune di Ravenna (RA) mentre il cavidotto di collegamento interesserà anche i comuni di Fusignano e Bagnacavallo (RA).

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

1. Impianto agrivoltaico ad inseguimento monoassiale ubicato nei comuni di Lugo e Alfonsine (RA);
2. Linea in cavo interrato in media tensione a 30 kV (Dorsali MT), per il collegamento dell'impianto fotovoltaico alla futura stazione elettrica di trasformazione 132/30kV di proprietà della Società, che interesserà i comuni di Lugo, Fusignano, Bagnacavallo e Ravenna (RA);
3. Stazione elettrica di trasformazione 132/30 kV (Stazione Utente), da realizzarsi in frazione Santerno, nel comune di Ravenna (RA);
4. Opere Condivise dell'Impianto di Utenza (Opere Condivise), costituite dalle sbarre comuni, dallo stallo arrivo linea e da una linea in cavo interrato a 132 kV, necessarie per la condivisione del nuovo stallo a 132 kV nella stazione di smistamento RTN esistente, denominata "Santerno", tra il progetto della Società CONCETTO GREEN ed eventuali progetti futuri di altre società;
5. Nuovo stallo arrivo produttore della Stazione RTN (Impianto di Rete), per il collegamento del cavo 132 kV alla RTN, da realizzarsi all'interno della stazione di smistamento esistente della RTN "Santerno", di proprietà di Terna S.p.A. ("il Gestore").

Le opere di cui ai precedenti punti 1) e 2) costituiscono il Progetto Definitivo dell'Impianto agrivoltaico. Per tale progetto è stata predisposta una Relazione geologica, geomorfologica, idrologica e idrogeologica distinta.

Le opere di cui ai precedenti punti 3) e 4) costituiscono il Progetto Definitivo dell'Impianto di Utenza per la connessione ed il presente documento si configura come Relazione geologica, geomorfologica, idrologica e idrogeologica allegata al medesimo progetto.

Le opere di cui al precedente punto 5) costituiscono il Progetto Definitivo dell'Impianto di Rete. Per tale progetto, essendo la Stazione RTN esistente limitrofa all'area dell'Impianto di Utenza e già predisposta per ospitare il nuovo stallo arrivo produttore, non si è ritenuto necessario effettuare uno studio dedicato.

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. 2 prove penetrometriche
- un'indagine sismica (di tipo indiretto), con la realizzazione di n. 1 indagine di tipo tomografico;
- le prime considerazioni geotecniche connesse con le opere in progetto.

1.1 Area in esame

L'area in esame è ubicata a S-W dell'abitato di Santerno in Via degli Angeli e ricade in ambito di pianura, a circa 6,00 m s.l.m.m.

La Figura 1 fornisce un inquadramento generale della zona di interesse su base cartografica C.T.R. 10.000 – Foglio 223130 ed identifica l'area individuata per l'Impianto di Utenza. La Figura 2 rappresenta l'ubicazione delle indagini geognostiche e sismiche effettuate, su base orto-fotografica tratta da Google Earth ©.



Figura 1 - Ubicazione dell'area su base CTR in scala libera



Figura 2 - Ubicazione dell'area e dei punti di indagine su ortofoto Google Earth © in scala libera.

1.2 Scopo della presente documentazione

La presente relazione di modellazione geologica 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 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

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 prova CPT
- n. 1 prova CPTU
- n. 1 indagine sismica di tipo tromografico (TR).

Per l'espletamento delle prove sono stati utilizzati:

- CPT: penetrometro statico tipo Pagani a doppio effetto atta al rilievo dell'attrito laterale;
- CPTU: penetrometro Tecnopenta;
- 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 anche semplicemente come raffronto a quanto puntualmente rilevato.

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:
 - o L. 02/02/1974 n. 64 "Provvedimenti per le costruzioni con particolare riferimento alle prescrizioni per le zone sismiche"(art.13);
 - o 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

Sono stati analizzati sia gli strumenti di pianificazione sovraordinati che quelli comunali.

3.1 Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dei Bacini Regionali Romagnoli

Dall'analisi della Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dei Bacini Regionali Romagnoli, si evince che l'area ricade all'interno di un'area di potenziale allagamento normata dall'art.6 delle NTA del PSAI.

