



VRD 28.1 S.r.l.

P.ZZA MANIFATTURA N. 1 - ROVERETO (TN)

C.F. e P.IVA 02470990223

REA TN - 227090

Regione Emilia Romagna

Comune di Poviglio

Provincia di Reggio Emilia

VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE

Titolo:

Impianti di produzione di energia elettrica da fonte fotovoltaica

"POVIGLIO A" e "POVIGLIO B"

rispettivamente di Potenza Elettrica pari a 6080,25 kWp e 6134,70 kWp

Via d'Este Snc - Poviglio (RE)

Oggetto:

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA IMPIANTO FOTOVOLTAICO

Codifica Elaborato:

RV.01

Referente per lo Studio di Impatto Ambientale:



Servin
Società cooperativa a r.l.

Circonvallazione Piazza d'Armi, 130
48122 RAVENNA (RA)
C.F. e P.IVA 01465700399

Progettista:

Dott. Geol. Lavagnoli Michela



Latitudine: 44°52'33.14"N
Longitudine: 10°32'49.15"E

Cod. File:

40_RV.01_VRD28.1_PD_00

Scala:

-

Formato:

-

Codice:

PD

Rev.:

00

Rev.	Data	Descrizione revisione:	Redatto:	Controllato:	Approvato:
0	09/2021	Prima emissione	Dott.ssa Geol. Michela Lavagnoli	Dott.ssa Geol. Michela Lavagnoli	Dott.ssa Geol. Michela Lavagnoli
1	DATA				
2	DATA				

INDICE

1	PREMESSA	2
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3	DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO	5
4	ASPETTI GEOLOGICI GENERALI	6
4.1	Assetto geologico e litostratigrafico.....	6
4.2	Assetto geomorfologico	12
4.3	Acque superficiali.....	16
4.4	Acque sotterranee.....	21
4.4.1	Assetto idrogeologico locale.....	23
5	DESCRIZIONE DELLE INDAGINI IN SITO.....	25
6	CARATTERIZZAZIONE FISICO E MECCANICA DEI TERRENI	29
6.1	Caratteristiche litologiche dei terreni	29
6.2	Modello geotecnico e valori caratteristici dei parametri geotecnici.....	30
7	SISMICA.....	31
7.1	Pericolosità sismica	31
7.2	Valutazione del potenziale di liquefazione dei terreni	36
8	PORTANZA PER FONDAZIONI SUPERFICIALI	38
9	CEDIMENTI PER FONDAZIONI SUPERFICIALI.....	40
10	CONSIDERAZIONI DI SINTESI.....	41

ALLEGATO 1: GRAFICI PROVE PENETROMETRICHE**ALLEGATO 2: INDAGINI SISMICHE****ALLEGATO 3: VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE DEI TERRENI**

1 PREMESSA

Lo studio svolto è stato finalizzato al riconoscimento delle principali caratteristiche geologiche e litotecniche dei terreni presenti in corrispondenza dell'area interessata dal progetto di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte fotovoltaica situato in località D'Este, a nord del territorio comunale del comune di Poviglio, in provincia di Reggio Emilia (Figura 1-1). L'estensione complessiva dell'area recintata è pari a poco più di 15 ettari.

L'impianto è composto da due campi fotovoltaici denominati "POVIGLIO A" della potenza nominale di 6.080,25 kW e "POVIGLIO B" della potenza nominale di 6.134,70 kW.

Le coordinate geografiche riferite al datum WGS84 del baricentro dell'area di realizzazione del campo fotovoltaico sono: Lat. 44,8745°, Long. 10,5462°. L'area è compresa negli Elementi 182111 e 182112 della Carta Tecnica Regionale (Figura 1-2). In Figura 1-3 viene riportata l'area di intervento su foto aerea tratta da Google Earth.

Per la modellazione dell'area è stato analizzato e utilizzato il materiale pubblicato nel sito della cartografia geologica del servizio geologico sismico e dei suoli della regione Emilia Romagna, (<http://geo.regione.emilia-romagna.it>) e la documentazione contenuta negli elaborati del Foglio 182 Guastalla della Carta Geologica d'Italia (<http://www.isprambiente.gov.it>).

Per la caratterizzazione geologica e geotecnica di dettaglio, in corrispondenza dell'area di realizzazione del campo fotovoltaico, sono state effettuate n.5 prove penetrometriche statiche con punta elettrica (CPTU), n.1 indagine sismica attiva (MASW) e n.1 indagine sismica passiva (HVSr). In corrispondenza dei fori ottenuti mediante l'esecuzione delle prove è stato rilevato il livello di profondità della falda dal piano di campagna.

Sulla base delle informazioni raccolte è stata ricostruita la stratigrafia del sottosuolo ed individuato un modello geologico-geotecnico dei terreni. Facendo riferimento alla normativa sismica vigente, sulla base della quale il territorio di Poviglio rientra all'interno della zona 3, è stata effettuata la caratterizzazione della pericolosità sismica di base dell'area.



Figura 1-1 - Ubicazione area di intervento

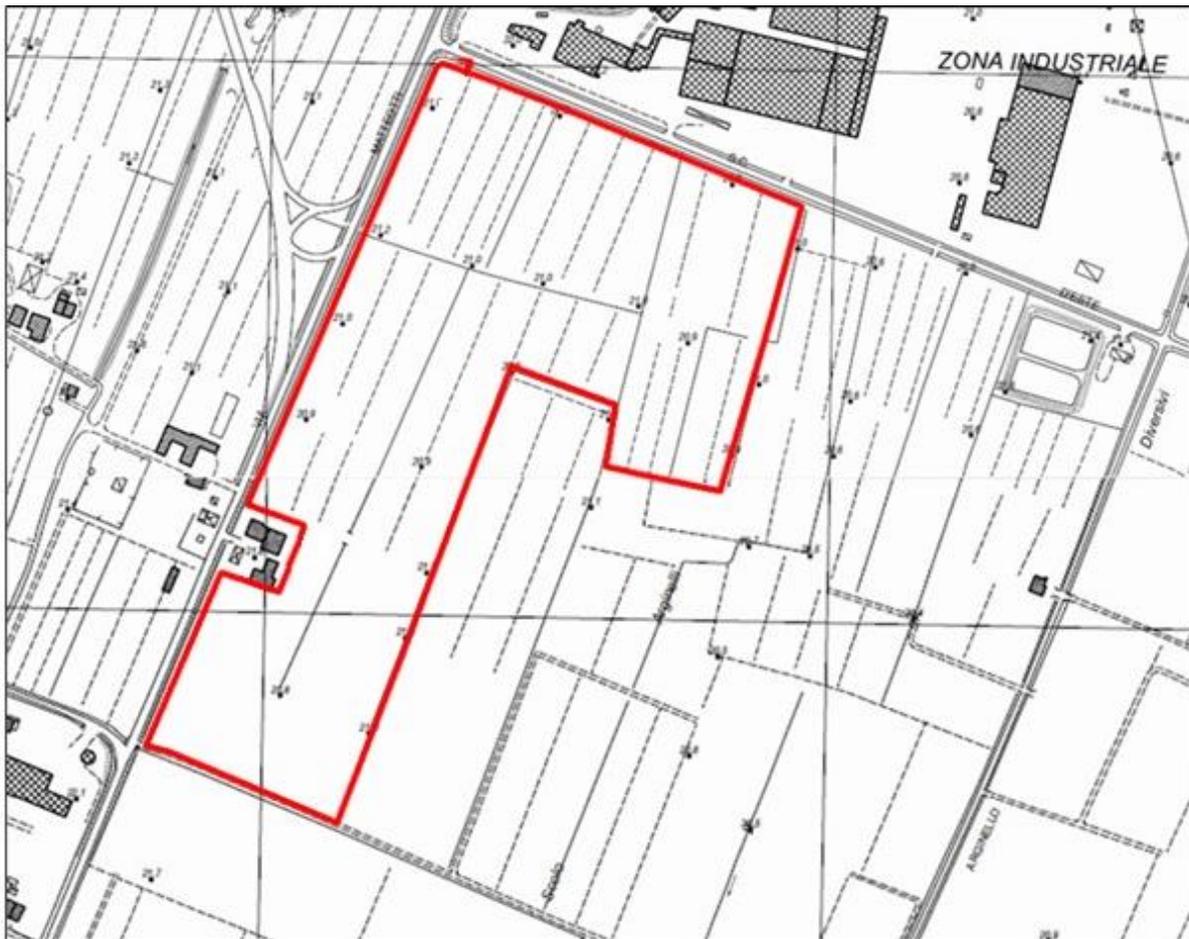


Figura 1-2 - Assetto Altimetrico della superficie topografica (Elementi CTR 182111 e 182112)



Figura 1-3 Ubicazione area di intervento (Base foto aree tratte da Google Earth)



Figura 1-4 – Panoramica area di intervento



Figura 1-5 – Panoramica area di intervento

2 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

La presente relazione è stata redatta in riferimento alla sotto elencata normativa.

Decreto ministeriale 17/01/2018 - Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni». (Nel testo citato come NTC 18).

Circolare applicativa NTC2018 – Circolare Esplicativa con le Istruzioni alle Norme Tecniche per le Costruzioni.

Consiglio Superiore dei lavori pubblici – Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n. 36 del 27/07/2007

Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20/03/2003 n. 3274 - “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”.

Decreto Presidente Repubblica n. 380 del 6 giugno 2001 - Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia.

3 DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO

All'interno dell'impianto fotovoltaico è in progetto la realizzazione delle strutture sotto riportate per le quali è previsto il ricorso a fondazioni di tipo superficiale. Si tratta di n.4 Cabinet inverter, n.2 cabine di consegna, n.2 cabine utente e n.1 cabina per i servizi ausiliari. Per i dettagli si rimanda alla relazione tecnica e ai relativi elaborati grafici di progetto. Le dimensioni delle platee di fondazione sono riportate nella seguente tabella.

Edificio / struttura	Larghezza B (m)	Lunghezza L (m)	Profondità piano di posa (m)
Cabinet inverter 1.A	3,7	7,3	0,1
Cabinet inverter 2.A	3,7	7,3	0,1
Cabinet inverter 1.B	3,7	7,3	0,1
Cabinet inverter 2.B	3,7	7,3	0,1
Cabina utente 'POVIGLIO A'	2,5	6,5	0,1
Cabina utente 'POVIGLIO B'	2,5	6,5	0,1
Cabina consegna 'FV ESTE 1'	2,5	6,7	0,1
Cabina consegna 'FV ESTE 2'	2,5	6,7	0,1
Cabina servizi ausiliari	2,5	4,0	0,1

Tabella 3-1 Dimensioni in pianta delle strutture di fondazione

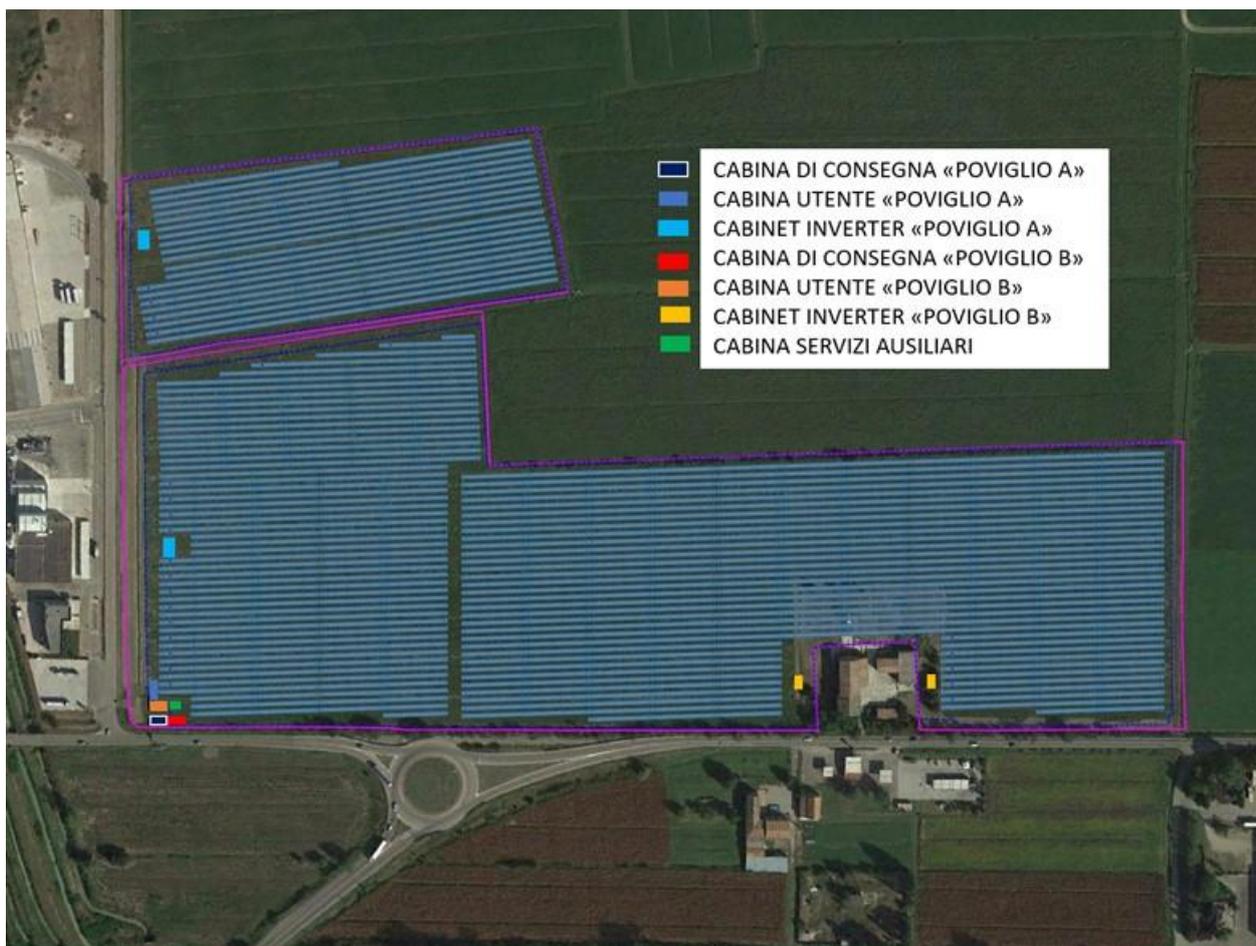


Figura 3-1 – Vista aerea dell'area di intervento

4 ASPETTI GEOLOGICI GENERALI

4.1 Assetto geologico e litostratigrafico

Per un inquadramento dell'assetto geologico di area vasta viene fatto specifico riferimento al foglio 182 Guastalla della Carta Geologica d'Italia e alle relative Note Illustrative.

L'area si colloca nel settore centrale della Pianura Padana ed è caratterizzata geologicamente dalla presenza di depositi alluvionali legati sia all'attività dei fiumi appenninici che del fiume Po. La pianura nel suo insieme rappresenta l'espressione morfologica di superficie del Bacino Padano, un bacino sedimentario di età terziaria compreso tra le strutture appenniniche (a vergenza settentrionale) e le strutture alpine (a vergenza meridionale). La storia compressiva che lo ha interessato ha contribuito, assieme alle variazioni climatiche succedutesi nel tempo, all'architettura dei suoi depositi.

In Figura 4-1 è riportato lo schema degli ambienti deposizionali: l'area è costituita da depositi di piana alluvionale in cui si distinguono ambienti di canale, argine prossimale o distale, e di piana a meandri, lungo il corso del fiume Po; in questo assetto di area vasta il sito di intervento rientra nei depositi di piana inondabile.

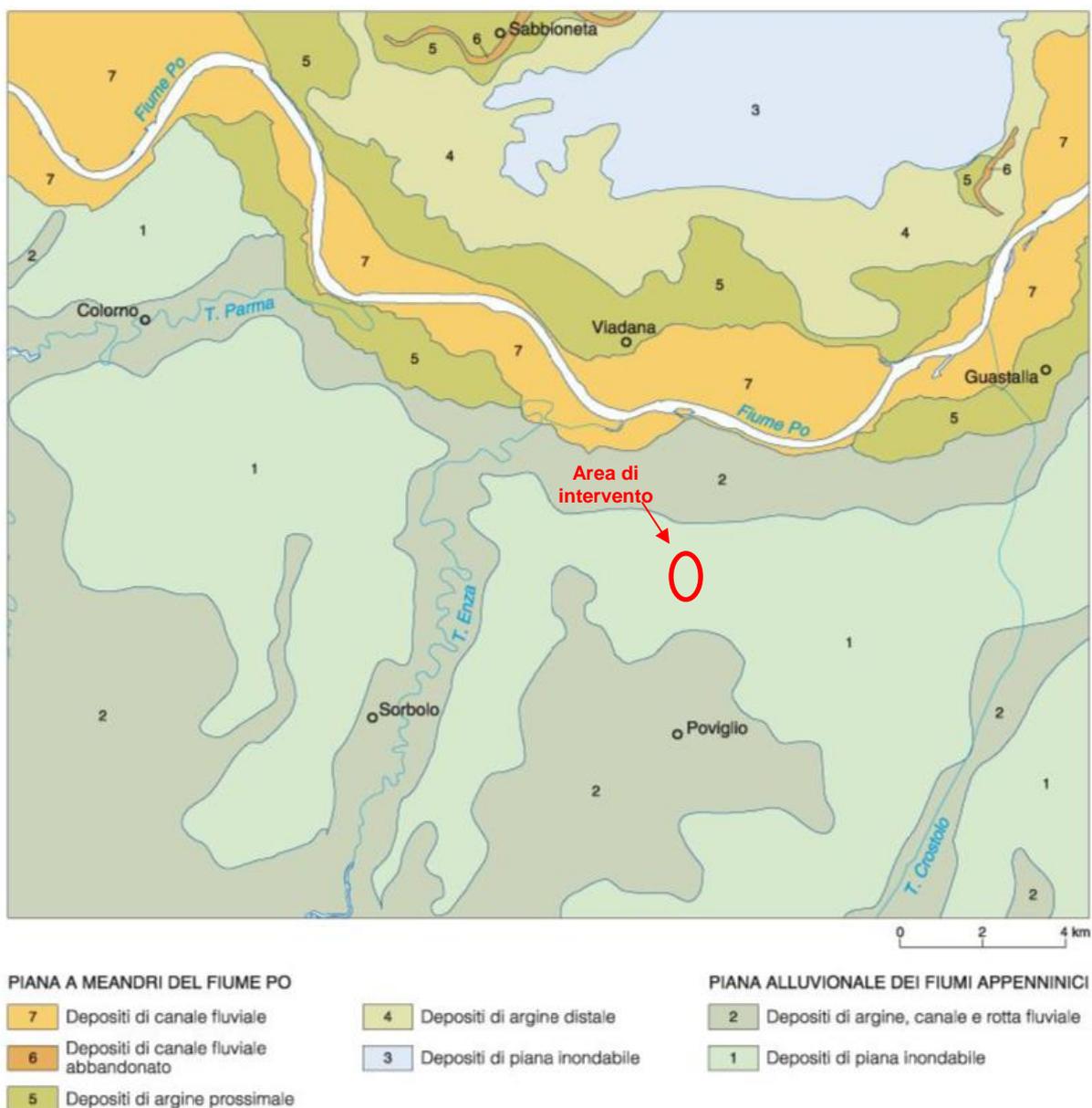
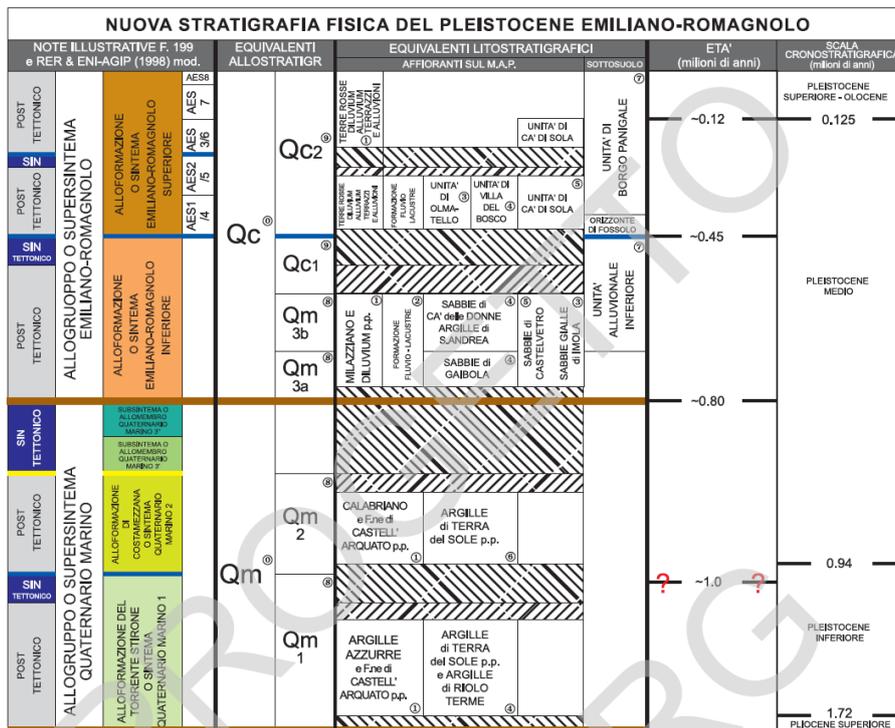


Figura 4-1 – Schema degli ambienti deposizionali (Fonte Foglio 182 Guastalla)

In Figura 4-2 si riporta lo schema cronostratigrafico tratto dalle Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia foglio 182 Guastalla e a seguire la descrizione testuale delle unità più superficiali che caratterizzano i dintorni dell'area di intervento.