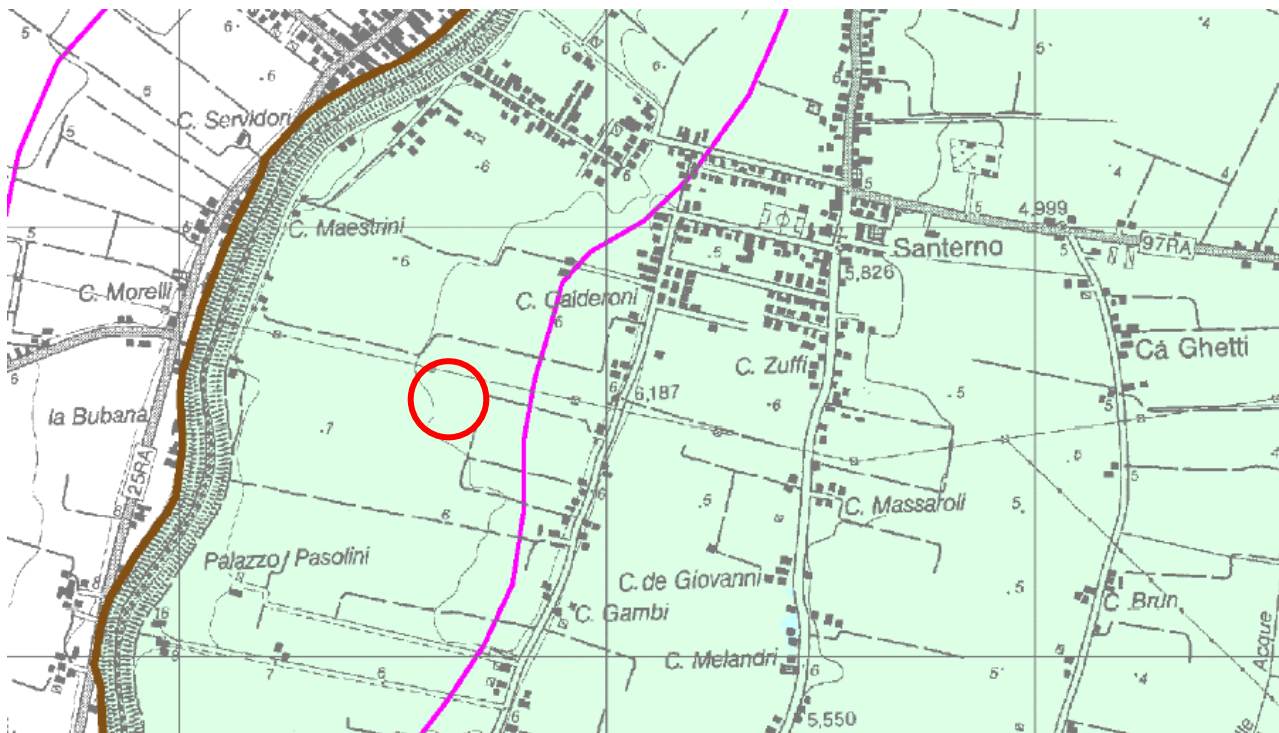


Figura 3 – Estratto della Tav. 2230 del PSAI Bacini Regionali Romagnoli.

Le aree di cui all'art.6 sono quelle nelle quali si riconosce la possibilità di allagamenti a seguito di piene del reticolo minore e di bonifica, nonché sormonto degli argini da parte di piene dei corsi d'acqua principali di pianura, in corrispondenza di piene con tempo di ritorno non superiore 200 anni, senza apprezzabili effetti dinamici.

Al fine di ridurre il rischio nelle aree di potenziale allagamento la realizzazione di nuovi manufatti edilizi, opere infrastrutturali, reti tecnologiche, impiantistiche e di trasporto di energia sono subordinate all'adozione di misure in termini di protezione dall'evento e/o di riduzione della vulnerabilità.

I Comuni il cui territorio ricade nelle aree di potenziale allagamento provvedono a definire e ad applicare tali misure in sede di revisione degli strumenti urbanistici comunali vigenti, e nel caso di adozione di nuove varianti agli stessi.

L'Impianto di Utenza ricade, inoltre, in area disciplinata dall'art. 10 "distanza rispetto corpi arginali" del Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico Variante di coordinamento tra il Piano Gestione Rischi Alluvioni ed il Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico. L'Autorità di Bacino definisce con la "Direttiva per le verifiche e il conseguimento degli obiettivi di sicurezza idraulica", approvata con Delibera Comitato Istituzionale n. 3/2 del 20/10/2003, i tiranti idrici di riferimento e fornisce indicazioni riguardo agli accorgimenti tecnico-costruttivi e ai diversi gradi di cautela da adottare in funzione dei tiranti idrici di riferimento.

L'Art. 10 del Piano aggiornato relativo alle Distanze di rispetto dai corpi idrici prevede che i Comuni del territorio di pianura attraversato da corpi idrici arginati, in sede di revisione dei propri strumenti urbanistici, localizzino le previsioni insediative ad una distanza minima dal piede esterno delle arginature tale per cui risultino esterni alla zona di rischio per effetto dinamico del crollo arginale, definita dall'allegato 7 alla "Direttiva per le verifiche e il conseguimento degli obiettivi di sicurezza idraulica", approvata con Delibera Comitato Istituzionale n. 3/2 del 20/10/2003 e s.m. e i..

3.3 Piano Strutturale Comunale di Ravenna

Dall'analisi del Piano Strutturale Comunale di Ravenna, ed in particolare dalla Tavola 11 – Santerno, si evince che il progetto insiste su aree regolamentate dall'art. Art. 76 c. 4a "Zone di più antica formazione ad alta vocazione produttiva agricola" che demanda alla disciplina di RUE.