La successione sedimentaria appartiene al supersistema Emiliano-Romagnolo (ciclo Quaternario continentale Qc secondo Ricci Lucchi *et alii*, 1982) di età olocenico-pleistocenica che costituisce la parte sommitale del ciclo sedimentario trasgressivo-regressivo della successione post-evaporitica del margine padano-adriatico. Il supersistema Emiliano-Romagnolo è ripartito regionalmente in due successioni sovrapposte di rango inferiore: il sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI) ed il sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) (Di Dio *et alii*, 1997a, b) separati da una superficie di discontinuità stratigrafica, passante verso la parte settentrionale del bacino ad una correlativa superficie di continuità: questa superficie di discontinuità è stata riconosciuta in affioramento e seguita in sottosuolo tramite l'utilizzo di sismica e stratigrafie di pozzi e sondaggi.



Riferimenti Bibliografici

- ① Ricci Lucchi et Al. (1982)
- ② Carta Geologica d'Italia 1:100.000
- ③ Cremaschi (1982)
- ④ Vai (1984) - Marabini et Al. (1987)
- ⑤ Farabegoli (1985)
- ⑥ Gasperi et Al. (1987)
- ⑦ Nuova Carta Geologica d'Italia 1:50.000 (in stampa) F. 218 - F. 254
- ⑧ Amorosi & Farina (1994)
- ⑨ Amorosi et Al. (1998 a)
- ⑩ Amorosi et Al. (1998 b)

Legenda

- Discontinuità Principali
- Discontinuità Minori
- Base di Sin-Tettonico Regionale
- Lacuna stratigrafica per non deposizione
- Lacuna stratigrafica per erosione

Figura 4-2 – Inquadramento cronostratigrafico della successione del Pliocene sup., Pleistocene ed Olocene della pianura emiliano-romagnola e del margine appenninico-padano. Sono confrontate le unità distinte utilizzando i criteri della stratigrafia fisica con le unità litostratigrafiche, definite da vari autori negli ultimi 20 anni di studio di questo settore. (Fonte: Note illustrative foglio 182 Guastalla)

Nell'area sono presenti solo i terreni appartenenti al sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) costituiti da depositi di piana alluvionale, legata ai fiumi appenninici, e depositi della piana a meandri del fiume Po.

Il sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) a livello regionale è stato suddiviso in diversi subsistemi distinti in base alle loro caratteristiche morfo-pedostratigrafiche. Nell'area affiora solo il termine superiore ovvero il subsistema di Ravenna (AES₈).

“Supersistema Emiliano-Romagnolo”¹

Il supersistema Emiliano-Romagnolo, è l'unità stratigrafica che comprende l'insieme dei depositi quaternari di origine continentale affioranti in corrispondenza del margine appenninico padano ed i sedimenti ad essi correlati nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola. La sua età è Pleistocene medio - Olocene (~ 800.000 anni BP - Attuale). Dei due distinti sistemi che la compongono (sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore, AEI e sistema Emiliano-Romagnolo Superiore, AES) sono espressi solo i termini appartenenti al sistema Emiliano-Romagnolo Superiore.

“Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES)”

Si tratta di depositi alluvionali prevalentemente legati al sistema di alimentazione appenninico nel settore centro-meridionale, ovvero depositi dai fiumi Parma ed Enza e subordinatamente dal torrente Crostolo, che si interdigitano verso nord con i depositi di piana a meandri del fiume Po (sistema padano). I depositi si sviluppano in ambienti di canale, di argine e rotta fluviale e di piana inondabile.

Nel sottosuolo il sistema è costituito da alternanze cicliche di spessore pluridecametrico costituite da porzioni prevalentemente fini di piana alluvionale, intercalate da depositi sabbiosi, particolarmente presenti nel settore centro settentrionale attribuibili alla sedimentazione della piana a meandri del Po. Nella parte più meridionale, nella stessa posizione stratigrafica delle sabbie padane, sono a tratti presenti delle ghiaie riferibili alla parte più distale delle conoidi appenniniche.

Il sistema Emiliano-Romagnolo Superiore è stato suddiviso in tre subsistemi,

- *Subsistema di Ravenna, AES₈;*
- *Subsistema di Villa Verucchio AES₇;*
- *Subsistema di Agazzano AES₃.*

Ogni ciclo deposizionale del sistema è composto da una porzione fine (limi argille e localmente sabbie), ed una grossolana costituita da sabbie prevalenti. Questa ciclicità riflette una variazione dell'energia deposizionale fluviale che aumenta con la sedimentazione sabbiosa e diminuisce con quella fine.

La massima disattivazione dei sistemi fluviali avviene bruscamente proprio al tetto dei depositi sabbiosi più continui arealmente, e spesso si manifesta con la presenza di argille ricche in sostanza organica. Queste argille organiche nelle zone costiere sono fisicamente correlabili con le ingressioni marine dentro la piana alluvionale.

L'età di base del sistema è attribuita per posizione stratigrafica e per raffronto con i cicli climatico-eustatici, al Pleistocene medio a partire dai 400-450.000 anni. Il limite superiore corrisponde alla superficie topografica attuale (Olocene).

Subsistema di Ravenna (AES₈)

Il subsistema di Ravenna si sviluppa in questo settore della pianura in condizioni di piana alluvionale e rappresenta lo spessore dei sedimenti depositi nell'ultimo postglaciale. L'unità è costituita da alternanze di sabbie, limi sabbiosi, limi ed argille di canale, argine e rotta fluviale e da argille e limi di piana inondabile, legati allo sviluppo dei reticoli idrografici appenninici e del fiume Po. Il tetto del subsistema è una superficie deposizionale, frequentemente relitta, coincidente con il piano topografico attuale che mostra suoli con diverso grado di alterazione. Gli orizzonti superiori dei suoli variano da non calcarei a calcarei, discriminando l'appartenenza all'unità di Modena (AES_{8a}). La superficie topografica coincide in gran parte con il piano di frequentazione romano (tranne che per AES_{8a}) come testimoniano i reperti archeologici relativi ad insediamenti e tracce della centuriazione romana.

¹ Tratto da: ISPRA – Servizio Geologico d'Italia, Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 182 Guastalla

L'andamento nel sottosuolo del tetto delle sabbie e ghiaie appartenenti a questa unità è riportato in Figura 4-4. Si riconoscono i seguenti depositi:

- ghiaie e sabbie di conoide distale e di riempimento di canale fluviale, legate allo sviluppo della piana alluvionale dei fiumi appenninici. Le ghiaie sono da molto grossolane a fini con matrice sabbiosa in strati da spessi a molto spessi di solito amalgamati;
- sabbie di riempimento di canale fluviale appartenenti a depositi di piana a meandri del fiume Po. La granulometria varia da fine a grossolana, gli strati sono da spessi a molto spessi prevalentemente amalgamati.

Nell'area il subsistema di Ravenna raggiunge lo spessore massimo di circa 23 metri. L'età è riferibile al Pleistocene superiore - Olocene. La base dell'unità è datata a circa 14.000 anni B.P. secondo dati radiometrici e geoarcheologici ottenuti in aree adiacenti.

Unità di Modena (AES8a). Questa unità di rango inferiore comprende i depositi più recenti e superficiali ed affiora estesamente lungo il corso del fiume Po e lungo il corso dei torrenti Parma, Enza e Crostolo. Consiste in depositi di riempimento di canale fluviale (sabbie fini e finissime) e di argine lungo il fiume Po (limi sabbiosi prevalenti) e da depositi di piana inondabile (argille e limi), di argine, canale e rotta fluviale (alternanze di sabbie e limi) lungo il corso dei fiumi appenninici.

Nel sottosuolo l'unità AES8a si presenta sia con depositi di argille e limi di piana inondabile, che con alternanze di limi, argille e sabbie fini di argine ed infine sabbie di canale fluviale (nelle aree più vicine al corso del fiume Po). Talora sui depositi di piana inondabile aggradano limi e sabbie di canale argine. Lo spessore dell'unità AES8a è di alcuni metri; l'età è riferibile Olocene (IV-VI sec. d.C. - attuale).

Nella Figura 4-3 si riporta uno stralcio Carta Geologica d'Italia dove si osserva che i depositi presenti in superficie in prossimità dell'area di intervento sono tutti appartenenti all'unità AES8 e in corrispondenza dei dintorni dell'area di realizzazione dell'impianto fotovoltaico sono presenti argille e limi di piana inondabile. Tra gli elaborati della Carta Geologica d'Italia è presente anche quello raffigurante il "Tetto delle Ghiaie e delle Sabbie" di cui in Figura 4-4 se ne riporta uno stralcio. La sezione geologica G-G' di questa carta che nell'area in esame segue la traccia che approssimativamente collega Poviglio e il Fiume Po è riportata in Figura 4-5. Si nota che ai depositi superficiali appartenenti all'unità AES8 seguono quelli dell'unità AES7.

.

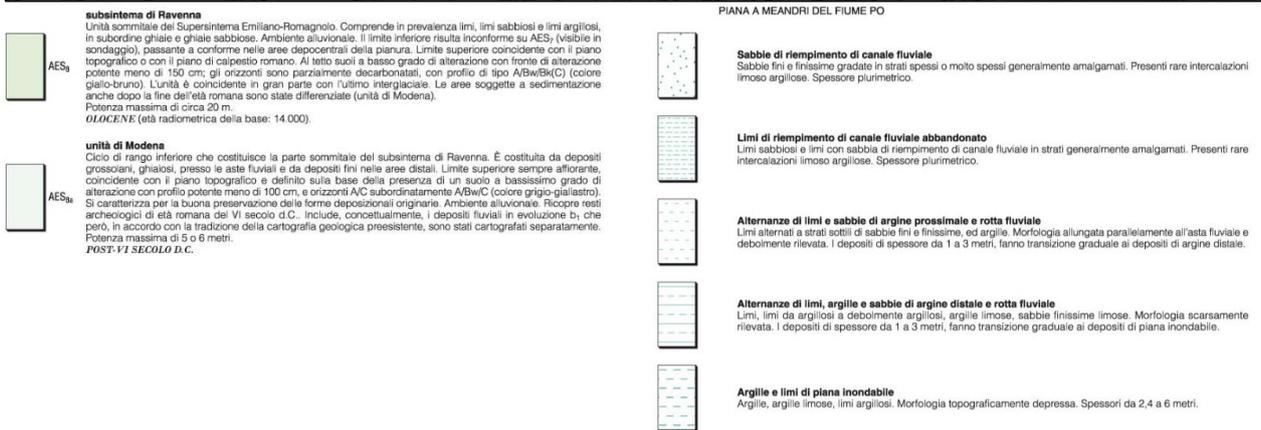
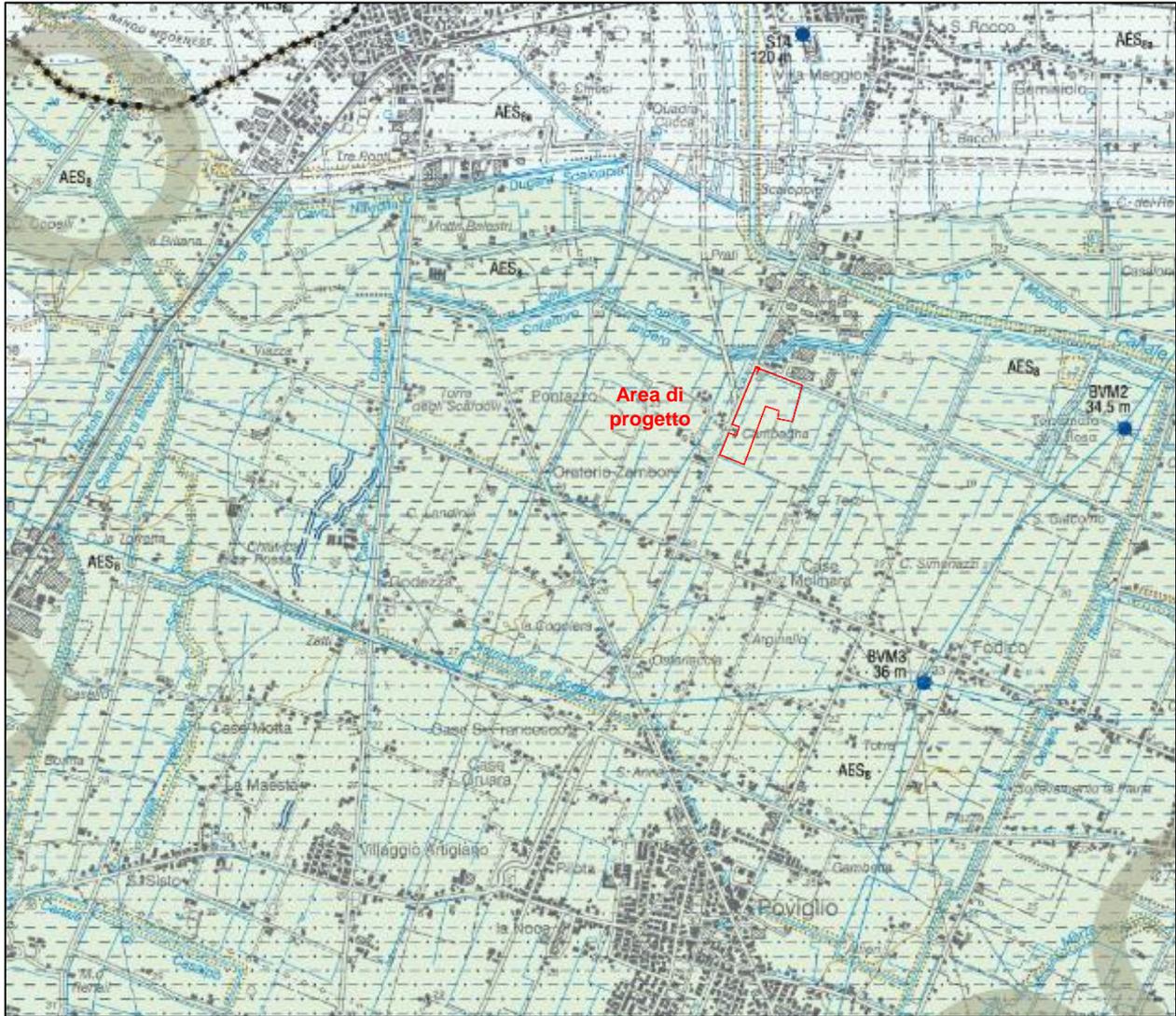


Figura 4-3 - Stralcio del Foglio 182 Guastalla della Carta geologica d'Italia (<http://www.isprambiente.gov.it/>)

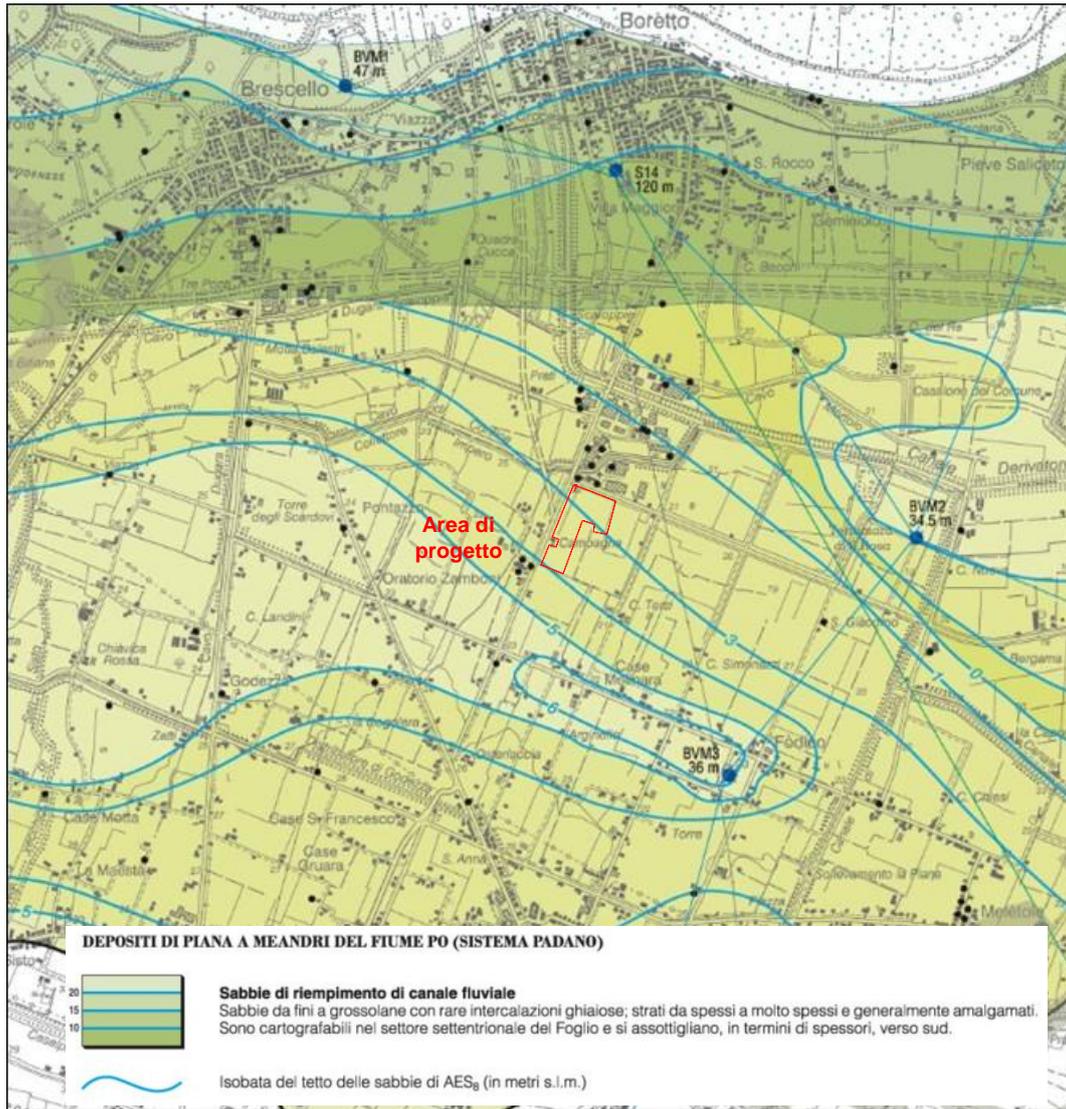


Figura 4-4 - Stralcio del Foglio 182-Guastalla – Carta del tetto delle ghiaie e delle sabbie (<http://www.isprambiente.gov.it>)

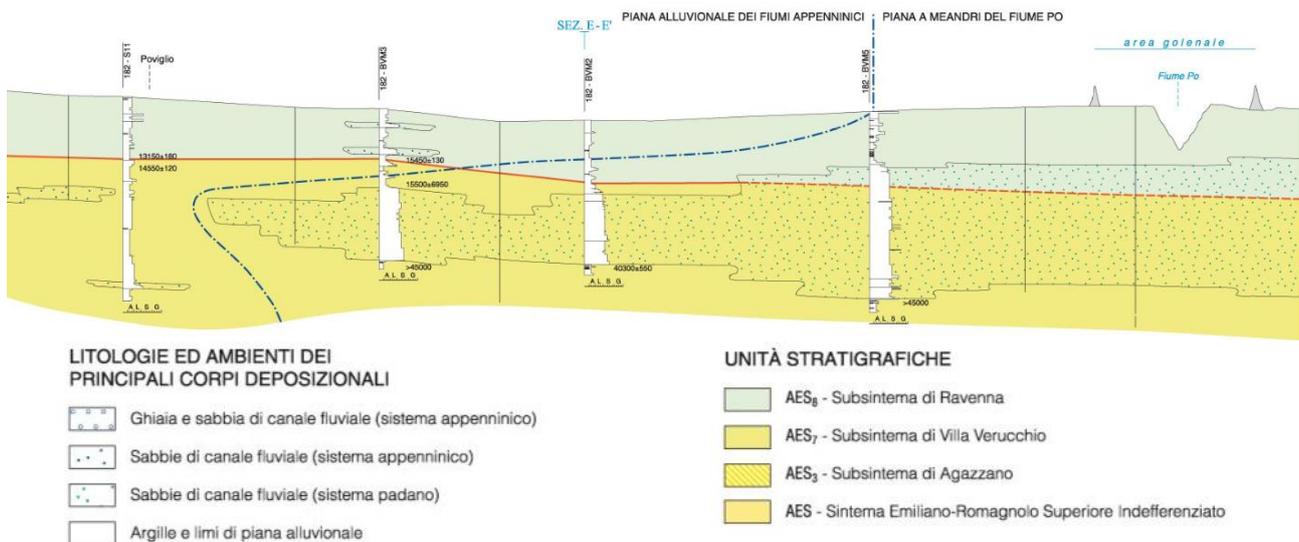


Figura 4-5 - Stralcio sezione geologica della “Carta del tetto delle ghiaie e delle sabbie” del Foglio 182 Guastalla della Carta Geologica d’Italia – (<http://www.isprambiente.gov.it>)

4.2 Assetto geomorfologico

Il progetto si colloca in una zona di pianura a vocazione prevalente agricola posta a nord di Poviglio. L'assetto morfo-altimetrico della zona è visibile in Figura 4-6 che riporta lo stralcio degli elementi n. 182111 e 182112 della Carta Tecnica Regionale, tratto dal portale cartografico della regione Emilia Romagna. Nel complesso si osserva un assetto pianeggiante con quote comprese tra circa 20,8 e 21,0 m slm.