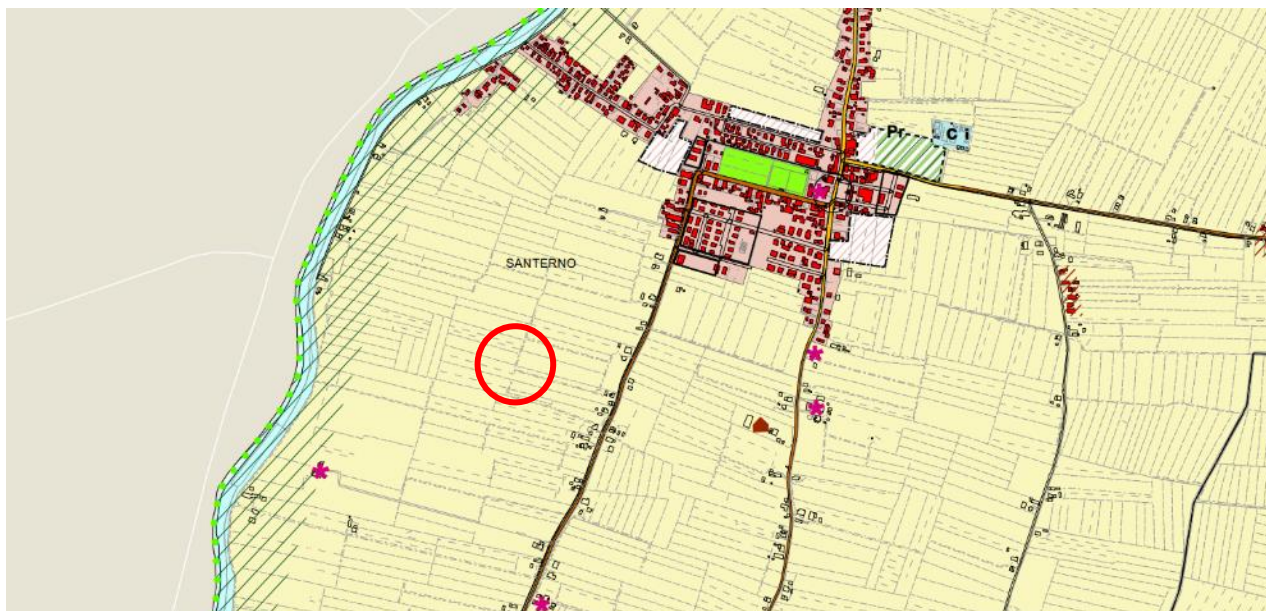


Figura 5 – Estratto della Tav. 11 del PSC

3.4 Regolamento Urbanistico Edilizio del Comune di Ravenna

Dall'analisi del Regolamento Urbanistico Edilizio del Comune di Ravenna, ed in particolare della Tavola 2 - Regimi normativi della città esistente e del territorio extraurbano, si evince che di progetto insiste su aree regolamentate dall'Art. VI.2.3 - SR1 - Zone di più antica formazione ad alta vocazione produttiva agricola, rispetto alle quali il RUE intende favorire l'attività dell'impresa agricola atta a promuovere filiere di beni e servizi con la logica della multifunzionalità, nel rispetto degli elementi storico-documentari architettonici e del paesaggio.

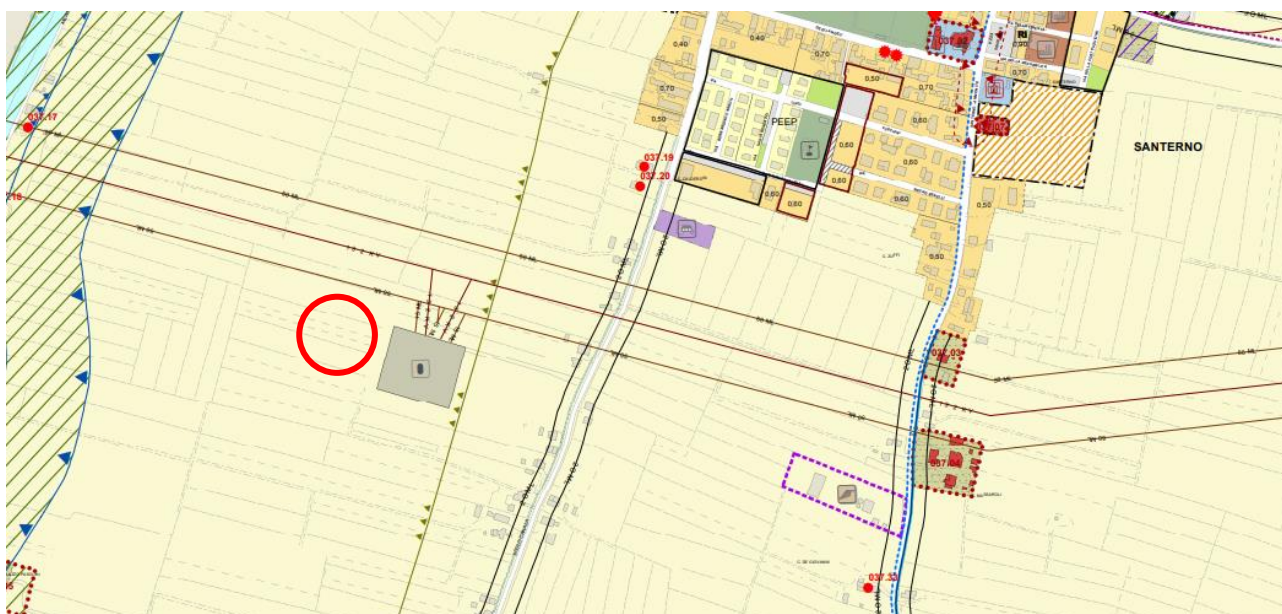


Figura 6 – Estratto della Tav. 2 del RUE

4 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 Ravenna e quindi anche per il territorio del Comune di Ravenna, 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 in Figura 7 e in Figura 8 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 nell'All. C.04 "Relazione Sismica - Impianto agrivoltatico".