I terreni presenti negli strati più superficiali sono il frutto di eventi geologico-deposizionali di tipo alluvionale e di transizione, succedutisi in epoche recenti. La distribuzione tessiturale di questi sedimenti risulta quindi in stretta connessione con la dinamica tipica degli ambienti sedimentari fluviali di pianura alluvionale. Anche se l'intero territorio risulta fortemente antropizzato, sono comunque ancora riconoscibili alcune forme legate all'azione fluviale come in particolare il tracciato dei paleovalvei da attribuire alla dinamica evolutiva dei canali minori. Il tracciato dei paleovalvei è indicato in Figura 4-7, stralcio della carta geologica pubblicata nel portale di cartografia geologica del SGSS-RER.

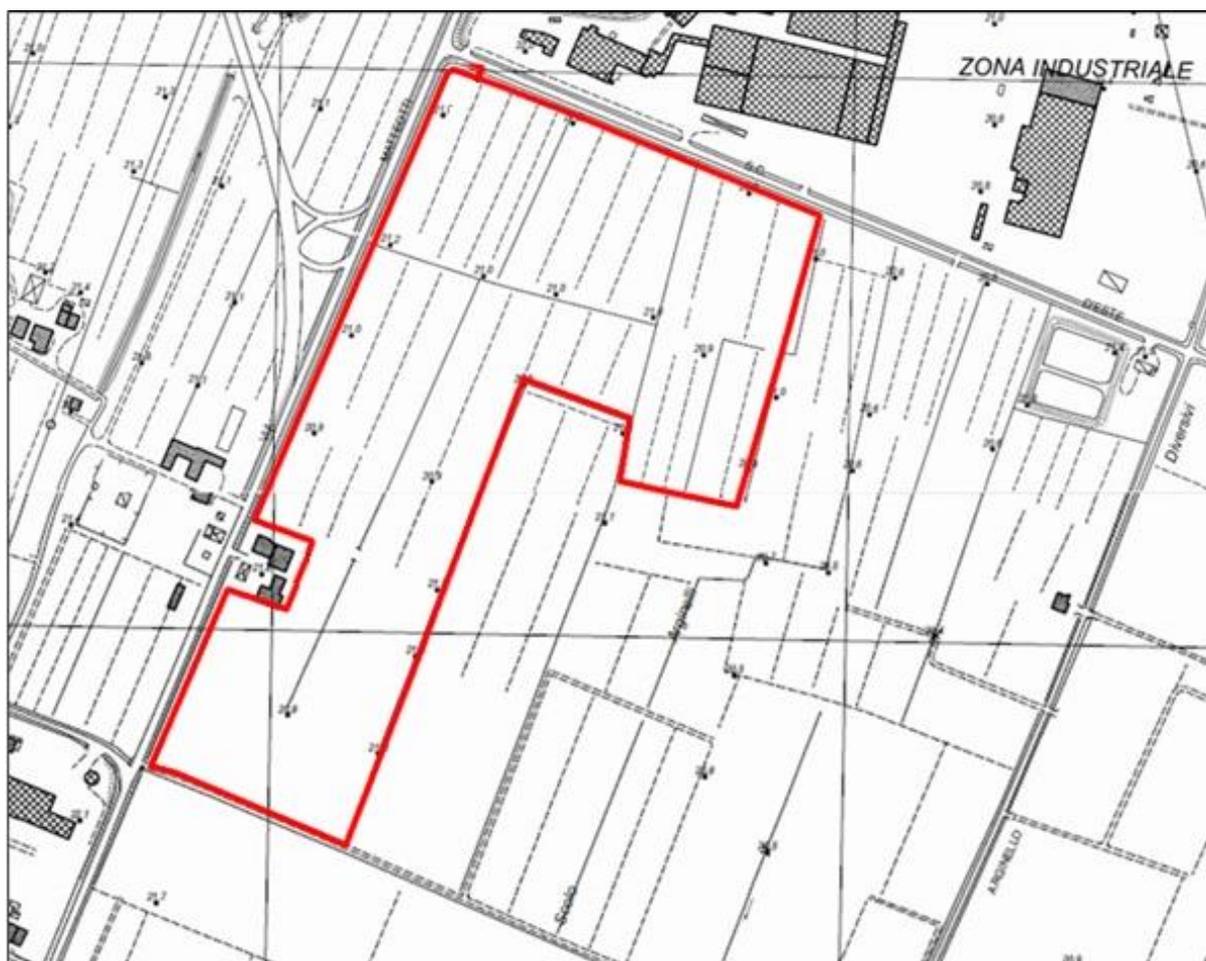


Figura 4-6 - Assetto Altimetrico della superficie topografica (Elementi CTR 182111 e 182112)

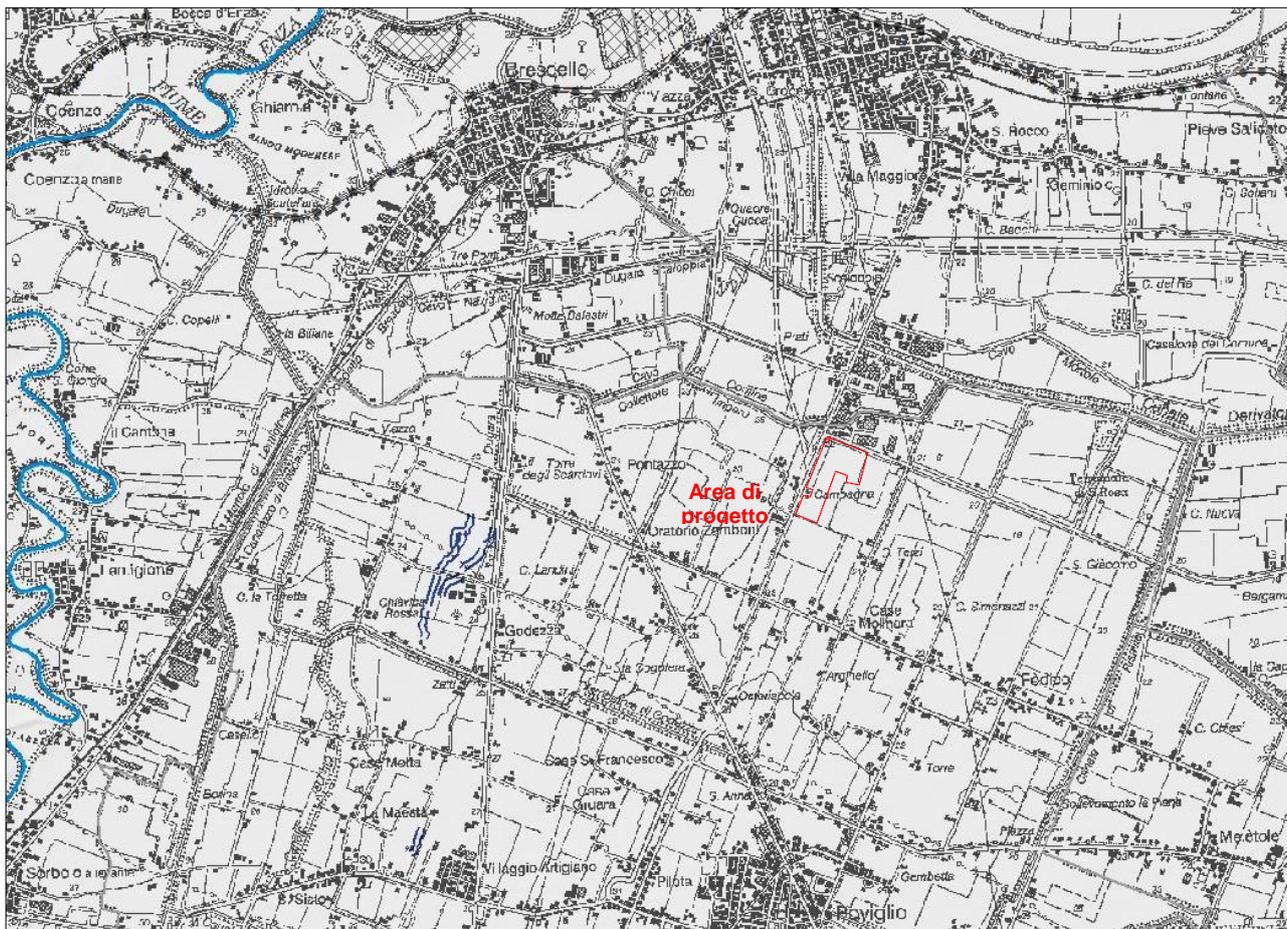


Figura 4-7 Carta geologica – geomorfologica (Fonte: sito della cartografia geologica del servizio geologico sismico e dei suoli della regione Emilia Romagna, <http://geo.regione.emilia-romagna.it>)

Un elemento caratterizzante l'attuale assetto geomorfologico è rappresentato dalla subsidenza: il graduale abbassamento del suolo trae origine da cause naturali insite nel territorio, quali, principalmente, la tettonica, che coinvolge i sedimenti profondi della pianura, ed il costipamento dei terreni ad opera del carico litostatico; a queste si sommano altre cause legate all'attività dell'uomo, soprattutto in riferimento all'estrazione di fluidi dal sottosuolo. Tra questi, lo sfruttamento delle acque sotterranee è senz'altro uno degli agenti più significativi. Gli studi effettuati sull'evoluzione del fenomeno mostrano chiaramente la correlazione fra interventi dell'uomo e cambiamenti nelle tendenze della subsidenza.

Senza entrare nel dettaglio sulle cause responsabili della subsidenza, date le finalità del presente studio, è comunque possibile eseguire una valutazione di massima sugli abbassamenti del suolo avvenuti negli ultimi anni nell'area di indagine. L'azione di monitoraggio del fenomeno della subsidenza viene attualmente svolto da Arpa: l'attività principale riguarda il rilievo periodico dei movimenti verticali del suolo sull'intero territorio di pianura della regione. Il prodotto finale è la carta delle velocità di movimento verticale del suolo, aggiornata al periodo intercorso tra l'ultimo rilievo e il rilievo precedente. L'aggiornamento viene realizzato con frequenza circa quinquennale, su incarico specifico della Regione Emilia-Romagna, Servizio Tutela e risanamento risorsa acqua. La cartografia prodotta viene utilizzata per i rispettivi compiti d'istituto, in particolare, da Servizi tecnici di bacino della Regione, Province, Autorità di bacino e Comuni.

Nelle figure sottostanti si riporta lo stralcio, relativo all'area di studio, della velocità di movimento verticale del suolo, rappresentata da isocinetiche, misurata rispettivamente nei periodi 1992÷2000, 2002÷2006, 2006÷2011 e 2011÷2016.

Le isocinetiche nel periodo 1992-2000 mostrano che tutta l'area presenta una velocità di abbassamento verticale del suolo compresa tra 0 e 2,5 mm/anno (Figura 4-8). Valori che si riducono ulteriormente attestandosi intorno allo 0 nel periodo successivo, (Figura 4-9, Figura 4-10 e Figura 4-11).

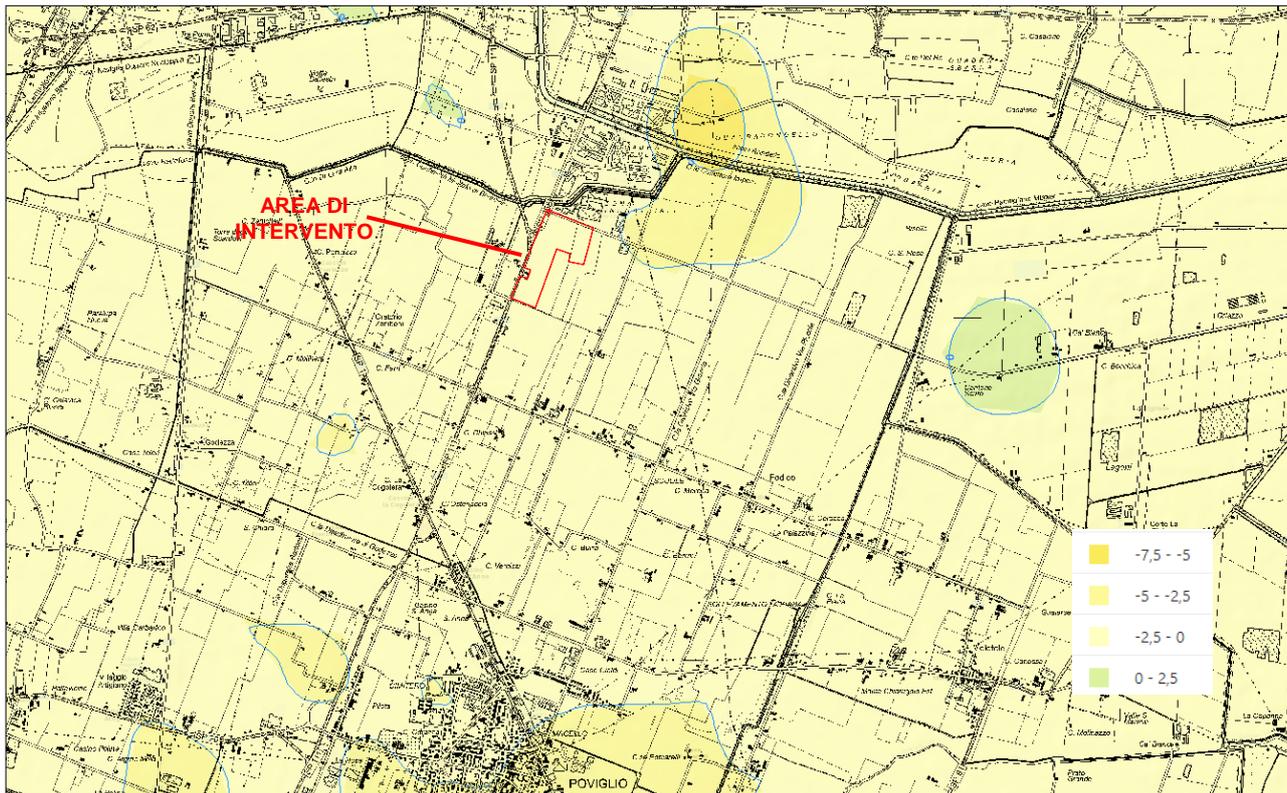


Figura 4-8 – Subsidenza nel periodo 1992-2002 (fonte: <https://arpae.it/cartografia/>)

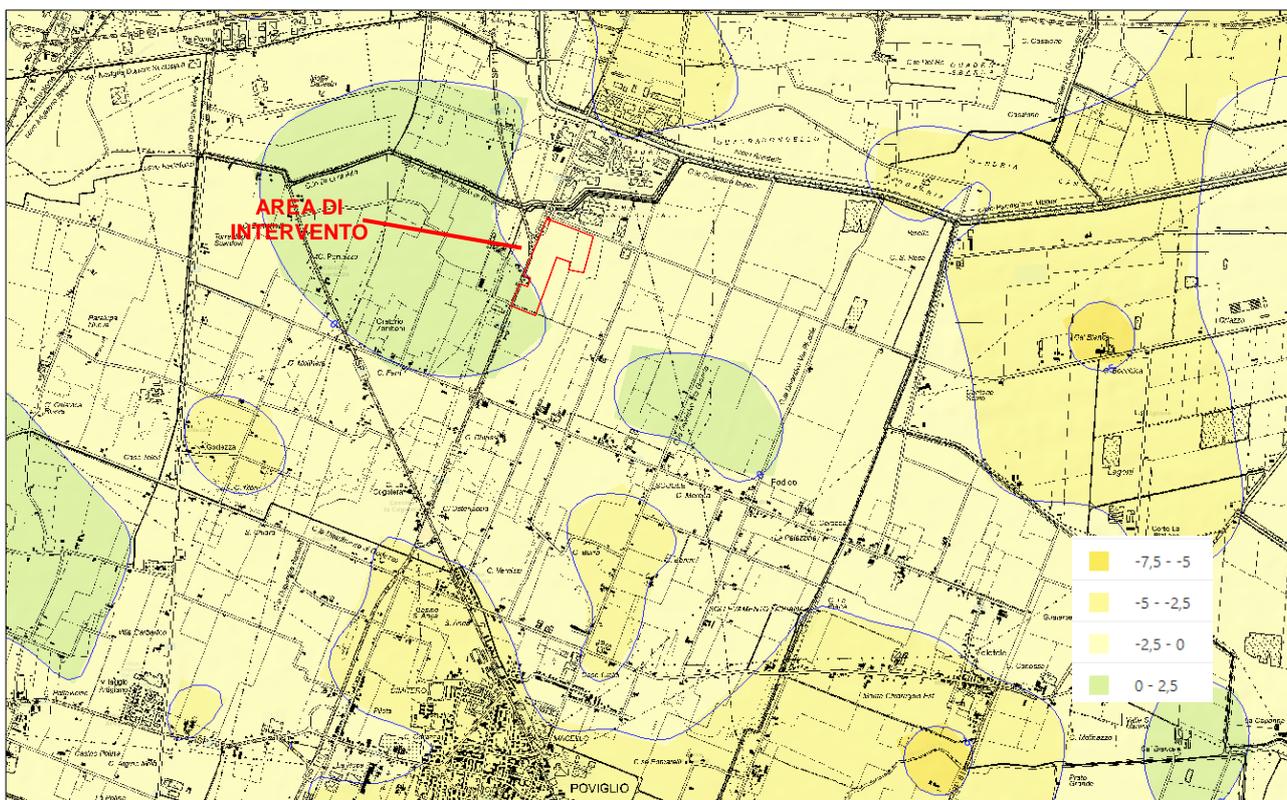


Figura 4-9 – Subsidenza nel periodo 2002-2006 (fonte: <https://arpae.it/cartografia/>)

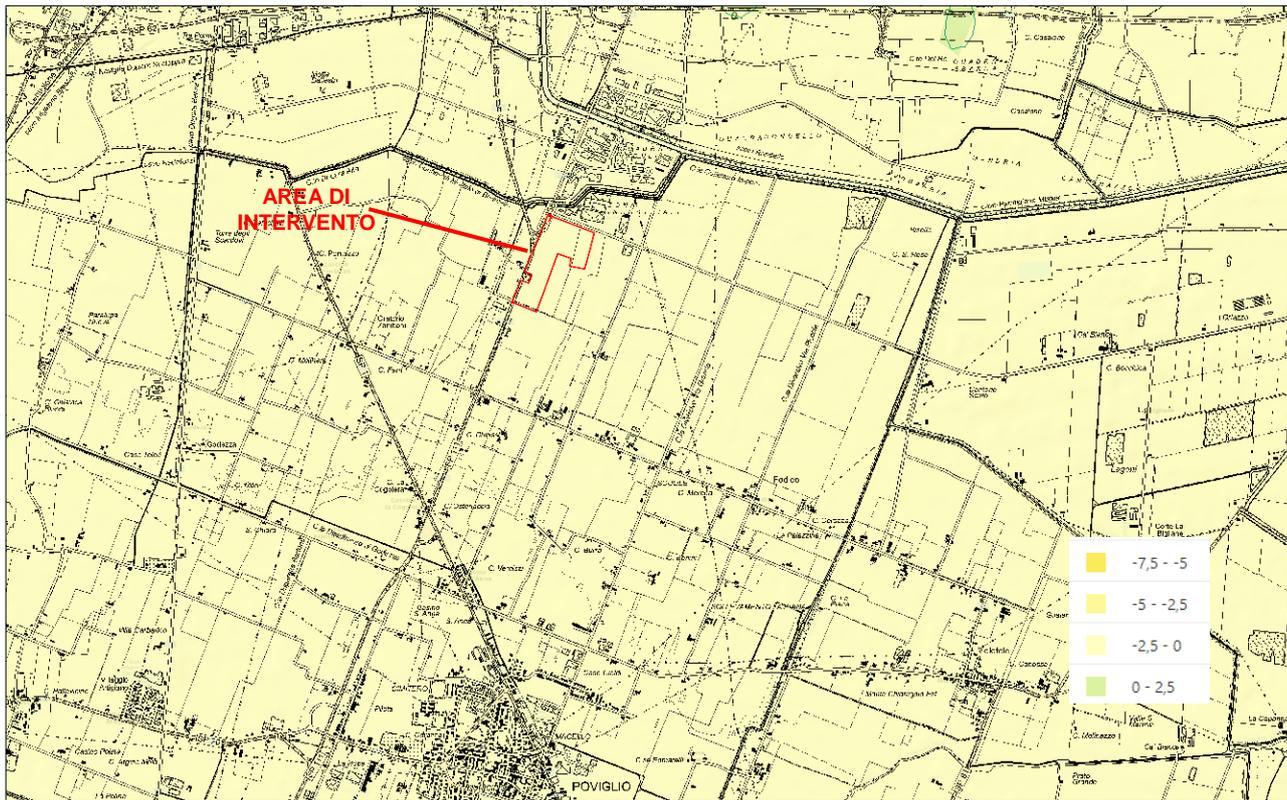


Figura 4-10 – Subsidenza nel periodo 2006-2011 (fonte: <https://arpae.it/cartografia/>)

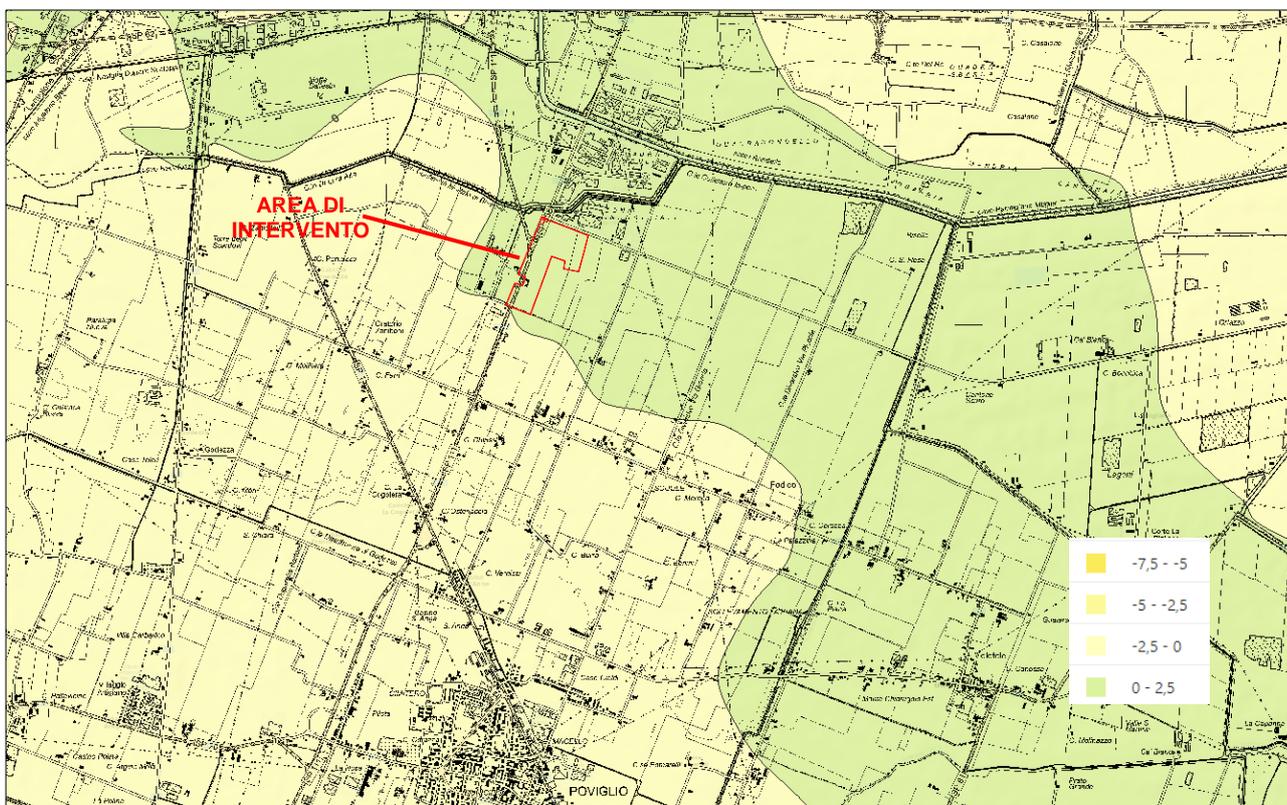


Figura 4-11 – Subsidenza nel periodo 2011-2016 (fonte: <https://arpae.it/cartografia/>)

4.3 Acque superficiali

L'area di intervento da un punto di vista idrografico appartiene al grande sistema idrografico del Po, ed è limitata tra il fiume Po a Nord, il fiume Enza ad Ovest e il torrente Crostolo a Est. Il territorio di pianura, oltre che dai corsi d'acqua naturali, che scorrono entro arginature artificiali, è interessato da un complesso reticolo artificiale di canali di bonifica o di irrigazione o promiscui, di grande importanza sia per la tradizionale funzione di drenaggio della pianura che per l'adduzione di acqua per l'irrigazione.

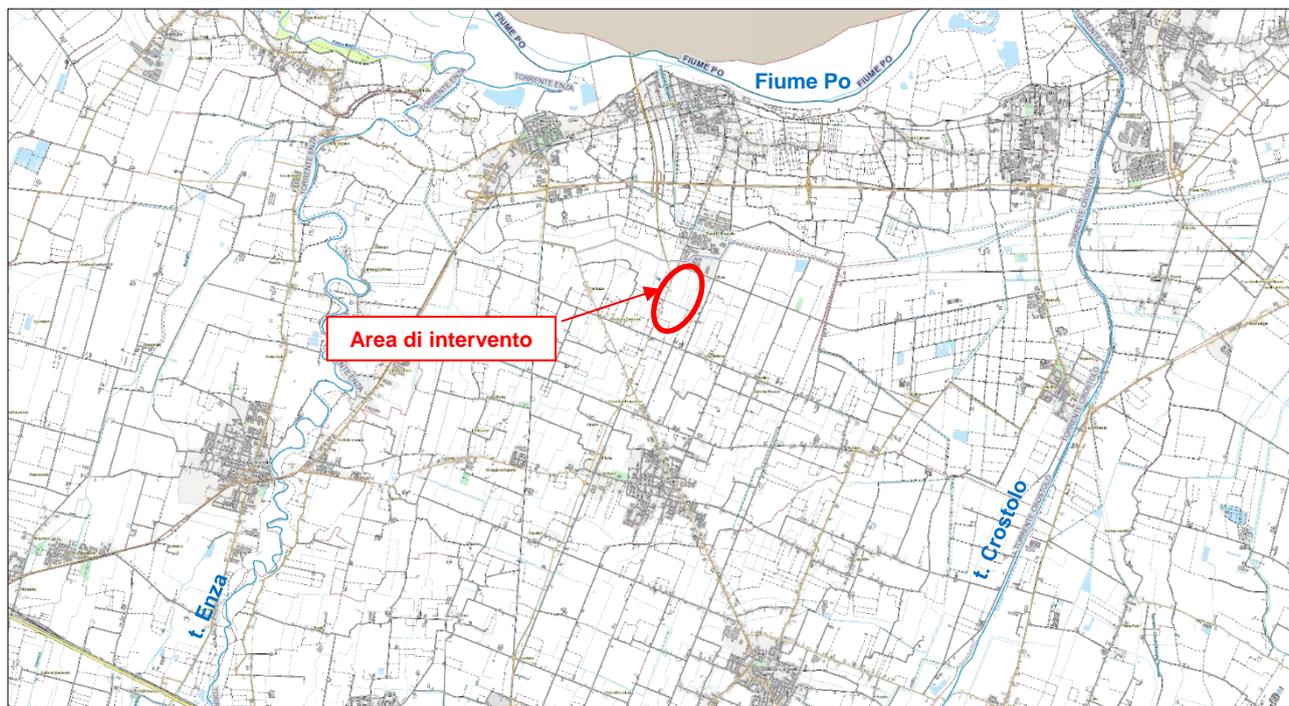


Figura 4-12 – Corsi d'acqua principali

A nord dell'area di intervento a poco più di 3 km scorre in direzione Ovest-Est il fiume Po. Il fiume è lungo, dalla sorgente alla foce, 652 km, con un bacino idrografico alla sezione di chiusura a Pontelagoscuro (FE) di 70.091 km² di cui circa il 42% è occupato dalla pianura alluvionale.

Il reticolo idrografico principale è costituito da 28 corsi d'acqua di lunghezza superiore ai 20 km che confluiscono direttamente in Po e da altri 16 corsi d'acqua importanti che alimentano a loro volta gli affluenti diretti. Il regime delle acque del Po è considerato composito con due massimi (primaverile e autunnale) e due minimi (invernale ed estivo) tra loro pressoché uguali.

A monte di Torino iniziano le arginature maestre (864 km) che si sono sviluppate in modo discontinuo fino a valle della Becca (PV). Le arginature diventano continue in sponda sinistra a partire dalla confluenza con l'Olona in Provincia di Pavia e in sponda destra una ventina di chilometri più a valle.

A fianco del sistema degli argini maestri è presente un altro sistema difensivo costituito da argini golenali, costruiti con lo scopo di difendere dalle piene minori le vaste aree di terreno agricolo situate all'interno degli argini (golene chiuse). Il corso d'acqua fino alla confluenza con il Ticino conserva caratteri di tipo torrentizio, con una pendenza di fondo dell'ordine di 0,35%. Le piene presentano picchi molto accentuati con decorso rapido ed escursioni dei livelli dell'ordine dei 7-8 m. La confluenza del Ticino, comporta una trasformazione del regime del corso d'acqua in senso nettamente fluviale, grazie all'apporto idrico del Lago Maggiore, i cui afflussi hanno un notevole contributo glaciale, e all'assenza di trasporto solido; la pendenza media si riduce bruscamente allo 0,18% dopo la confluenza, per decrescere regolarmente e gradualmente verso valle fino al valore di 0,14% all'altezza di Revere-Ostiglia, 273 km più a valle. Da qui sino all'incile del Delta l'alveo diventa canalizzato tra le arginature, in alcuni tratti poste a distanza inferiori a 500 m, e non riceve più apporti dopo la confluenza con il Panaro.

Il fiume Po presenta una portata media annua alla sezione di Boretto di circa 1200 m³/s, ma raggiunge valori di magra di 300 m³/s e di piena di 7.800 m³/s, mostrando una marcata variabilità stagionale di portata. Il fiume, attraverso l'impianto di sollevamento di Boretto, restituisce da aprile a settembre al territorio reggiano

fino a 60 m³/s (portata di concessione autorizzata) che vengono distribuiti per le pratiche irrigue dai Consorzi di Bonifica.

Ad ovest dell'area di intervento, a circa 6 km, scorre il torrente Enza, che nasce in prossimità del crinale tosco-emiliano, inizialmente il corso d'acqua si sviluppa in direzione nord-est, poi prevalentemente in direzione nord fino allo sbocco in pianura, dove forma una vasta conoide avente apice a S. Polo; successivamente prosegue arginato fino alla confluenza nel fiume Po, a Brescello. Dalla sorgente alla confluenza in Po l'alveo ha una lunghezza di circa 100 km. Il suo bacino idrografico, che si estende su una superficie di 901 km², è delimitato a sud dalla sezione dell'alto crinale appenninico che va dal Monte Paitino al Monte Alto, dalla quale si staccano i due contrafforti che lo separano rispettivamente dalla Val Parma e dai bacini del fiume Secchia e del torrente Crostolo. Nel tratto terminale, all'altezza di Sorbolo, l'Enza presenta andamento meandriforme, con meandri di pianura alluvionale divaganti.

Ad est dell'area di interesse scorre il torrente Crostolo, il cui bacino è situato interamente nella provincia di Reggio Emilia e occupa una superficie di 457 km². Il Crostolo nasce in collina nel Comune di Casina ad una quota di circa 550 m s.l.m. e sfocia in Po presso la località Baccanello in Comune di Guastalla, dopo aver percorso circa 58 km. Anticamente il corso d'acqua, dopo Reggio Emilia, sfociava nel Secchia; cambiò il suo corso all'inizio del decimo secolo; fu arginato nella seconda metà del '500 all'epoca delle grandi opere idrauliche realizzate dai Bentivoglio. Il deflusso del torrente ha uno scorrimento prevalente in direzione NNE-SSW, concorde con l'andamento dell'idrografia appenninica.



Figura 4-13 – Principali corsi d'acqua in prossimità dell'area di intervento

In Figura 4-14 è riportato uno schema dei bacini idrografici dell'area di interesse: l'area ove verrà realizzato il campo fotovoltaico insiste in un comparto idrografico riferibile al bacino del torrente Crostolo (Figura 4-14). Le portate medie a chiusura di bacino dei torrenti Enza e Crostolo sono di due ordini di grandezza inferiori rispetto a quelle del Po, nel quale sfociano.

In questo contesto si deve sottolineare che l'attuale configurazione del reticolo idrografico della zona è il risultato degli interventi antropici che nel corso dei secoli hanno rettificato e modificato l'assetto della originale maglia drenante.



Figura 4-14 – Bacini idrografici (Fonte: PTCP della Provincia di Reggio Emilia)

La rete dei canali minori è gestita dal Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale, nato nell'ottobre del 2009 dalla fusione dei Consorzi di Bonifica Parmigiana Moglia Secchia e Bentivoglio-Enza, ed assicura la corretta gestione e distribuzione delle acque superficiali per la tutela e lo sviluppo del territorio.

Il principale canale è il Canale Derivatore, che attinge acqua dal F. Po sia per libero deflusso, sia tramite un impianto di sollevamento funzionante nei periodi di magra, con una portata di concessione di 60 mc/s. Il suo tracciato attraversa in senso circa meridiano l'intero territorio comunale, per poi piegare a 90° verso est in località Paduli Rondello e dirigersi verso il territorio di Gualtieri, dove sottopassa il T. Crostolo mediante la Botte Bentivoglio presso l'impianto del Torrione.

Per buona parte del suo tracciato viene affiancato dal Collettore Impero. Il Canale Derivatore fa parte integrante del più lungo e importante Canale Maestro delle province di Reggio e Modena, il canale Fiuma-Parmigiana Moglia, di cui rappresenta il tratto iniziale. In Figura 4-15 è riportata la cartografia della rete idrografica minore: il tracciato dell'elettrodotto interseca il Canale Derivatore e il Cavo Confine.



Figura 4-15 – Rete dei Canali (Fonte: geoportale Emilia-Romagna)