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

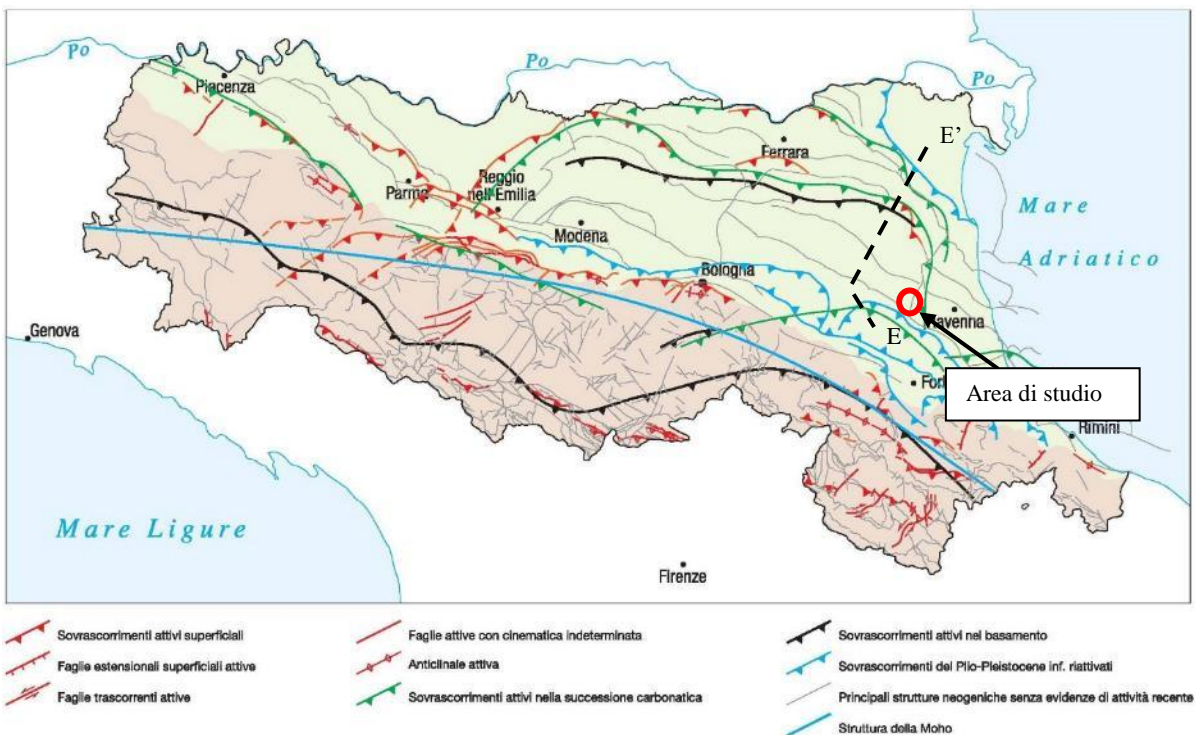


Figura 7 – Schema geologico tratto dalla Carta Sismotettonica dell'Emilia-Romagna

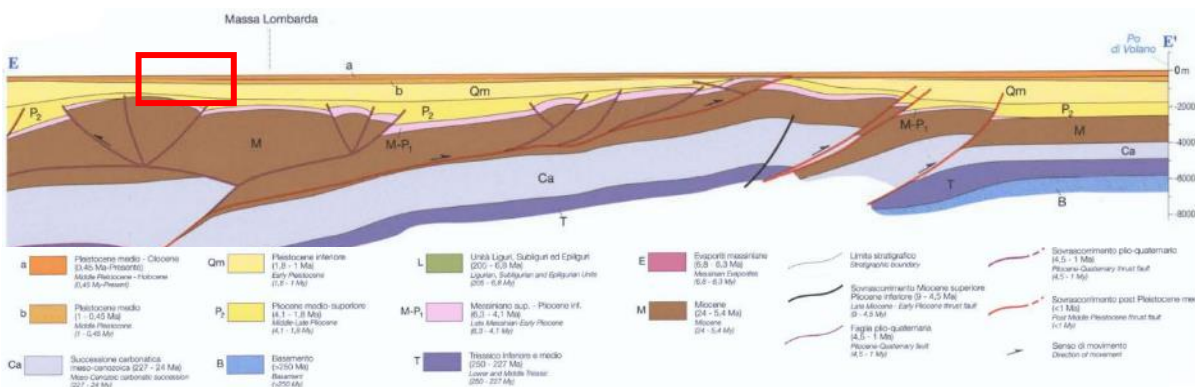


Figura 8 – Sezione geologica E-E', con l'andamento delle pieghe e delle faglie del substrato

4.1 Assetto geologico e geomorfologico dell'area in esame

Dal punto di vista geologico latu-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.

Per la cartografia tematica si rimanda all'All. C.05.Tav. 02 - Carta geolitologica – Progetto definitivo Impianto agrivoltaico e all'All. C.05.Tav. 03 - Carta geomorfologica – Progetto definitivo Impianto agrivoltaico.

Dalla Carta Geologica di pianura dell'Emilia – Romagna si evince come per l'area in oggetto si potrebbero riscontrare depositi di natura granulare (senso lato) ovvero sabbie medie e fini in strati di spessore decimetrico passanti lateralmente ed intercalate a sabbie fini e finissime limose, subordinatamente limi argillosi ascrivibili a depositi di canale e argine prossimale del Fiume Lamone quando nel XV Sec. divagavano in quei territori.