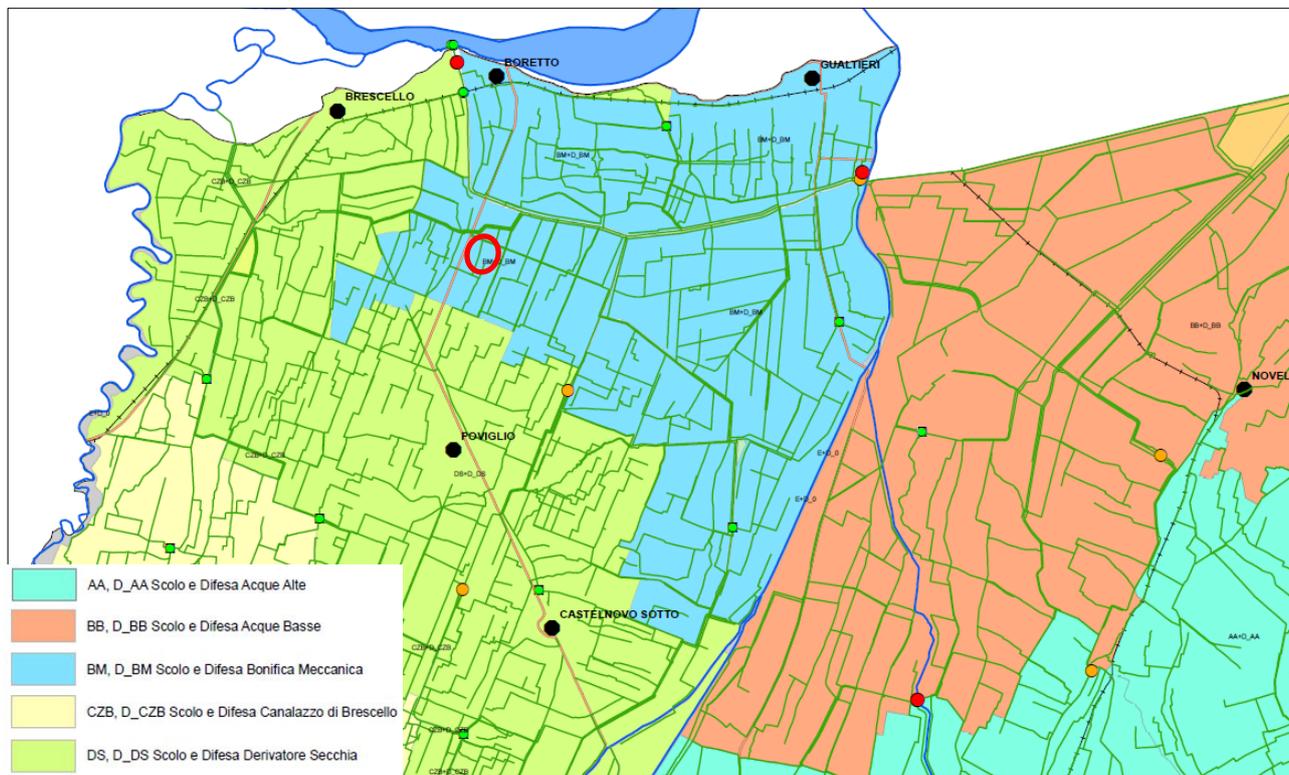


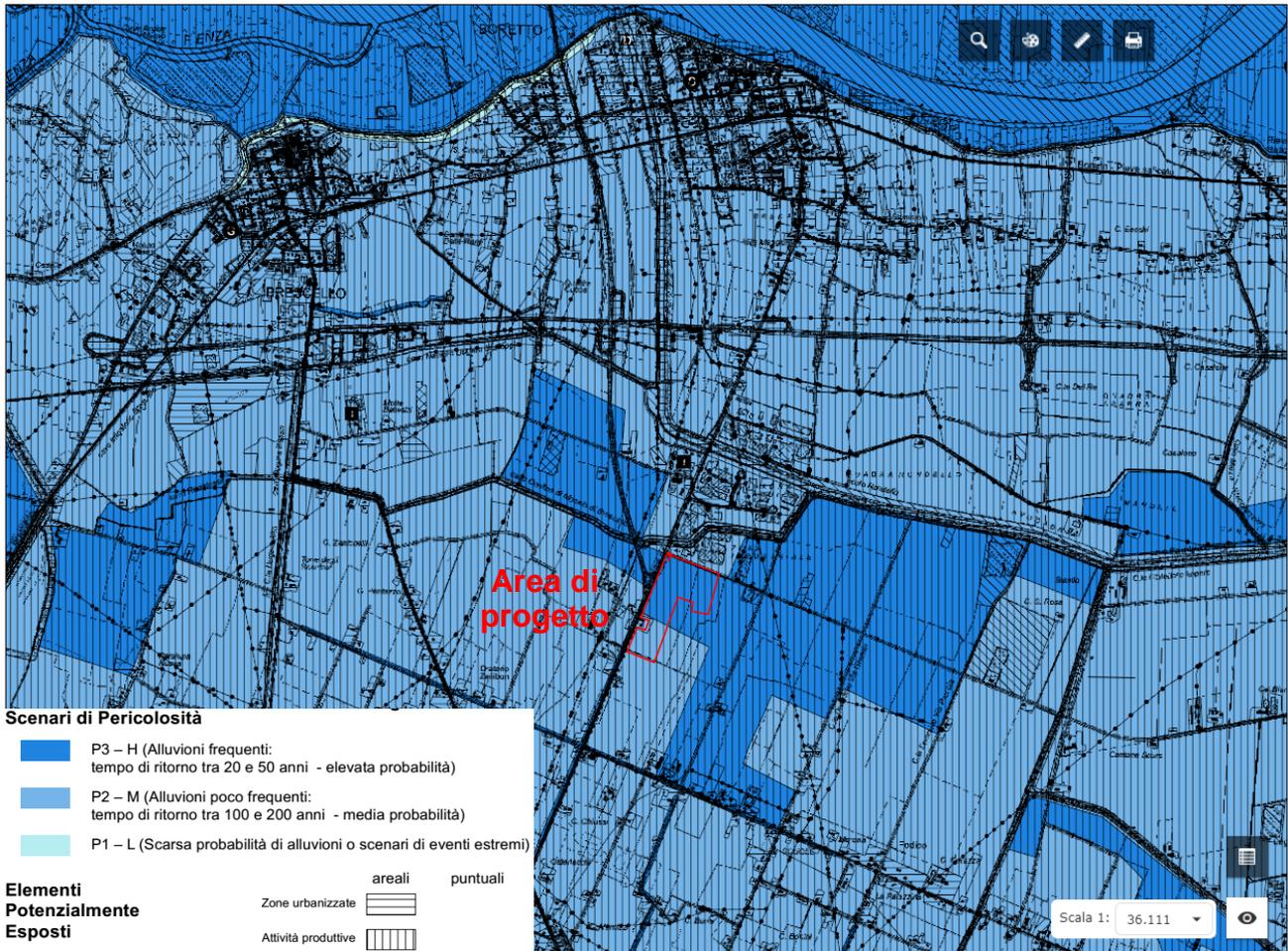
Figura 4-16 – Bacini idraulici (Fonte: Consorzio di bonifica dell'Emilia Centrale)

In adempimento alla Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione del rischio di alluvioni, recepita con il D. Lgs. 23 febbraio 2010 n. 49, la Regione Emilia-Romagna nel dicembre 2013, ha pubblicato

una cartografia riguardante le aree che potrebbero essere interessate da inondazioni di corsi d'acqua naturali e artificiali; nelle mappe della pericolosità cartografate in base agli ambiti (reticolo principale, reticolo secondario collinare-montano, reticolo secondario di pianura, area costiera marina) e ai bacini/distretti idrografici di riferimenti i rispettivi raggruppamenti vengono indicati gli scenari:

- ✓ alluvioni frequenti (H) = TR 30 – 50 anni;
- ✓ alluvioni poco frequenti (M) = TR 100 – 200 anni;
- ✓ alluvioni rare (L) = TR fino a 500 anni.

Il progetto rientra nelle aree di alluvioni rare per quanto concerne i fiumi principali Po ed Enza, mentre nelle aree delle alluvioni frequenti e poco frequenti per quanto riguarda il Collettore Impero (Figura 4-17).



Direttiva Alluvioni 2019

	CAMPO	VALORE
17	Denominazione corso acqua	COLLETTORE IMPERO
<ul style="list-style-type: none"> ▼ PUOM_Alluvioni_frequenti_H_P3_ITN008FHMRSPRER_2019 78 ▼ PUOM_Alluvioni_poco_frequenti_M_P2_ITN008FHMRSPRER_2019 135 ▼ PMAX_Alluvioni_frequenti_H_P3_ITN008FHMRSPRER_2019 78 ▼ PMAX_Alluvioni_poco_frequenti_M_P2_ITN008FHMRSPRER_2019 135 ▼ PMAX_Alluvioni_rare_L_P1_ITN008FHMLRPRER_2019 14 17 	Codice corso acqua	IT-8-0119070100001ER
	Codice	
	Ambito territoriale	RSP
	Denominazione del Consorzio	
	Codice scenario di alluvione	H
	Codice origine alluvione	A11
	Numero abitanti	84
	Numero impianti IED	
	Area (mq)	3780978.02565747

Figura 4-17 - Stralcio della Mappa di pericolosità e degli elementi potenzialmente esposti (art. 6 Direttiva 2007/60/CE e art. 6 del D. Lgs. 49/2010 (Fonte: <https://servizimoka.regione.emilia-romagna.it/mokaApp/apps/DA/index.html>)

Nell'ambito del PTCP della provincia di Reggio Emilia è stata elaborata una Carta delle aree storicamente allagate dal 1936 al 2006 rilevate nel corso degli ultimi eventi alluvionali o di crisi idraulica locale, il cui stralcio riferito all'area di interesse è riportato in Figura 4-18.

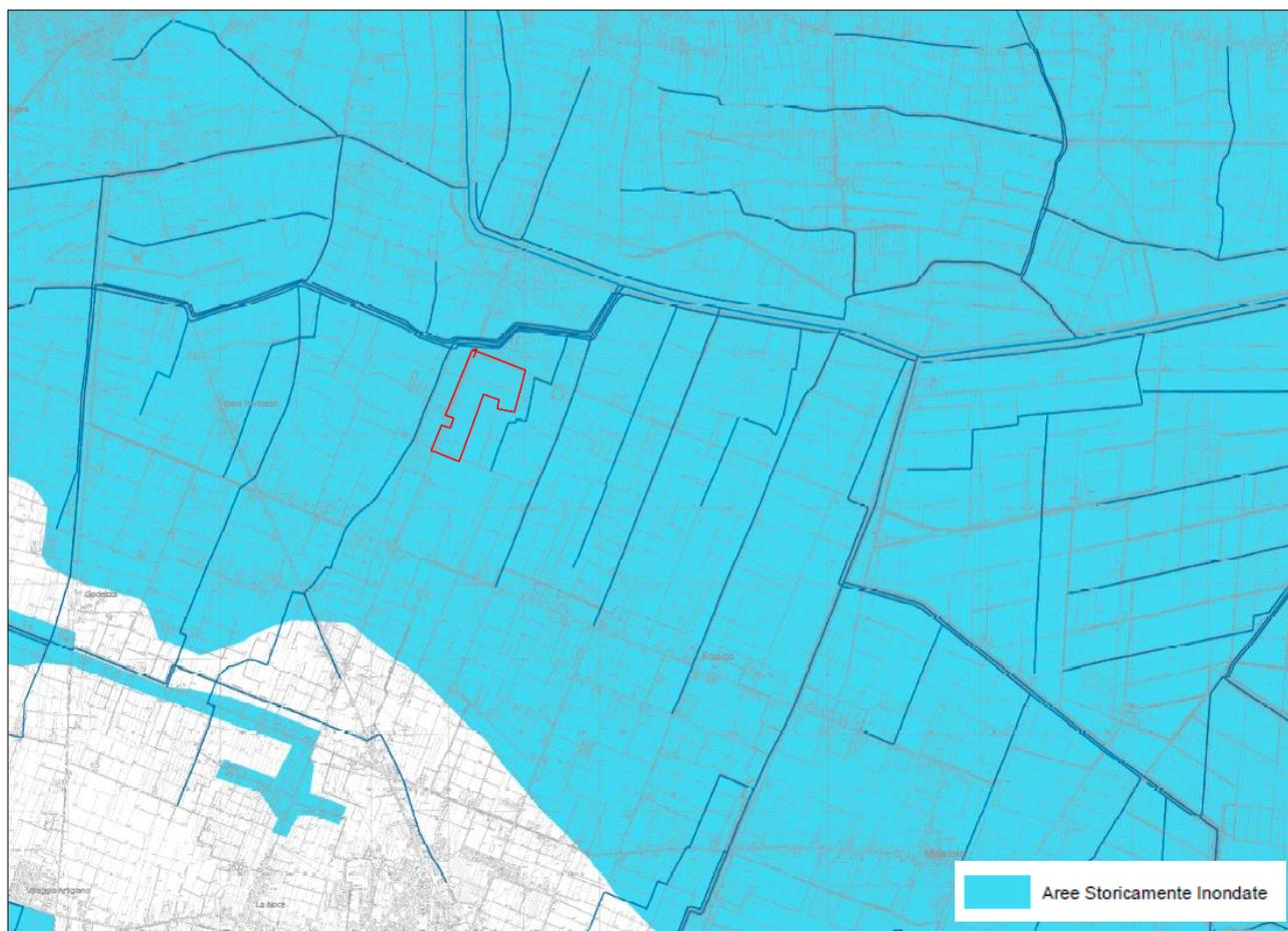


Figura 4-18 - Carta delle aree storicamente inondate dal 1936 al 2006 Allegato 6 del PTCP della Provincia di Reggio Emilia

4.4 Acque sotterranee

Le caratteristiche degli acquiferi del territorio in esame vanno inquadrare nel modello evolutivo tridimensionale, sia idrogeologico che stratigrafico, dell'intera Pianura Padana emiliano-romagnola. Secondo i più recenti studi (cfr. Regione Emilia-Romagna, Eni-Agip, 1998) si distinguono, sia in superficie che nel sottosuolo, 3 Unità Idrostratigrafiche di rango superiore, denominate Gruppi Acquiferi. Esse affiorano sul margine meridionale del Bacino Idrogeologico della Pianura per poi immergersi verso nord al di sotto dei sedimenti depositati dal fiume Po e dai suoi affluenti negli ultimi 20.000 anni, contenenti acquiferi di scarsa estensione e potenzialità (Acquifero Superficiale). Ciascun Gruppo Acquifero risulta idraulicamente separato, almeno per gran parte della sua estensione, da quelli sovrastanti e sottostanti, grazie a livelli argillosi di spessore plurimetrico sviluppati a scala regionale.

L'Unità Idrostratigrafico-Sequenziale affiorante nell'area in esame e direttamente coinvolta dalle opere di fondazione dell'intervento in progetto è denominata Gruppo Acquifero A, che ricalca il Sintema Emiliano Romagnolo superiore (450.000÷350.000 anni BP). Il Gruppo acquifero A è essenzialmente caratterizzato da:

- ghiaie e sabbie prevalenti nella pianura pedemontana;
- depositi prevalentemente fini argillosi e/o limosi attraversati in senso meridiano da corpi nastriformi di ghiaie e sabbie, nella pianura a crescita verticale;
- presenza di estese bancate sabbiose a sviluppo tabulare, a partire dall'allineamento dei centri frazionali di Paradigna e Bogolese fino all'asse fluviale del Po.

Il gruppo Acquifero A è ulteriormente suddivisibile in 5 Complessi Acquiferi, riferibili ad altrettanti Sequenze Deposizionali Elementari, contrassegnati dal superiore all'inferiore, come di seguito elencato:

- Complesso Acquifero A0;
- Complesso Acquifero A1;
- Complesso Acquifero A2;
- Complessi Acquiferi A3 e A4.

PRINCIPALI UNITA' STRATIGRAFICHE				ETA' (milioni di anni)	SCALA CRONOSTRATIGRAFICA (milioni di anni)	UNITA' IDROSTRATIGRAFICHE		
AFFIORANTI		SEPOLTE				GRUPPO ACQUIFERO	COMPLESSO ACQUIFERO	
QUATERNARIO CONTINENTALE	TERRE ROSSE, DILUVIUMI, ALLUVIUMI, TERRAZZI E ALLUVIONI	FORMAZIONE FLUVIO-LACUSTRE	UNITA' DI VILLA DEL BOSCO	UNITA' DI CA' DI SOLA	ALLUVIONI / QUATERNARIO MARINO E SABBIE DI ASTI	PLEISTOCENE SUPERIORE - OLOCENE	A	A1
								A2
	A3							
	A4							
QUATERNARIO MARINO	MILAZZIANO SABBIE di CASTELVETRO p.p. SABBIE GIALLE di IMOLA p.p.	MILAZZIANO e CALABRIANO p.p. SABBIE di CASTELVETRO p.p. SABBIE GIALLE di IMOLA p.p.	CALABRIANO p.p. SABBIE di MONTERICCO FORMAZIONE di TERRA del SOLE p.p.	CALABRIANO p.p. FORMAZIONE di CASTELL'ARQUATO p.p.	ALLUVIONI / QUATERNARIO MARINO E SABBIE DI ASTI	PLEISTOCENE MEDIO	B	B1
								B2
	B3							
	B4							
P2	FORMAZIONE di CASTELL'ARQUATO p.p.	FORMAZIONE di CASTELL'ARQUATO p.p.	FORMAZIONE di CASTELL'ARQUATO p.p.	FORMAZIONE di CASTELL'ARQUATO p.p.	ALLUVIONI / QUATERNARIO MARINO E SABBIE DI ASTI	PLEISTOCENE INFERIORE	C	C1
								C2
								C3
								C4
								C5
								ACQUITARDO BASALE

Figura 4-19 - Inquadramento geologico-stratigrafico e idrostratigrafico della Pianura Padana (Fonte: R.E.R., ENI-AGIP 1998)

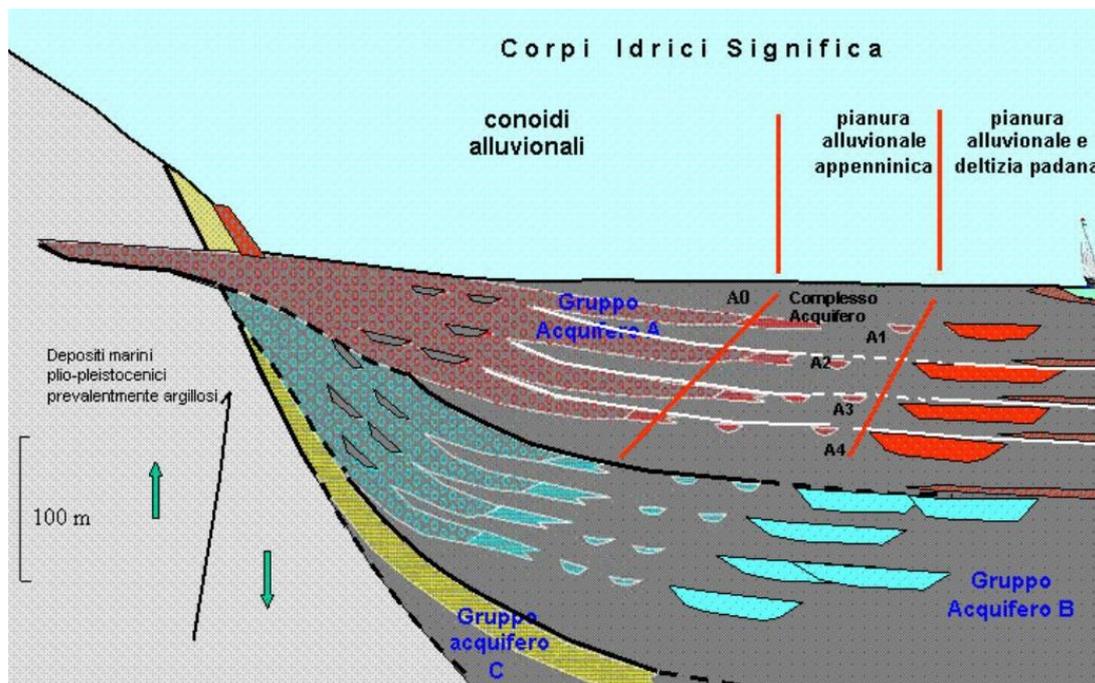


Figura 4-20 - Sezione idrostratigrafica rappresentativa del Bacino Pleistocenico della Pianura EmilianoRomagnola. Figura tratta dagli elaborati conoscitivi a supporto del Piano di Tutela delle Acque della Regione Emilia-Romagna.

I complessi acquiferi superficiali sono il Complesso Acquifero A0 e il Complesso Acquifero A1. In particolare si distingue una unità pellicolare denominata A0, posta superiormente ad A1; questa unità corrisponde a depositi di età pleistocenica terminale ed olocenica, sedimentatisi dopo l'ultima glaciazione.

L'unità A0 comprende quindi i depositi presenti nel primo sottosuolo della pianura, nonché gran parte di quelli affioranti. Le porzioni grossolane di A0 sono costituite da corpi non molto estesi, volumetricamente poco rilevanti, e, quando non sono amalgamate a depositi permeabili dell'unità A1, costituiscono degli acquiferi sfruttati esclusivamente a fini domestici. Ciò si verifica in un'ampia zona della pianura emiliana, interposta tra le conoidi appenniniche e i complessi acquiferi di pertinenza padana, di ampiezza sempre maggiore spostandosi da ovest verso est (cartografata, cautelativamente, considerando amalgamati anche corpi permeabili separati tra loro da uno spessore di argilla potente sino a due metri circa).

4.4.1 Assetto idrogeologico locale

Come già osservato la pianura alluvionale del Fiume Po è litologicamente costituita dall'alternanza di corpi sabbiosi molto estesi e sedimenti fini. Le sabbie derivano dalla attività di sedimentazione del fiume e sono presenti in strati amalgamati tra loro a formare livelli spessi anche alcune decine di metri ed estesi per svariati chilometri. Nella parte occidentale della Regione questi depositi hanno sempre un'origine alluvionale costituiti da sedimenti fini che si alternano a questi strati sabbiosi sono formati da limi più o meno argillosi, argille, sabbie limose e più raramente sabbie.

Dal punto di vista idrogeologico i depositi della pianura alluvionale del Po costituiscono degli acquiferi confinati molto permeabili e molto estesi e dunque molto importanti. Il più superficiale di questi è in contatto diretto col fiume, da cui viene ricaricato, mentre quelli più profondi ricevono una ricarica remota che viene in parte dallo stesso Po (da zone esterne alla Regione Emilia-Romagna) e in parte dalle zone di ricarica appenniniche ed alpine, poste rispettivamente molto più a sud e a nord.

Questo acquifero nell'area indagata (Acquifero A1) va da pochi metri dal piano campagna fino a circa 20-25 m di profondità e avvicinandosi al fiume Po il tetto dell'acquifero A1 diventa subaffiorante. In questa fascia, larga circa 2-3 km, l'acquifero A1 è freatico e raggiunge spessori ragguardevoli (35-40 m). Va sottolineato, inoltre, che l'alveo del Po in ampi tratti del suo corso, incide le sabbie dell'acquifero A1 per alcuni metri, entrando così in connessione idraulica con l'acquifero stesso².

L'osservazione della carta piezometrica riportata in Figura 4-21 permette di osservare che, mentre nella zona ad ovest il Po mostra un carattere prevalentemente ininfluenza nei confronti della falda, procedendo verso est, esso diventa via via drenante. Ad est dell'Enza la falda è diretta O-E e il gradiente idraulico è circa dello 0.04 %.

Al di sopra dei depositi descritti, fatto salvo per le conoidi prossimali dove le ghiaie sono affioranti, si trova l'acquifero freatico di pianura, un sottile livello di sedimenti prevalentemente fini che prosegue verso nord su tutta la pianura. Si tratta dei depositi di canale fluviale, argine e pianura inondabile in diretto contatto con i corsi d'acqua superficiali e con gli ecosistemi che da esse dipendono, oltre che con tutte le attività antropiche.