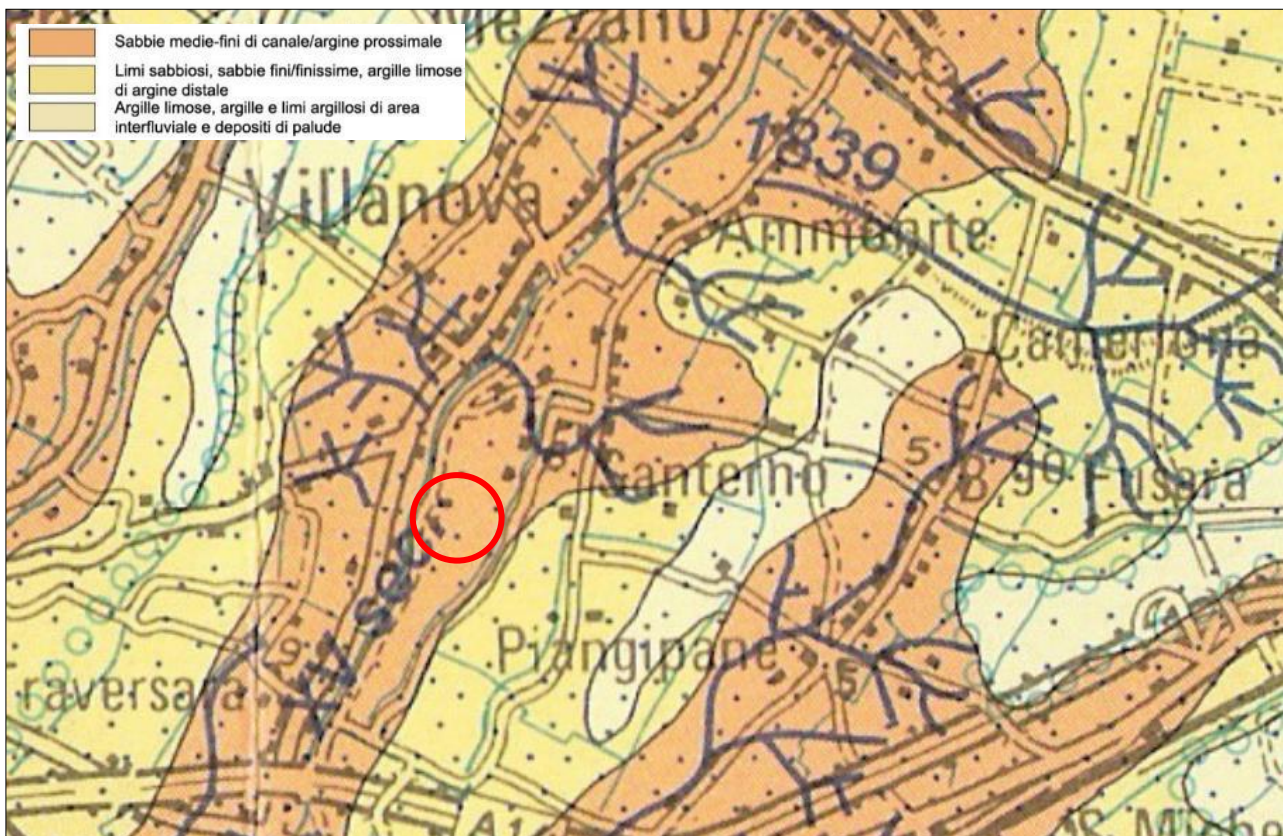


Figura 9 – Estratto della Carta geologica di pianura in scala libera

La Carta Geologica dell'Emilia-Romagna in scala 1:10.000 (disponibile dal sito del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli) indica che l'area di studio ricade in un ambiente di piana alluvionale, che nello specifico trattasi di litotipi sabbio-limosi ovvero di terreni tipici dei depositi di canale, argine e rotta fluviale. L'unità geologica è la AES8a, ovvero l'unità di Modena, in particolare trattasi del Sintema emiliano- romagnolo superiore - Subsintema 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.

La condizione litologica superficiale, riscontrata in fase di indagine penetrometrica, non 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 è potuto sostanzialmente rilevare, dopo un primo spessore esiguo di litotipi limosi e sabbio-limosi/argillo-limosi tra 0,60 m e -2,20 m dal p.c., la presenza di litotipi argillosi e argillosi debolmente limosi fino a fine prova (-20 m dal p.c.)

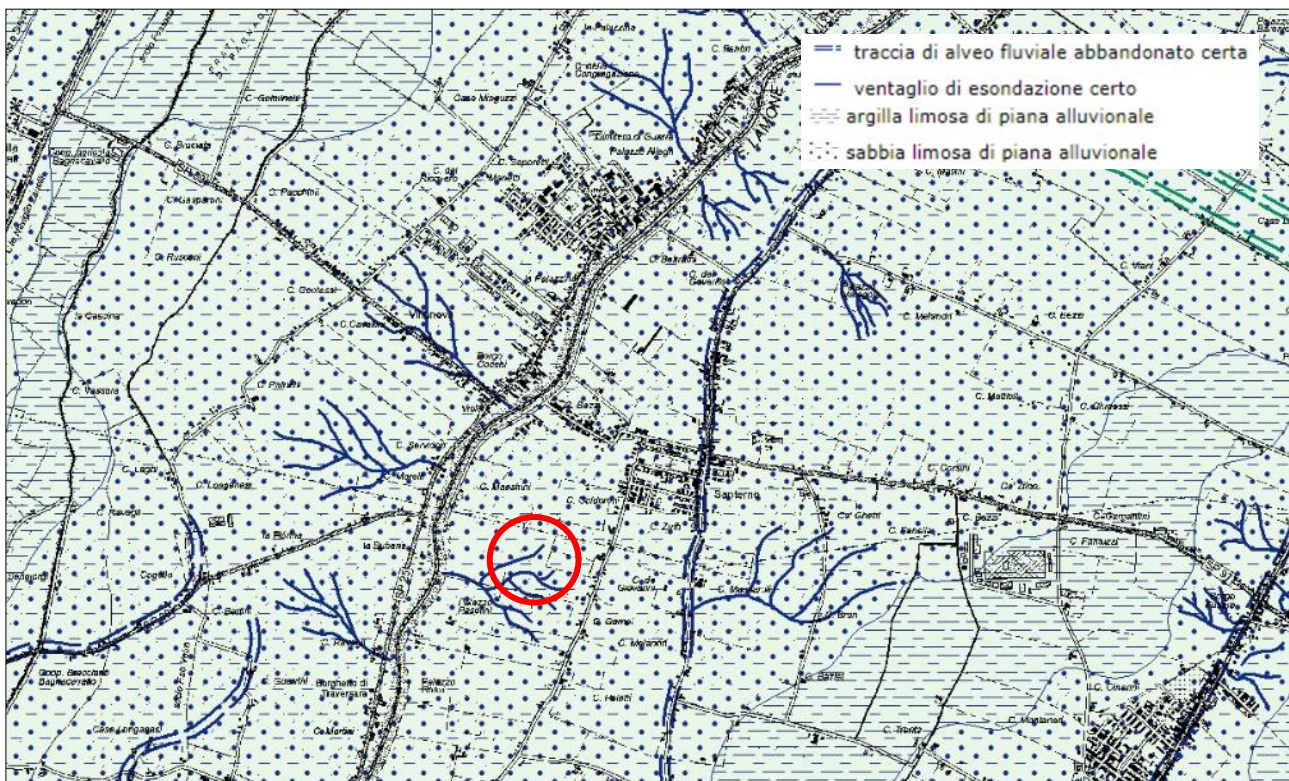


Figura 10 – Estratto della Carta geologica dell'Emilia-Romagna

4.2 Litostratigrafia dell'area in esame e prime considerazione geotecniche di massima

Sulla base delle prove eseguite, si riportano le seguenti caratteristiche litostratigrafiche caratterizzanti, dal punto di vista geologico, l'area in esame.

- **Orizzonte 1:** da -0,00 m a -2,80 m dal p.c.

Litotipi limo-argillosi e limo-sabbiosi a componente sia coesiva che granulare. I valori di Q_c sono mediamente compresi tra 15 e 45 kg/cm²

- **Orizzonte 2:** da -2,80 m a -9,20 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 10 e 15 kg/cm²

- **Orizzonte 3:** da -9,20 m a 12,00 m dal p.c.

Litotipi argillosi e argillosi debolmente limosi a componente coesiva prevalente. I valori di Q_c sono mediamente compresi tra 15 e 20 kg/cm²

- **Orizzonte 4:** da -12,00 m a 20,00 m dal p.c.

Litotipi argillosi e argillo-limosi con probabile presenza di sostanza organica/torba a componente coesiva prevalente. I valori di Q_c sono mediamente compresi tra 10 e 15 kg/cm².

Per una puntuale individuazione della stratigrafia rilevata si rimanda all'All. C.04.01 e All. C.04.02 in cui sono presenti le schede di restituzione stratigrafica. Più approfondite considerazioni di natura geotecnica sono proprie e saranno quindi riportate al paragrafo 5 in merito alle prime considerazioni geotecniche.

Durante la fase esecutiva, si raccomanda di porre attenzione 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 avere un modello geologico di dettaglio per la fase progettuale/ realizzativa.

4.3 Assetto Idrologico ed Idrogeologico locale

L'area destinata all'Impianto di Utenza è ubicata a circa 580 m a E del Fiume Lamone. Non si rilevano poi altri corpi idrici se non fossi di scolo e/o scoline in quanto l'area si trova in prossimità di una zona agricola.

La falda freatica locale, o almeno la prima falda sospesa, è stata rilevata, nel foro di esecuzione delle CPT/CPTU alla profondità di -2,00 m dal p.c. correlabile appunto alla presenza di acquiferi non continui localizzati negli orizzonti argillo-limosi con livelli a maggiore permeabilità.

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 sensibilmente 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 tale 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.

5 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/piovosso. 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 4.3 - Assetto Idrologico ed Idrogeologico locale 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 5.2 - Caratterizzazione meccanica dei terreni e definizione dei parametri geotecnici caratteristici. Dato che dette variazioni si svilupperanno in maniera più o meno ciclica, per le opere in progetto sarà fornita opportuna rigidità strutturale (soprattutto fondale) e si prevederanno strutture in elevazione (incluse le finiture e gli impianti). Per ulteriori dettagli relativi ai calcoli strutturali in relazione alle opere in progetto ai sensi delle N.T.C. si rimanda all'All. C.05 "Relazione geotecnica e calcoli preliminari strutture – Impianto di utenza".

5.1 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., 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..

5.2 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 ed 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 dei progettisti, 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.05 "Relazione geotecnica e calcoli preliminari strutture – Impianto di Utenza". 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 intorni 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.05 "Relazione geotecnica e calcoli preliminari strutture – Impianto di Utenza.

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, $\varphi = 0$) 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 e controllato. Le strutture fondali saranno sufficientemente rigide da sopportare le suddette variazioni di volume (che potranno svilupparsi in maniera "ritmica" o regolare, ma anche in maniera imprevedibile) e le strutture in elevazione saranno dotate di accorgimenti che consentano di non danneggiarsi (anche relativamente a finiture e/o impianti).