Data la litologia prevalentemente fine e lo spessore modesto (nell'ordine dei 10 m), l'acquifero freatico di pianura riveste un ruolo molto marginale per quanto concerne la gestione della risorsa a scala regionale; è invece molto sfruttato nei contesti rurali, dove numerosi pozzi a camicia lo sfruttano per scopi prevalentemente domestici.

In riferimento alla quota della falda nell'area di intervento, in corrispondenza dei fori ottenuti mediante l'esecuzione delle prove penetrometriche effettuate il giorno 13.07.2021 (Figura 5-1) è stata misurata la profondità della superficie della falda dal piano campagna. Le profondità misurate sono elencate di seguito.

CPTU1 = 1,8 m da p.c.

CPTU2 = 1,7 m da p.c.

CPTU3 = 1,3 m da p.c.

CPTU4 = 2,3 m da p.c.

CPTU5 = 3,4 m da p.c.

² Regione Emilia Romagna – Servizio geologico sismico e dei suoli, INTERREG IIB MEDOCC, BASSINS VERSANTS MÉDITERRANÉES - INDIVIDUAZIONE DI RISORSE IDRICHE ALTERNATIVE, a cura di Paolo Severi e Luciana Bonzi, Parma 2007

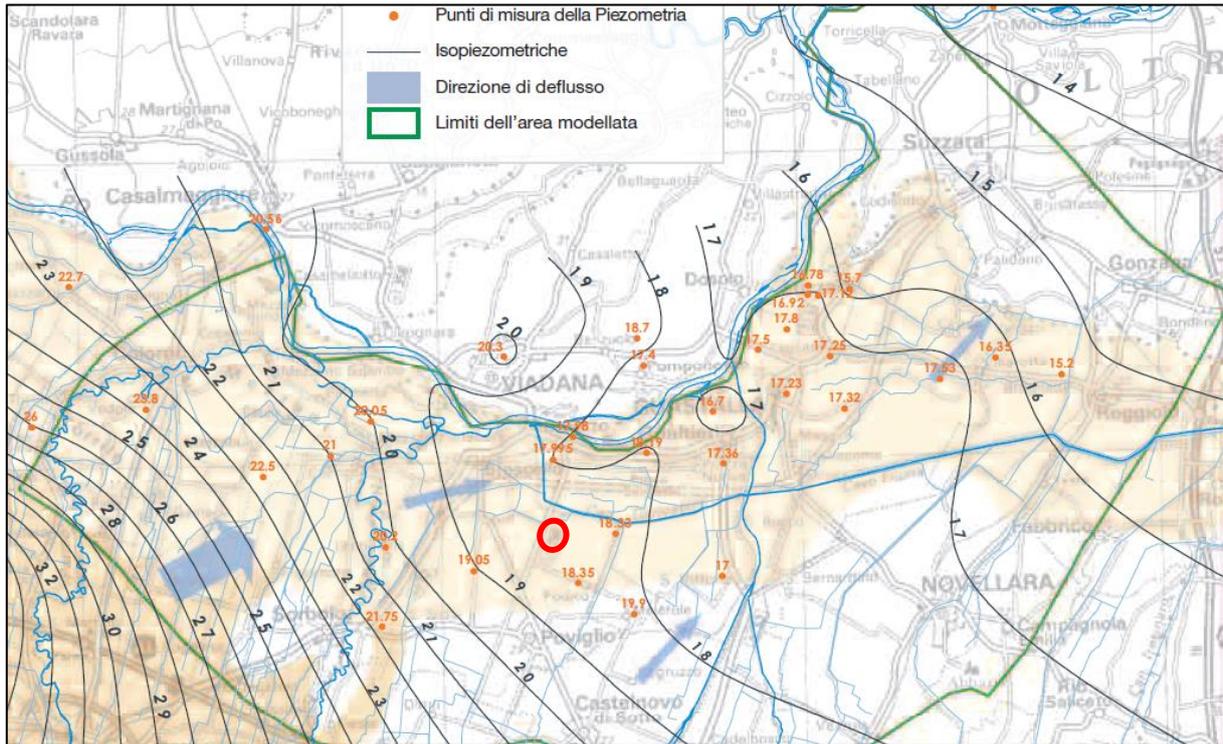


Figura 4-21 – Piezometria, anno 2007, in giallo è riportato l'acquifero A1 (Fonte: Regione Emilia Romagna – Servizio geologico sismico e dei suoli)

Per acquisire indicazioni riguardanti la vulnerabilità degli acquiferi presenti si può prendere in esame la *Carta regionale della Vulnerabilità*, elaborata dalla Regione Emilia Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli e Servizio di Tutela e Risanamento della Risorsa Acqua (2002), riportata in Figura 4-22, ove si evidenzia che l'intervento risulta esterno alle aree vulnerabili.

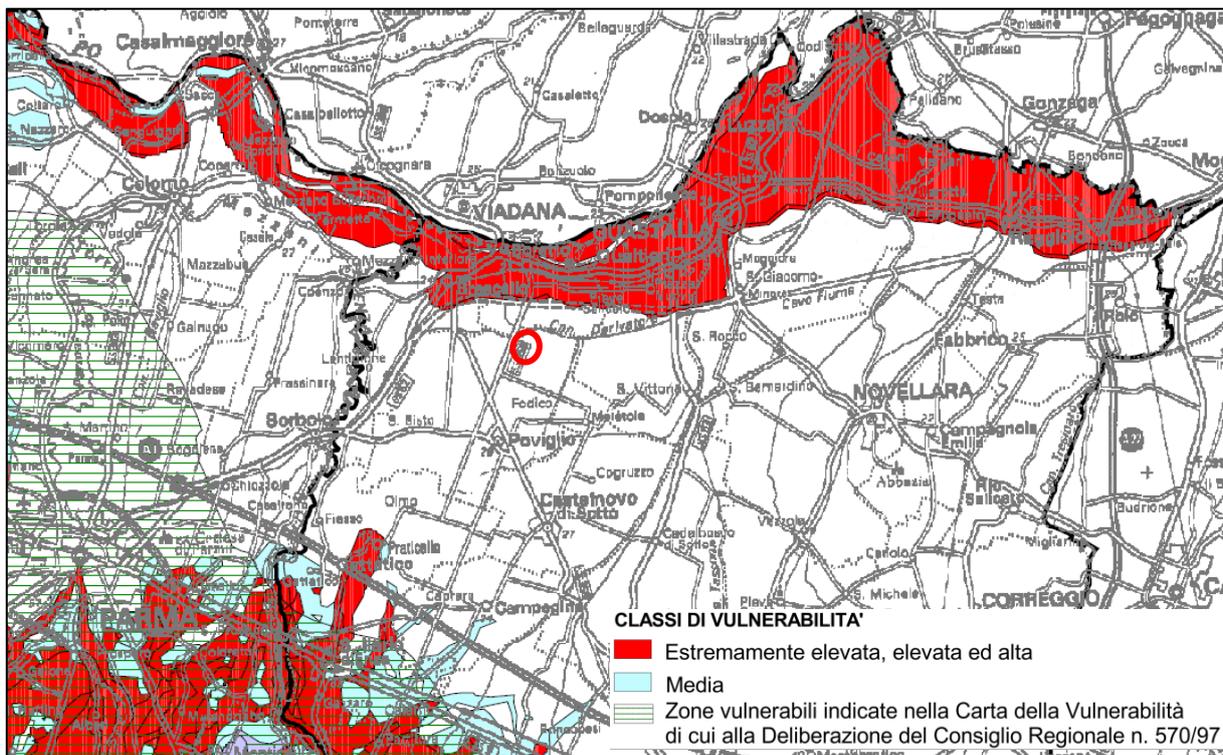


Figura 4-22 – Vulnerabilità degli acquiferi (Fonte: Carta della vulnerabilità degli acquiferi, Regione Emilia Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli e Servizio di Tutela e Risanamento della Risorsa Acqua, 2002)

5 DESCRIZIONE DELLE INDAGINI IN SITO

Per la caratterizzazione litostratigrafica, geomeccanica e sismica dell'area di progetto dell'impianto fotovoltaico il giorno 13 luglio 2021 sono state effettuate le seguenti tipologie di indagini geognostiche in sito:

1. N. 5 prove penetrometriche con punta elettrica (CPTU);
2. N. 1 misura sismica attiva (MASW);
3. N. 1 misura dei Microtremori (HVSr) con TROMINO.

In Figura 5-1 è riportata la distribuzione delle indagini in corrispondenza dell'impianto fotovoltaico.



Figura 5-1 - Ubicazione delle indagini geognostiche in corrispondenza dell'impianto fotovoltaico

PROVA PENETROMETRICA STATICA CON PUNTA ELETTRICA (CPTU)

Lo strumento utilizzato per le prove CPTU è un penetrometro statico modello olandese che può raggiungere un carico di spinta pari a 30 t, dotato di punta elettrica di tipo "friction jacket cone". La punta collegata ad un sistema di aste viene spinta nel terreno tramite un pistone idraulico ad una velocità costante di 20 mm/s ed è congegnata in modo da permettere la lettura della resistenza alla penetrazione, ogni 2 cm di avanzamento, delle sue due parti: punta conica (superficie 10 cm², angolo di incidenza 60°) e manicotto (superficie 150 cm²). Le letture che si ottengono sono rispettivamente definite, resistenza alla punta (Qc) e resistenza laterale (Fs).

La litologia del terreno è stata ricostruita utilizzando la teoria proposte da Robertson (1990).

In ALLEGATO1 è riportato il risultato delle prove sotto forma di grafici che rappresentano l'andamento con la profondità dei valori di resistenza alla punta (curva Qc) e di resistenza laterale (curva Fs). Sempre in forma grafica è riportata l'interpretazione litologica secondo il sopra citato autore. Le prove sono spinte sino alla profondità massima di circa 15 m dal p.c. (Figura 5-2) e sono state eseguite da tecnici della società S.G.T. sas di Van Zutphen Albert & C.



Figura 5-2 - Mezzo utilizzato per le prove CPTe

TROMINO (HVSr)

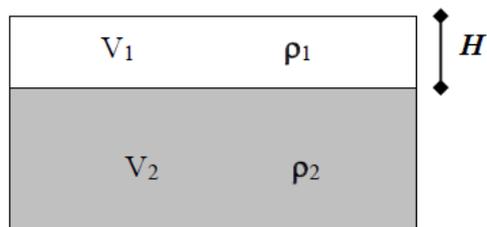
Il tremore sismico, comunemente definito “rumore sismico”, esiste ovunque sulla superficie della terra. Esso è principalmente costituito da onde superficiali, ovvero da onde elastiche prodotte dall’interferenza costruttiva di onde P ed S che si propagano negli strati superficiali. Il rumore sismico è prodotto essenzialmente dal vento o dalle onde marine. A questo rumore di fondo, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie ecc.) e naturali. I microtremiti sono solo in parte costituiti da onde di volume, P o S. In essi giocano un ruolo fondamentale le onde superficiali, che hanno velocità prossima a quella delle onde S, il che spiega la dipendenza di tutta la formulazione della velocità di queste ultime.

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l’informazione relativa al sottosuolo da rumore sismico registrato in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell’uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSr o H/V), proposta da Nogoschi e Igaraschi (1970). La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo.

Le basi teoriche dell’H/V sono relativamente facili da comprendere in un mezzo del tipo strato + bedrock (o strato assimilabile al bedrock) in cui i parametri sono costanti in ciascuno strato. Considerando lo schema della figura sottostante in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità (ρ_1 e ρ_2) e le diverse velocità delle onde sismiche (V_1 e V_2). Un’onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizioni di risonanza) quando la lunghezza dell’onda incidente (λ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore H del primo strato. La frequenza fondamentale di risonanza (f_r) dello strato 1 relativa alle onde S è pari a:

$$f_r = \frac{V_{s1}}{4 * H}$$

Questo effetto è sommabile, anche se non in modo lineare e senza corrispondenza 1:1. Ciò significa che la curva H/V relativa ad un sistema a più strati contiene l’informazione relativa alle frequenze di risonanza (e quindi dello spessore) di ciascuno di essi, ma non è interpretabile semplicemente applicando la sopra riportata equazione.



L'inversione richiede l'analisi delle singole componenti e del rapporto H/V , che fornisce un'importante normalizzazione del segnale per a) in contenuto di frequenza, b) la risposta strumentale e c) l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

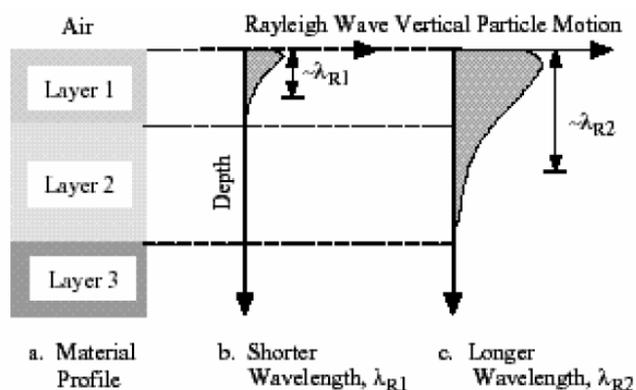
Un aspetto assai importante è che il rumore sismico agisce come sorgente di eccitazione per la risonanza del sottosuolo e degli edifici più o meno come una luce bianca diffusa illumina gli oggetti eccitando le lunghezze d'onda tipiche di ciascun oggetto e dandogli il suo tipico colore.

Questo risulta molto importante a livello ingegneristico perché se un edificio ha frequenze proprie di vibrazione uguali a quelle del substrato su cui è fondato, durante un sisma, si assiste al fenomeno dell'accoppiamento delle vibrazioni. Questo effetto di amplificazione sismica produrrà un grande aumento della sollecitazione sugli edifici.

MASW

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde.

In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.



Le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori. Nel metodo SASW-MASW si mantiene fisso il sensore di misura e si sposta a intervalli regolari il punto di generazione delle onde.

Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5Hz e 70Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, generalmente circa 8÷15 m, in funzione della rigidità del suolo.

Il metodo MASW consiste in tre fasi (Roma, 2002): (1) la prima fase prevede il calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale, (2) la seconda fase consiste nel calcolare la velocità di fase apparente numerica, (3) la terza ed ultima fase consiste nell'individuazione del profilo di velocità delle onde

di taglio verticali V_s , modificando opportunamente lo spessore h , le velocità delle onde di taglio V_s e di compressione V_p (o in maniera alternativa alle velocità V_p è possibile assegnare il coefficiente di Poisson (ρ), la densità di massa σ degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo assegnato.

COMBINAZIONE DEL METODO HVSR E MASW E RISULTATI

La combinazione tra le misure HVSR e quelle MASW permettono di ottimizzare la ricostruzione del modello di velocità delle onde di taglio V_s . Infatti, le MASW permettono di ottenere le misure di velocità di taglio nei primi metri che servono da base per interpretare gli strati più profondi osservabili solo dalle misure HVSR. In accordo con le NTC2018 e successiva circolare n.7 del 11-02-2019. La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

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

con:

h_i = spessore dell' i -esimo strato;

$V_{S,i}$ = velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;

N = numero di strati;

H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

6 CARATTERIZZAZIONE FISICO E MECCANICA DEI TERRENI

6.1 Caratteristiche litologiche dei terreni

Dalla correlazione tra l'interpretazione litologica delle prove penetrometriche eseguite specificatamente per il progetto, in corrispondenza dell'area di realizzazione dell'impianto fotovoltaico sono state ricostruite le unità litostratigrafiche riportate in Figura 6-1. La successione litostratigrafica elaborata, valida per tutta l'area di realizzazione dell'impianto fotovoltaico, è descritta in Tabella 6-1.

Unità Litostratigrafica	Profondità (m da p.c.)	Descrizione
1	da 0 a circa 0,4÷1,3 m	Sabbia limosa e limo sabbioso. Questa unità è riconoscibile solo nelle CPTU-1, CPTU-2 e CPTU-4.
2	da 0 (0,4÷1,3) a 5,3÷6,8 m.	Limo argilloso e argilla limosa.
3	da 5,3÷6,8 a circa 9 m	Argilla limosa e argilla
4	da 9 a circa 13÷14 m	Limo argilloso, argilla limosa e argilla
5	da 13÷14 a 15 m	Sabbia limosa e sabbia. Questa unità è assente nella CPTU-4

Tabella 6-1 - Successione litostratigrafica

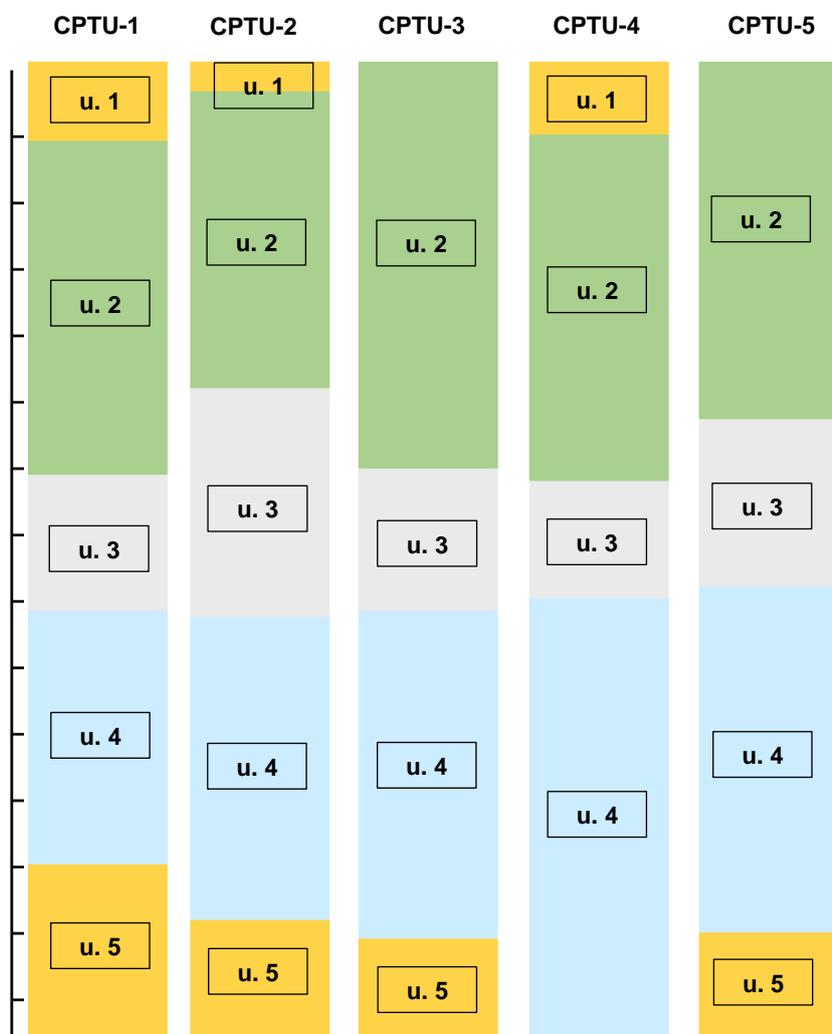


Figura 6-1 - Schema delle unità litologiche riconosciute nel sottosuolo investigato

6.2 Modello geotecnico e valori caratteristici dei parametri geotecnici

Per le strutture connesse all'impianto fotovoltaico (cabine inverter, cabine utente, cabine di consegna e una cabina per i servizi ausiliari) è previsto il ricorso a fondazioni di tipo superficiale a platea.

I parametri geotecnici di interesse ai fini delle verifiche geotecniche aderenti al caso in esame sono:

- peso per unità di volume γ ;
- coesione non drenata c_u ;
- angolo di resistenza al taglio ϕ' ;
- densità relativa D_r .

In Figura 6-2 è riportato l'andamento della resistenza alla punta (Q_c) con la profondità per le indagini effettuate, dove si evidenzia, a partire da 2 m di profondità da p.c., una buona confrontabilità tra i dati delle 5 prove effettuate.