CPT1(-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)				
	sopra falda	sotto falda											
STRATO 1 Litotipi limo-argillosi e limo-sabbiosi	0,00-2,80	γ (k)	1,85	γ (k)	0,88	Cu (k)	0,82	OCR (k)	26,61	Eu50 (k)	140,08	Mo (k)	65,19
		γ (media)	1,85	γ (media)	0,91	Cu (media)	1,06	OCR (media)	40,90	Eu50 (media)	180,90	Mo (media)	88,50
		γ (min)	1,85	γ (min)	0,86	Cu (min)	0,64	OCR (min)	10,90	Eu50 (min)	108,00	Mo (min)	48,00
		γ (max)	1,85	γ (max)	0,98	Cu (max)	2,67	OCR (max)	99,90	Eu50 (max)	453,00	Mo (max)	240,00
STRATO 2 Litotipi argillosi con probabile presenza di sostanza organica	2,80-9,20	γ (k)	0,90	Cu (k)	0,54	OCR (k)	2,64	Eu50 (k)	249,59	Mo (k)	42,62		
		γ (media)	0,91	Cu (media)	0,56	OCR (media)	3,03	Eu50 (media)	266,63	Mo (media)	43,97		
		γ (min)	0,85	Cu (min)	0,40	OCR (min)	1,50	Eu50 (min)	154,00	Mo (min)	35,00		
		γ (max)	0,97	Cu (max)	0,75	OCR (max)	6,00	Eu50 (max)	371,00	Mo (max)	56,00		
STRATO 3 Litotipi argillosi e argillosi debolmente limosi	9,20-12,00	γ (k)	0,95	Cu (k)	0,72	OCR (k)	1,77	Eu50 (k)	409,50	Mo (k)	54,26		
		γ (media)	0,96	Cu (media)	0,75	OCR (media)	1,88	Eu50 (media)	422,79	Mo (media)	56,43		
		γ (min)	0,93	Cu (min)	0,60	OCR (min)	1,50	Eu50 (min)	348,00	Mo (min)	47,00		
		γ (max)	0,99	Cu (max)	0,85	OCR (max)	2,20	Eu50 (max)	462,00	Mo (max)	66,00		
STRATO 4 Litotipi argillosi con probabile presenza di sostanza organica	12,00-15,00	γ (k)	0,90	Cu (k)	0,55	OCR (k)	0,92	Eu50 (k)	330,11	Mo (k)	43,08		
		γ (media)	0,91	Cu (media)	0,57	OCR (media)	0,97	Eu50 (media)	339,87	Mo (media)	44,20		
		γ (min)	0,83	Cu (min)	0,54	OCR (min)	0,80	Eu50 (min)	321,00	Mo (min)	42,00		
		γ (max)	0,95	Cu (max)	0,67	OCR (max)	1,20	Eu50 (max)	395,00	Mo (max)	50,00		

CPT1(-2,00)													
prof. dal p.c.	frazione granulare					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 limo-argillosi e limo-sabbiosi	0,00-2,80	Dr(k)	50,57	ϕ (k)	28,06	E'50(k)	77,01	Mo (k)	116,72	c' 0,05	ϕ' 29,00	kW 2,40	v 0,35
		Dr (media)	61,10	ϕ (media)	29,10	E'50(media)	101,70	Mo (media)	182,65				
		Dr (min)	33,00	ϕ (min)	27,00	E'50 (min)	45,00	Mo (min)	75,00				
		Dr (max)	100,00	ϕ (max)	33,00	E'50 (max)	240,00	Mo (max)	1320,00				
STRATO 2 Litotipi argillosi con probabile presenza di sostanza organica	2,80-9,20	Dr(k)	-	ϕ (k)	-	E'50 (k)	-	Mo (k)	-	c' 0,08	ϕ' 20,00	kW 1,20	v 0,35
		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 3 Litotipi argillosi e argillosi debolmente limosi	9,20-12,00	Dr(k)	-	ϕ (k)	-	E'50 (k)	-	Mo (k)	-	c' 0,08	ϕ' 20,00	kW 1,20	v 0,35
		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 4 Litotipi argillosi con probabile presenza di sostanza organica	12,00-15,00	Dr(k)	-	ϕ (k)	-	E'50 (k)	-	Mo (k)	-	c' 0,08	ϕ' 20,00	kW 1,20	v 0,35
		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)	-				

6 SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE DEGLI ORIZZONTI SATURI GRANULARI LOCALMENTE RILEVATI

Il fenomeno della liquefazione determina una diminuzione della resistenza al taglio e/o della rigidezza, 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 $S_a < 0,15$ 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 della prova CPT, sono presenti sostanzialmente litotipi argillosi e argillosi-limosi fino alla profondità massima indagata seppur localmente sono stati rilevati litotipi maggiormente limosi tra -1,60/-2,20 m dal p.c. ovvero di spessori ridotti che non possono rientrare nella definizione di *"strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda"*.

Per una valutazione della suscettibilità alla liquefazione si sono tenute in considerazione le valutazioni presentate nell'elaborato specifico "All.C.06 Relazione Sismica - Impianto di Utenza" redatto in esito alle indagini sismiche effettuate, come riportato al paragrafo 1.3 - Indagini geonostiche di riferimento.

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 adotterà il valore di 6,1 precedentemente descritto. Sulla scorta del Catalogo CTPI15 si potrà invece rilevare come il Comune di Ravenna sia in realtà stato sottoposto ad eventi sismici di Magnitudo (Richter) massima pari a 5,84. **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.)

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 come indicato al paragrafo precedente (M=5.00) fino alla profondità di -15 m dal p.c. per la CPTU1.

Per l'area si è provveduto ad un approfondimento sismico di III livello con la redazione dello studio di risposta sismica locale (All. C.06.02).

Per l'area in esame il valore è stato calcolato con un valore di g di 0,213 (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:

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

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.04.03 vengono riportate le risultanze delle verifiche effettuate.