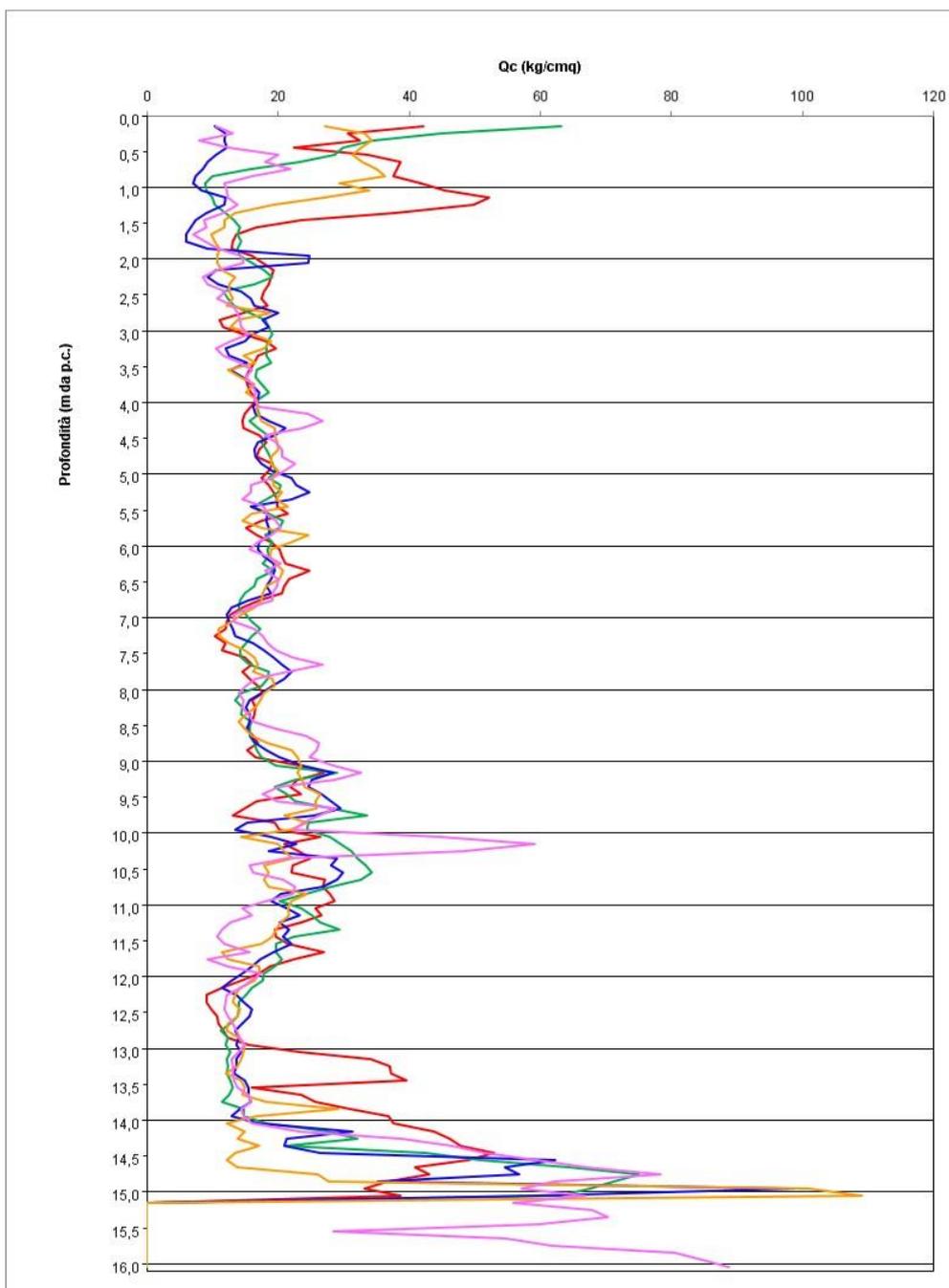


Figura 6-2 - Andamento dei valori di resistenza alla punta Q_c rispetto la profondità

Per la definizione dei valori caratteristici dei parametri fisici e geomeccanici di interesse, si è quindi proceduto secondo le indicazioni delle NTC 18 all'individuazione del volume significativo di terreno in relazione alle strutture di fondazione previste. Molto cautelativamente si è assunto di considerare valori caratteristici uguali al valore minimo. In Tabella 6-2 sono riportati i parametri caratteristici (X_k) corrispondenti alle unità litotecniche individuate nel modello geotecnico considerato.

Nel modello geotecnico individuato la superficie topografica è stata assunta piana e sulla base delle misure delle quote d'acqua effettuate all'interno dei fori ottenuti con le prove penetrometriche e delle ipotizzabili oscillazioni stagionali, la falda è stata considerata cautelativamente alla profondità minima di 1,3 m da p.c.

Unità Litostrat.	Profondità (m da p.c.)	Descrizione	γ medio (t/m^3)	C_{uk} (kg/cm^2)	ϕ'_k (°)
1	da p.c. a 0,4÷1,3	Sabbia limosa e limo sabbioso	1,90	---	30
2	da p.c.(0,4÷1,3) a 5,3÷6,8	Limo argilloso e argilla limosa.	1,85	0,4	---
3	da 5,3÷6,8 a circa 9	Argilla limosa e argilla	1,90	0,7	---
4	da 9 a 13÷14	Limo argilloso argilla limosa e argilla	1,75	0,6	---
5	da 13÷14 a 15	Sabbia limosa e sabbia	1,80	---	32

Tabella 6-2 Parametri caratteristici

7 SISMICA

7.1 Pericolosità sismica

In Figura 7-1 si riporta uno stralcio della mappa della zonazione sismogenetica SZ9 (fonte: <http://zonesismiche.mi.ingv.it> e Gruppo di Lavoro (2004)-Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 Marzo 2003, Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp, + 5 appendici,) e la distribuzione degli epicentri dei terremoti storici (Fonte: Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016. CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15). L'area di intervento si colloca esternamente alle aree zone sismogenetiche che caratterizzano il settore padano e si approssima a sud dalla zona 912, Dorsale Ferrarese, caratterizzata da magnitudo momento massima di 6,14.

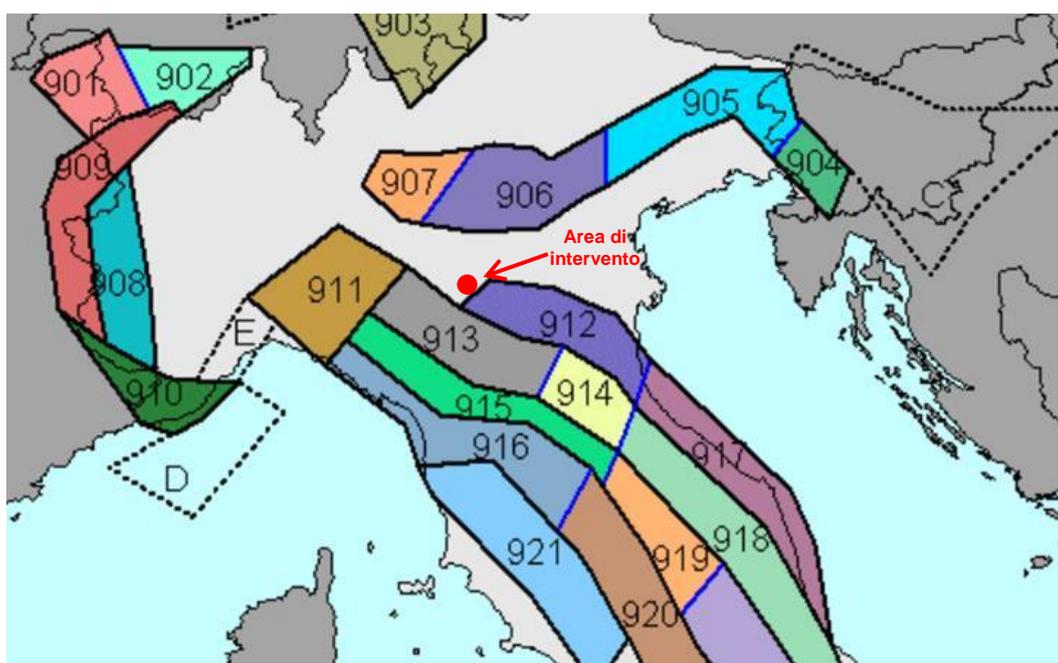


Figura 7-1 - Zone sismogenetiche (INGV) e epicentri dei terremoti storici suddivisi per classi di magnitudo (cpti15)

In Tabella 7-1 sono riportate alcune caratteristiche dei terremoti il cui epicentro ricade in un raggio di circa 25 km dall'area di intervento.

N. ordine catalogo	Data	Latitudine epicentro	Longitudine epicentro	Magnitudo Momento (MAW)	Intensità epicentrale (IO)	Epicentro
52	25.01.1280	44,814	10,683	4,4	5-6	Pianura emiliana
84	11.11.1344	44,801	10,33	4,16	5	Parma
85	31.01.1345	44,81	10,564	4,4	5-6	Pianura emiliana
114	24.07.1383	44,801	10,33	3,93	4-5	Parma
140	15.11.1409	44,801	10,33	5,1	7	Parma
159	11.06.1438	44,844	10,239	5,56	8	Parmense
183	07.04.1465	44,698	10,631	4,4	5-6	Pianura emiliana
209	07.02.1481	44,724	10,628	4,16	5	Pianura emiliana
327	10.02.1547	44,698	10,631	5,1	7	Reggiano
328	24.03.1547	44,698	10,631	4,4	5-6	Reggiano
363	04.06.1572	44,85	10,422	4,63	6	Parmense
383	24.05.1591	44,698	10,631	4,63	6	Reggio nell'Emilia
400	28.10.1600	44,698	10,631	5,33	7-8	Reggio nell'Emilia
406	31.12.1607	44,698	10,631	4,16	5	Reggio nell'Emilia
407	06.01.1608	44,698	10,631	4,4	5-6	Reggio nell'Emilia
443	04.11.1628	44,801	10,33	4,86	6-7	Parma
480	19.04.1653	44,814	10,504	4,4	5-6	Reggiano
688	04.02.1732	44,871	10,468	4,65	5-6	Parma
834	04.03.1774	44,801	10,33	4,16	5	Parma
971	22.02.1799	44,771	10,779	4,16	5	Correggio
997	12.02.1806	44,862	10,671	5,21	7	Reggiano
1017	25.12.1810	44,9	10,719	5,06	6	Pianura emiliana
1096	14.07.1831	44,749	10,48	4,6	5-6	Reggiano
1097	11.09.1831	44,753	10,544	5,48	7-8	Pianura emiliana
1111	13.03.1832	44,765	10,494	5,51	7-8	Reggiano
1262	01.02.1857	44,749	10,48	5,11	6-7	Parmense-Reggiano
1289	17.07.1860	44,743	10,793	3,93	4-5	Reggiano
1521	15.10.1886	44,75	10,306	4,7	6	Collecchio
1652	12.05.1895	44,745	10,605	3,98	4-5	Reggiano
2137	10.10.1915	44,733	10,47	4,87	6	Reggiano
2218	06.05.1918	44,691	10,63	4,41	5-6	Reggiano
2465	13.07.1932	44,774	10,809	3,86	4-5	Reggiano
2531	17.09.1937	44,764	10,338	4,77	7	Parmense
2674	06.05.1950	44,731	10,671	4,41	4	Reggiano
2708	22.08.1953	44,787	10,795	4,73	6	Reggiano
2919	03.04.1967	44,73	10,602	4,44	5	Reggiano
3038	15.07.1971	44,814	10,345	5,51	8	Parmense
3519	24.04.1987	44,812	10,691	4,64	6	Reggiano
3520	02.05.1987	44,81	10,694	4,71	6	Reggiano
3553	15.03.1988	44,838	10,724	4,57	6	Reggiano
3815	15.10.1996	44,798	10,678	5,38	7	Pianura emiliana
3820	26.10.1996	44,853	10,699	3,94	5-6	Pianura emiliana
3825	25.11.1996	44,787	10,715	4,29	5-6	Pianura emiliana
3828	16.12.1996	44,814	10,693	4,06	5-6	Pianura emiliana
3836	12.05.1997	44,781	10,63	3,68	4-5	Pianura emiliana
3931	21.02.1998	44,777	10,723	3,93	5	Pianura emiliana
4032	18.06.2000	44,785	10,746	4,4	5-6	Pianura emiliana
4315	09.05.2007	44,801	10,478	4,21		Pianura emiliana
4467	25.1.2012	44,871	10,51	4,98	5-6	Pianura emiliana

Tabella 7-1 - Terremoti con epicentro all'interno di un'area di circa 25 km dalla zona di intervento³

A partire dal 23/10/05 trova attuazione la classificazione sismica stabilita dall'ALLEGATO 1, punto 3 dell'Ordinanza n. 3274/2003, in base al quale il comune di Poviglio risulta classificato "zona 3".

Le azioni sismiche di progetto sono determinate a partire dalla pericolosità sismica di base del sito di costruzione. Secondo le NTC 18 la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima

³ Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli, B., Gasperini P., 2019. Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 2.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.2>

orizzontale su suolo rigido ($V_{s30} > 800$ m/s) viene effettuata con un approccio "sito dipendente". Nell'allegato A delle NTC 2008 è presentata la procedura per la stima dei parametri spettrali necessari alla definizione dell'azione sismica di progetto che sono calcolati in funzione del reticolo di riferimento (Allegato B delle NTC 08):

- a_g = accelerazione massima orizzontale del terreno;
- F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro;
- T_c^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione.

Note le coordinate geografiche, si ubica il sito in esame all'interno del reticolo di riferimento, i parametri spettrali, per un determinato periodo di ritorno (T_R), sono calcolati dalla media pesata, rispetto la distanza, dei valori riferiti ai quattro nodi del reticolo.

Il periodo di ritorno è valutato in funzione del periodo di riferimento (V_R) che si ricava, per ciascun tipo di costruzione moltiplicando la vita nominale (V_N) per il coefficiente d'uso (C_U).

Per le opere in progetto nel campo fotovoltaico si è assunto:

$V_N = 50$ anni;

Classe d'uso I = 0,7

Da cui $V_R = 35$ anni.

Gli stati limite rispetto ai quali devono essere verificate le prestazioni di un'opera o di una parte di essa che possono verificarsi durante la V_N in presenza di azioni sismiche sono:

-Stati limite di esercizio

- Stato Limite di Operatività (SLO).
- Stato Limite di Danno (SLD).

-Stati limite ultimi

- Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV).
- Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC).

La probabilità di superamento nel periodo di riferimento (P_{VR}) a cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati sono riportati in Tabella 7-2 (Tabella 3.2.1. delle NTC 18).

Stati Limite		P_{VR} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R
Stati limite di esercizio	SLO	81 %
	SLD	63 %
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Tabella 7-2 - Probabilità di superamento P_{VR} al variare dello stato limite considerato

In Figura 7-2 è riportata l'ubicazione del sito investigato rispetto ai nodi del reticolo di riferimento che lo circondano e in Tabella 7-3 i rispettivi codici. Le coordinate geografiche considerate rappresentative del sito sono: Lat. 44,8745° e Long. 10,5462°.

	ID	Lat.	Long.	Distanza dall'area di interesse (m)
1	14943	44,8982	10,5276	2.962
2	14944	44,8999	10,5981	4.842
3	15166	44,8499	10,6005	5.069
4	15165	44,8482	10,5300	3.319

Tabella 7-3 – Nodi del reticolo di riferimento che circondano il sito di intervento

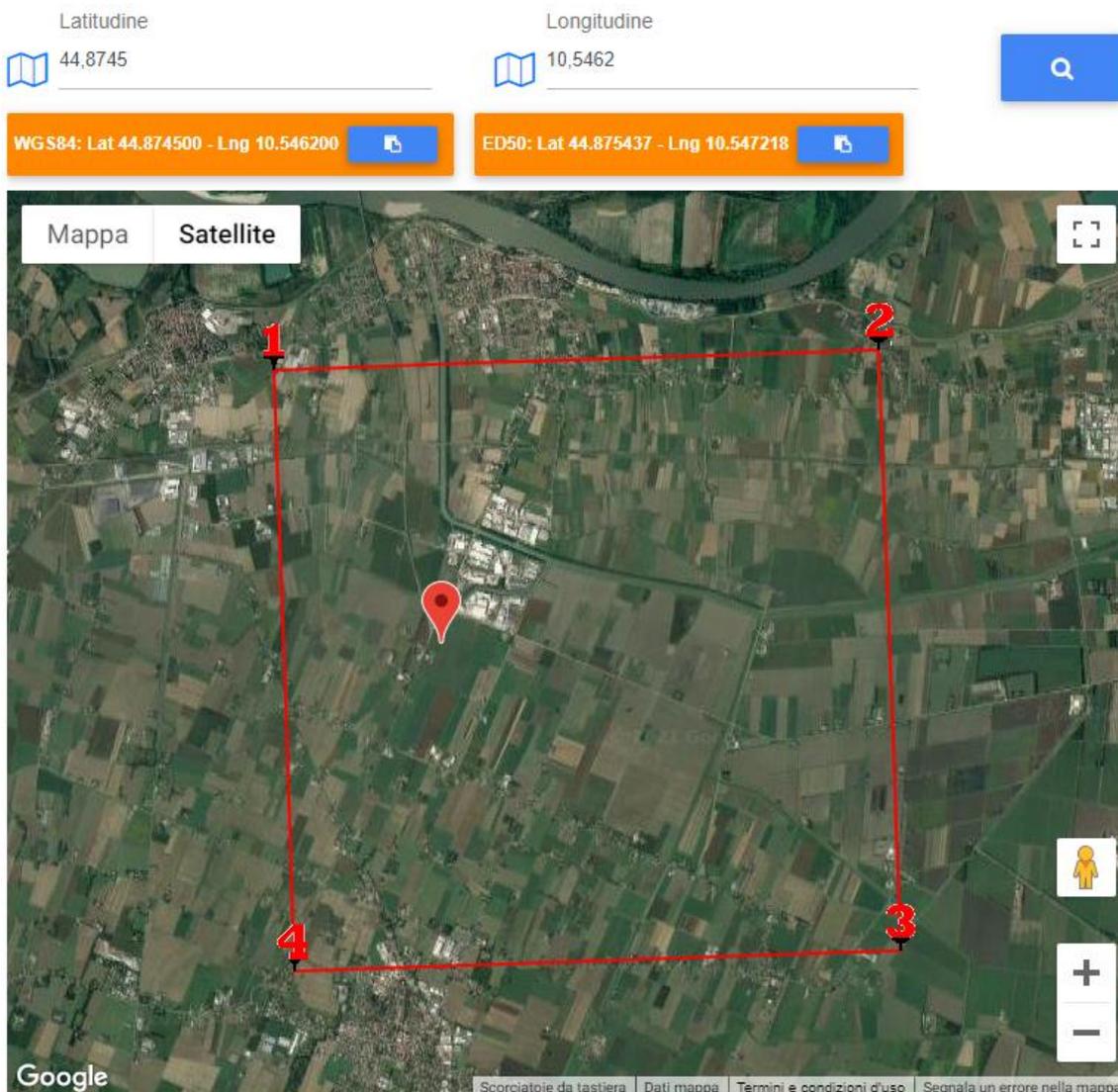


Figura 7-2 - Ubicazione dell'area di intervento rispetto al reticolo di riferimento⁴

I valori dei parametri spettrali ottenuti in questo modo sono relativi ad una situazione geologica assente da fenomeni locali ovvero con substrato sismico ($V_s > 800$ m/s) affiorante e assetto morfologico pianeggiante. Nel caso in esame non essendo rispettata la prima condizione ai fini della determinazione dell'azione sismica, occorre valutare, secondo quanto riportato nelle NTC 18, l'effetto della risposta sismica locale che deve essere valutata o mediante specifiche analisi oppure, qualora le caratteristiche stratigrafiche siano chiaramente riconducibili alle categorie di sottosuolo descritte nella tabella 3.2.11 delle NTC 18 si può fare riferimento ad un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio.

Per la valutazione della $V_{s,30}$ è stata effettuata una indagine sismica MASW accompagnata da un'indagine sismica passiva HVSR (mediante il TROMINO). I risultati dell'indagine effettuata da tecnici della società SGT sas sono riportati in allegato.

In base ai valori di $V_{s,30}$ misurati i terreni investigati risultano caratterizzabili all'interno della **categoria di sottosuolo C**. Rispetto le condizioni topografiche il sito risulta classificato nella categoria T1.

I valori dei parametri a_g , F_0 e T_c^* calcolati mediante l'utilizzo dell'applicativo Geostru-PS (<https://geoapp.eu/parametrisismici2018/>) sono riportati in Tabella 7-4.