CPT	M=6.14	M=6.00	M=5.75	M=5.50	M=5.00
CPTU1	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00

Si può concludere quanto segue:

1. Sulla scorta del Catalogo degli eventi sismici succedutisi in Italia dal 1200 ad oggi si potrà rilevare come il Comune di Ravenna è stato sottoposto ad eventi sismici di Magnitudo (Richter) **massima pari a 5,84** (1688) e che il valore di M avente localmente **maggiori probabilità di ripetersi è pari a 5,00**;
2. **Si osservi che essendo la scala di M logaritmica, il valore di 6,14 risulta quindi essere estremamente penalizzante;**
3. **È stata ipotizzata una profondità del livello della falda freatica a -1,00 m dal p.c. in caso di risalita durante il verificarsi di un evento sismico, e quindi essere estremamente penalizzante in quanto mediamente le oscillazioni della falda si attestano tra -1,50 e -4,00 m dal p.c.;**
4. 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.
5. Non sono stati rilevati livelli potenzialmente liquefacibili. L'indice ILP è risultato 0,01 per M=6.14 e 0,00 per tutte le altre e quindi con un rischio nullo.

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 indicano che gli strati non sono liquefacibili.

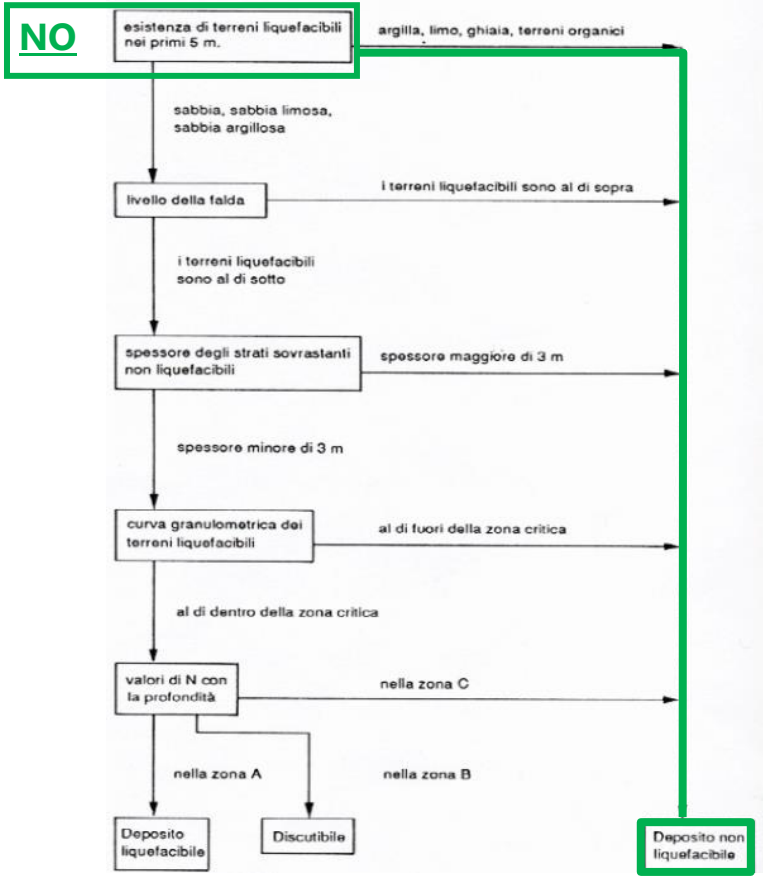


Figura 11 – Metodo Sherif-Ishibashi (1978) – Tabella A

7 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 fino alla profondità massima indagata di -20 m dal p.c., seppure localmente si rileva la presenza di orizzonti sabbio-limosi entro -2,20 m dal p.c. .
- 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 allagamento. L'area dove è prevista la realizzazione dell'Impianto di Utenza in considerazione della natura geologica, delle caratteristiche geo-meccaniche, nonché della conformazione geomorfologia, non presentano a tutt'oggi condizioni di rischio potenziale al fenomeno della liquefazione ne 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 movimenti di materiale e/o sbancamenti se non per la realizzazione del rilevato alla base dell'impianto di utenza.
- Per la realizzazione della strada di accesso all'Impianto di Utenza, si produrranno ridotti movimenti di terra in quanto sull'area risulta in parte già essere stata realizzata la viabilità di accesso alla stazione Terna.
- Per quanto riguarda il regime vincolistico, è stata fatta una verifica cartografica del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dei Bacini Regionali Romagnoli. Le aree interessate dalla realizzazione dell'Impianto di Utenza risultano ricadenti in area di potenziale allagamento.
- Dal punto di vista idrologico per l'area d'intervento, l'impianto è stato posizionato in modo tale da non interferire nè con i corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrografico del Lamone nè con canali. Le quote dell'impianto sono state elevate in funzione del tirante idraulico calcolato nell'All.C08 "Relazione di compatibilità idraulica e verifica al collasso arginale del Fiume Lamone - Impianto di Utenza"
- Dal punto di vista geotecnico, sulla base delle indagini geognostiche svolte, l'impianto sarà fondato sul substrato caratterizzato da terreni sostanzialmente argillosi e argillo-limosi.
- Dalla verifica del potenziale di liquefazione è risultato un valore di $ILP=0,01$ per la magnitudo massima di $M=6.14$ e che pertanto rappresenta un rischio basso/nullo.

Per ulteriori considerazioni relative ai calcoli strutturali in relazione alle opere in progetto ai sensi delle N.T.C. si rimanda all'All. C.05 "Relazione geotecnica e calcoli preliminari strutture – Impianto di Utenza.