⁴ <https://geoapp.eu/parametrisismici2018/>

Stato limite	Pv _R	T _R (anni)	a _g (g)	F _o	TC*
Operatività	81%	30	0,038	2,567	0,230
Danno	63%	35	0,040	2,562	0,238
Salv. Vita	10%	332	0,087	2,610	0,307
Collasso	5%	682	0,111	2,595	0,320

Tabella 7-4 – Valore dei parametri A_g, F_o e T_c

Stato limite	S _s	S _T (anni)	a _{max} = a _g *g*S _s *S _T
Operatività (SLO)	1,50	1,00	0,554
Danno (SLD)	1,50	1,00	0,588
Salv. Vita (SLV)	1,50	1,00	1,298
Collasso (SLC)	1,50	1,00	1,636

Tabella 7-5 – Valore di a_{max} (m/sec²) per la categoria di suolo C

Secondo le indicazioni delle NTC 18 tra gli effetti indotti da un sisma occorre verificare la stabilità dei terreni alla liquefazione che viene così definita “*fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate*”. Le NTC al riguardo forniscono una lista di circostanze da analizzare per il sito in esame delle quali, se ne risulta verificata almeno una, viene esclusa la necessità di verifica della suscettibilità dei terreni alla liquefazione, che sono:

1. Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata (N1)60 > 30 oppure qc1N > 180 dove (N1)60 è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc1N è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità U_c < 3,5 ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità U_c > 3,5.

Le indagini sviluppate in questa fase hanno consentito di valutare che dei primi tre punti in elenco nessuno è verificato, mentre per decidere se prelevare dei campioni di terreno e valutare il punto 4 è stata effettuata una valutazione della suscettibilità dei terreni alla liquefazione applicando i metodi semplificati basati sulle interpretazioni derivanti dalle CPTU effettuate, che hanno evidenziato la presenza di terreni con caratteristiche tali da comportare la verifica entro i primi 15 m di profondità dal piano campagna.

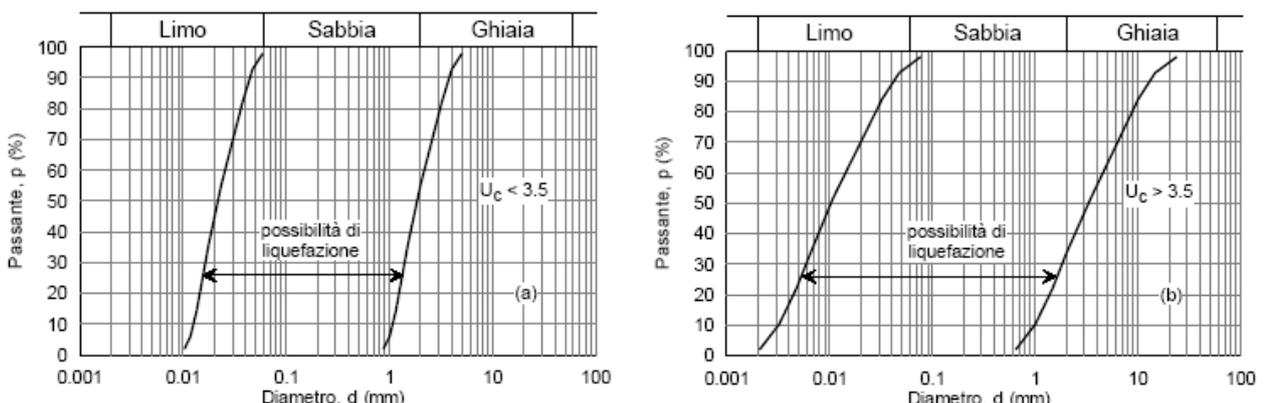


Tabella 7-6 - Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione (figure 7.11.1 (a), (b) delle NTC 18)

7.2 Valutazione del potenziale di liquefazione dei terreni

I metodi semplificati di valutazione del rischio sismico di liquefazione da prove in sito sono di tipo storico-empirico in quanto utilizzano una base dati, la più ampia possibile, di informazioni sul comportamento osservato di siti sabbiosi in occasione di terremoti storici.

La resistenza che un deposito sabbioso saturo oppone alla liquefazione viene definita attraverso il fattore di sicurezza. Il fattore di sicurezza F_s è definito dal rapporto tra il parametro che definisce la resistenza alla liquefazione denominato CRR (Cyclic Resistance Ratio), desunto dai risultati di prove in sito e nel caso in esame dalle CPT e il parametro di carico sismico che è la tensione tangenziale sismica CSR (Cyclic Stress Ratio) che è stimato sulla base di considerazioni teoriche ed empiriche, delle caratteristiche del terremoto, magnitudo e accelerazione di picco in superficie.

$$F_s = \frac{CRR}{CSR}$$

Per la stima di F_s vengono determinati separatamente CSR e CRR.

Per la determinazione del CSR e di CRR si è fatto riferimento al testo S. Monaco, 2008 "Liquefazione dei terreni in condizioni sismiche" e alle linee guida AGI, 2005 "Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica" sono quelli indicati dalle Linee guida AGI 2005.

Nell'analisi è stata considerato come valore di magnitudo, quello della magnitudo momento massima (M_{wMax}) della zona sismogenetica in cui ricade il sito. Il dato è stato tratto da *Gruppo di Lavoro (2004)-Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 Marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici*. I dati utilizzati per la stima del potenziale di liquefazione sono i seguenti:

- ✓ Come zona sismogenetica di riferimento è stata utilizzata la n. 912, caratterizzata da M_{wMax} di 6,14.
- ✓ Come classe d'uso è stata considerata la classe d'uso I;
- ✓ Il valore di a_{max} per l'area di intervento è pari a $1,298 \text{ m/s}^2$.
- ✓ La profondità della falda considerata nei calcoli corrisponde alla quota d'acqua rilevata nelle indagini geognostiche.

La stima del CRR è stata effettuata considerando i dati delle prove CPTU effettuate. Per quanto riguarda le analisi sviluppate utilizzando i dati delle prove CPTU, i risultati sono stati espressi in termini di Indice del Potenziale di Liquefazione (IP_L) (Iwasaki et al., 1982) che è un indice utilizzato per rappresentare il rischio di liquefazione (Tabella 7-7):

$$IP_L = \int_0^{z_{crit}} F(z) \cdot w(z) \cdot dz$$

$$F(z) = 1 - F_s(z) \quad \text{per } F_s \leq 1,0$$

$$F(z) = 0,0 \quad \text{per } F_s > 1,0$$

$$W(z) = 10 - 10 (z/z_{crit})$$

$z_{crit} = 20 \text{ m}$ valore della profondità alla quale può escludersi il fenomeno della liquefazione.

Valore di PL	Rischio di liquefazione
$IP_L = 0$	Molto basso
$0 < IP_L \leq 5$	Basso
$5 < IP_L < 15$	Alto
$IP_L > 15$	Molto alto

Tabella 7-7 – Valutazione del rischio di liquefazione in funzione del valore di IP_L (IWASAKI ET AL. 1978)

Il valore di IP_L stimati sono riportati in Tabella 7-8:

	Valore di IP_L					
	AGI 2005		Robertson 2009		Boulanger & Idriss 2014	
	senza correzione strati sottili	con correzione strati sottili	senza correzione strati sottili	con correzione strati sottili	senza correzione strati sottili	con correzione strati sottili
CPTU-1	0,3	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0
CPTU-2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
CPTU-3	0,1	0,0	0,2	0,0	0,1	0,0
CPTU-4	0,5	0,0	0,5	0,0	0,2	0,0
CPTU-5	0,3	0,2	0,3	0,0	0,3	0,2

Tabella 7-8 – valori di IP_L stimati

Sulla base del valore dell'indice IP_L è possibile indicare che per i terreni investigati il rischio di liquefazione risulta 'molto basso', pertanto il sito sotto questo aspetto può ritenersi stabile.

8 PORTANZA PER FONDAZIONI SUPERFICIALI

In Tabella 8-1 sono riportati i dati dimensionali delle fondazioni superficiali delle cabine in progetto per le quali viene effettuata una stima della capacità portante. L'ubicazione delle cabine e delle indagini geognostiche effettuate è riportata in Figura 5-1.

Edificio / struttura	Larghezza B (m)	Lunghezza L (m)	Profondità piano di posa (m)
Cabinet inverter 1.A	3,7	7,3	0,1
Cabinet inverter 2.A	3,7	7,3	0,1
Cabinet inverter 1.B	3,7	7,3	0,1
Cabinet inverter 2.B	3,7	7,3	0,1
Cabina utente 'POVIGLIO A'	2,5	6,5	0,1
Cabina utente 'POVIGLIO B'	2,5	6,5	0,1
Cabina consegna 'FV ESTE 1'	2,5	6,7	0,1
Cabina consegna 'FV ESTE 2'	2,5	6,7	0,1
Cabina servizi ausiliari	2,5	4,0	0,1

Tabella 8-1 Dimensioni in pianta delle platee di fondazione

Per il calcolo in condizioni statiche della resistenza del terreno interagente con la fondazione per collasso determinato dal raggiungimento del carico limite (capacità portante) è stata utilizzata l'espressione di Hansen (1970) tratta da Bowles (1991):

$$q_{ult} = CN_c s_c d_c i_c g_c b_c + \gamma_1 D N_q s_q d_q i_q g_q b_q + 0.5 \gamma_2 B N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma r_\gamma \quad (7.1)$$

Dove:

N_c, N_q, N_γ = fattori di portata;

s_c, s_q, s_γ = fattori di forma;

d_c, d_q, d_γ = fattori di profondità;

i_c, i_q, i_γ = fattori di inclinazione del carico;

g_c, g_q, g_γ = fattori di inclinazione del terreno;

b_c, b_q, b_γ = fattori di inclinazione del piano di posa di fondazione;

C = coesione;

γ_1 = peso per unità di volume del terreno sopra il piano posa delle fondazioni;

γ_2 = peso per unità di volume del terreno sotto il piano posa delle fondazioni;

D = profondità delle fondazioni;

B = dimensione delle fondazioni;

r_γ = fattore correttivo che dipende dalle dimensioni delle fondazioni.

La resistenza di progetto R_d in condizioni statiche si ottiene moltiplicando la q_{ult} per la superficie efficace A' della fondazione. Considerate le dimensioni e la profondità di posa delle platee risulta che i terreni interessati dal cuneo di rottura sono quelli di natura prevalentemente coesiva appartenenti all'unità litotecnica I (Caratterizzata dagli stessi valori caratteristici dei parametri geotecnici per entrambi i modelli geotecnici individuati). Le condizioni critiche per l'analisi di stabilità sono pertanto quelle drenate.

Il calcolo viene effettuato adottando l'approccio 2 (A1-M1-R3) nel quale i coefficienti parziali dei parametri geotecnici sono uguali a 1. Pertanto i valori caratteristici dei parametri geotecnici corrispondono ai valori di progetto e nei casi in esame è stato considerato:

- $\varphi_{ud} \equiv \varphi_{uk} = 30$ (°) per il primo strato riconosciuto nelle CPTU 1, CPTU 2 e CPTU 4;
- $c_{ud} \equiv c_{uk} = 0,4$ (kg/cm²) per il primo strato riconosciuto nelle CPTU 3, CPTU 5.

Seguendo le premesse su esposte in Tabella 8-2 sono riportati i risultati delle verifiche in termini di resistenza dei terreni di fondazione per raggiungimento del carico limite (R_d) in condizioni statiche. Dato che per il calcolo è stato adottato l'approccio 2 il coefficiente parziale γ_R utilizzato è pari a 2,3.

Struttura	Larghezza B (m)	Lunghezza L (m)	Profondità piano di posa (m)	Rdstatico (kN)	q_{amm} (kg/cm ²)
Cabinet inverter 1.A	3,7	7,3	0,1	2676	1,0
Cabinet inverter 2.A	3,7	7,3	0,1	2676	1,0
Cabinet inverter 1.B	3,7	7,3	0,1	3298	1,1
Cabinet inverter 2.B	3,7	7,3	0,1	3298	1,1
Cabina utente 'POVIGLIO A'	2,5	6,5	0,1	1607	0,9
Cabina utente 'POVIGLIO B'	2,5	6,5	0,1	1607	0,9
Cabina consegna 'FV ESTE 1'	2,5	6,7	0,1	1652	0,9
Cabina consegna 'FV ESTE 2'	2,5	6,7	0,1	1652	0,9
Cabina servizi ausiliari	2,5	4,0	0,1	1050	1,0

Tabella 8-2 Resistenza di progetto

9 CEDIMENTI PER FONDAZIONI SUPERFICIALI

Per la stima dei cedimenti del terreno di fondazione è stata utilizzata la teoria della consolidazione utilizzando l'equazione seguente:

$$\Delta H = m_v \cdot \Delta q \cdot H \quad (8.1)$$

nella quale:

ΔH = cedimento;

Δq = variazione media della pressione nello strato con la profondità;

H = spessore dello strato.

$m_v = 1/E$ modulo di compressibilità volumetrica. Si ottiene dalla q_c mediante la relazione:

$$m_v = 1/(\alpha q_c) \quad (8.2)$$

dove:

α = coefficiente che dipende dalla natura litologica dei terreni esaminati.

q_c = resistenza alla punta.

Il valore caratteristico del modulo di compressibilità volumetrico è stato calcolato utilizzando tutte le letture di resistenza alla punta delle CPTU 1÷CPTU 5, ovvero considerando un ΔH pari a 2 cm. I valori caratteristici corrispondono a quelli di progetto in quanto il coefficiente parziale γ_M da utilizzare è pari a 1. Come pressione trasmessa ai terreni di fondazione è stato considerato un valore ipotetico pari a 0,1 e 0,5 Kg/cm².

I cedimenti sono stati valutati in corrispondenza del centro di ogni struttura di fondazione, i valori ottenuti sono riportati in Tabella 9-1.

Struttura	Pressione trasmessa ai terreni (kg/cm ²)	Cedimento in corrispondenza del centro (cm)				
		CPTU 1	CPTU 2	CPTU 3	CPTU 4	CPTU 5
Cabinet inverter 1.A	0,1	0,6				
	0,5	2,9				
Cabinet inverter 2.A	0,1		0,6			
	0,5		3,1			
Cabinet inverter 1.B	0,1				0,6	
	0,5				3,0	
Cabinet inverter 2.B	0,1				0,6	0,7
	0,5				3,0	3,3
Cabina utente 'POVIGLIO A'	0,1		0,5			
	0,5		2,4			
Cabina utente 'POVIGLIO B'	0,1		0,5			
	0,5		2,4			
Cabina consegna 'FV ESTE 1'	0,1		0,5			
	0,5		2,4			
Cabina consegna 'FV ESTE 2'	0,1		0,5			
	0,5		2,4			
Cabina servizi ausiliari	0,1		0,4			
	0,5		2,0			

Tabella 9-1 Cedimenti fondazione flessibile in condizioni statiche

10 CONSIDERAZIONI DI SINTESI

Lo studio svolto è stato finalizzato al riconoscimento delle principali caratteristiche geologiche e litotecniche dei terreni presenti in corrispondenza di un'area di circa 15 ha, interessata dal progetto di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte fotovoltaica situato in località D'Este, a nord del territorio comunale del comune di Poviglio, in provincia di Reggio Emilia.

L'impianto è composto da due campi fotovoltaici denominati "POVIGLIO A" della potenza nominale di 6.080,25 kW e "POVIGLIO B" della potenza nominale di 6.134,70 kW.

Le coordinate geografiche riferite al datum WGS84 del baricentro dell'area di realizzazione del campo fotovoltaico sono: Lat. 44,8745°, Long. 10,5462°. L'area è compresa negli Elementi 182111 e 182112 della Carta Tecnica Regionale.

All'interno dell'impianto fotovoltaico è in progetto la realizzazione di alcune strutture di servizio per le quali è previsto il ricorso a fondazioni di tipo superficiale. Si tratta di n.4 Cabinet inverter, n.2 cabine di consegna, n.2 cabine utente e n.1 cabina per i servizi ausiliari

Di seguito sono sintetizzati gli aspetti principali emersi dall'analisi volta sull'area di intervento.

Il progetto si colloca in una zona di pianura posta a nord di Poviglio, il cui assetto morfo-altimetrico nel complesso risulta pianeggiante con quote comprese tra 20,8 e 21,0 m slm.

L'assetto litostratigrafico della zona risulta caratterizzato da alternanze di sabbie, limi sabbiosi, limi ed argille di canale, argine e rotta fluviale e da argille e limi di piana inondabile, legati allo sviluppo dei reticoli idrografici appenninici e del fiume Po.

L'area di intervento da un punto di vista idrografico appartiene al grande sistema idrografico del Po, ed è limitata tra il fiume Po a Nord, il fiume Enza ad Ovest e il torrente Crostolo a Est; inoltre, è interessato da un complesso reticolo artificiale di canali di bonifica o di irrigazione o promiscui, di grande importanza sia per la tradizionale funzione di drenaggio della pianura che per l'adduzione di acqua per l'irrigazione. La rete dei canali minori è gestita dal Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale.

In riferimento al rischio idraulico, il progetto rientra nelle aree di alluvioni rare per quanto concerne i fiumi principali Po ed Enza, mentre nelle aree delle alluvioni frequenti e poco frequenti per quanto riguarda il Collettore Impero.

Dal punto di vista idrogeologico i depositi della pianura alluvionale del Po costituiscono degli acquiferi confinati molto permeabili e molto estesi e dunque molto importanti. Il più superficiale di questi è in contatto diretto col fiume, da cui viene ricaricato, mentre quelli più profondi ricevono una ricarica remota che viene in parte dallo stesso Po (da zone esterne alla Regione Emilia-Romagna) e in parte dalle zone di ricarica appenniniche ed alpine, poste rispettivamente molto più a sud e a nord. L'acquifero freatico di pianura riveste un ruolo molto marginale per quanto concerne la gestione della risorsa a scala regionale.

Nell'area di realizzazione del campo fotovoltaico, in corrispondenza dei fori ottenuti tramite le prove geognostiche, eseguite in febbraio 2021, è stata rilevata la profondità della falda più superficiale che ha mostrato valori compresi tra circa 1,3÷3,4 m da p.c.

La successione litostratigrafica ricostruita per l'area di progetto è caratterizzata dalla presenza di un primo strato di sabbia limosa e limo sabbioso, non continuo su tutta l'area, a cui seguono sino a 13÷14 m terreni fini limoso argillosi.

Le indagini in sito eseguite e l'analisi geologica hanno consentito di effettuare una modellazione geotecnica dei terreni interagenti con le cabine in progetto all'interno dell'impianto fotovoltaico.

Lo strato più superficiale più granulare è caratterizzato da un angolo di attrito φ di circa 30°, mentre i primi terreni fini sottostanti da una coesione c_u di circa 0,4 kg/cm².

In riferimento alla pericolosità sismica il comune di Poviglio risulta classificato "zona 3". La valutazione della $V_{s,30}$ e dell'amplificazione sismica di risonanza del substrato di interesse è stata effettuata utilizzando i risultati di un'indagine MASW eseguita in accoppiamento con un'indagine sismica passiva HVSR (TROMINO). In base ai valori di $V_{s,30}$ stimati i terreni investigati risultano caratterizzabili all'interno della categoria di sottosuolo C, rispetto le condizioni topografiche il sito è classificabile all'interno della categoria T1.

E' stata effettuata una verifica della suscettibilità dei terreni alla liquefazione sulla base delle interpretazioni derivanti dalle CPTU effettuate. L'analisi ha evidenziato che il sito sotto questo aspetto può ritenersi stabile.

Per le cabine in progetto all'interno del campo fotovoltaico è stata effettuata una stima della capacità portante di progetto e dei cedimenti dei terreni di fondazione in condizioni statiche considerando il ricorso a platee di fondazione. Come pressione trasmessa ai terreni di fondazione sono stati considerati valori ipotetici pari a 0,1 e 0,5 Kg/cm². Si ritiene che i cedimenti stimati rispetto alla ipotesi assunte siano in termini assoluti compatibili con le strutture in progetto. Per le strutture di fondazione è stata stimata una resistenza di progetto indicativamente di 0,9÷1,1 kg/cm².

**ALLEGATO 1:
GRAFICI PROVE PENETROMETRICHE**

**ALLEGATO 2:
INDAGINE SISMICA**

**ALLEGATO 3:
VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI
LIQUEFAZIONE DEI TERRENI**