

Filippo Lusignani

CN = Lusignani Filippo
O = Ordine dei Geologi
dell'Emilia Romagna
C = IT

Comune di San Giovanni in Persiceto Provincia di Bologna

Impianto Agrivoltaico "San Giovanni in Persiceto" Potenza Nominale 7,51 MWp

P.A.U.R.

ai sensi dell'art.23 e 27bis del DLgs 152/2006
e dell'art.20 LR 4/2018

a cura:

studio Lusignani

via Arata 18-20
29122 Piacenza
tel. e fax 0523.454120
e.mail: glusig@tin.it

committente:

JUWI

Juwi Energie Rinnovabili srl

Via Giovanni Battista Pirelli 30, 20124 Milano
juwienergierinnovabilisrl@legalmail.it

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

Giugno 2026

PREMESSA	pag. 3
INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E TERRITORIALE	pag. 7
INQUADRAMENTO GEOLOGICO	Pag. 8
• Lineamenti geologici regionali.	Pag. 9
• Caratteristiche litologiche superficiali	Pag. 11
• Idrografia	Pag. 13
• Il Piano di Gestione Rischio Alluvioni	Pag. 15
• Perimetrazione aree allagate eventi emergenziali 2023 e 2024.	Pag. 18
• Il Piano di Tutela delle Acque	Pag. 22
• Caratteristiche idrogeologiche	Pag. 23
• Lineamenti e caratteristiche geolitologiche	Pag. 25
• Il fenomeno della subsidenza	Pag. 27
INDAGINI GEOGNOSTICHE	pag. 29
• Prove penetrometriche statiche CPT	pag. 29
• Indagine sismica HVSr	pag. 32
CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO.....	pag. 36
• Parametri geotecnici desunti dalle prove CPT: formule utilizzate	Pag. 36
MODELLO GEOTECNICO E VALORI CARATTERISTICI	pag. 39
CLASSIFICAZIONE SISMICA DELL'AREA	pag. 40
• Sollecitazioni sismiche	pag. 40
• Amplificazione topografica	Pag. 42
• Categoria di sottosuolo e coeff. di amplificazione stratigrafica	Pag. 42
• Accelerazione orizzontale massima attesa al sito ..	Pag. 43
• Analisi di disaggregazione	Pag. 43
• Microzonazione sismica	Pag. 45
• Valutazione alla suscettibilità alla liquefazione	Pag. 46
• Fattori di pericolosità geologica e rischio sismico	Pag. 56
CONCLUSIONI	pag. 57

ALLEGATI:

- Diagrammi e tabelle di calcolo dei parametri geotecnici desunti dalle prove penetrometriche statiche CPT (punta meccanica)
- Elaborazione prova sismica HVSr
- Fondamenti teorici metodo "*Robertson e Wride*" per verifica liquefacibilità terreni

PREMESSA

Il presente studio analizza le caratteristiche geologiche, geotecniche e sismiche, di un'area ubicata a oltre 3 km a Nord-Est di San Giovanni in Persiceto in località "Fondo S.Luigi"; l'area si estende su di una superficie di mq 97347.

Il progetto prevede la realizzazione di un "parco agrovoltaico" con pannelli installati a terra dotati di "inseguitore solare"; la potenza di picco prevista è pari a circa 7.5 MWp. L'area di intervento è censita al Foglio n° 66, mappali 43, 44, 47, 77, 79 e 101 31 del comune censuario di San Giovanni in Persiceto.

La soluzione di connessione alla rete di E-Distribuzione per il dispacciamento dell'energia prodotta dall'impianto agrivoltaico prevede il collegamento, mediante un cavidotto di MT interrato di lunghezza pari 1.700 m che collegherà la cabina di consegna con un'esistente cabina primaria di proprietà E-Distribuzione denominata DE001-384626 S. Giovanni in Persiceto) posta a circa 1,2 km verso ovest in fregio alla strada vicinale Puglia.

Le strutture di sostegno dei pannelli consisteranno in fondazioni a palo infisso con profondità standard di infissione di circa 2,0m.

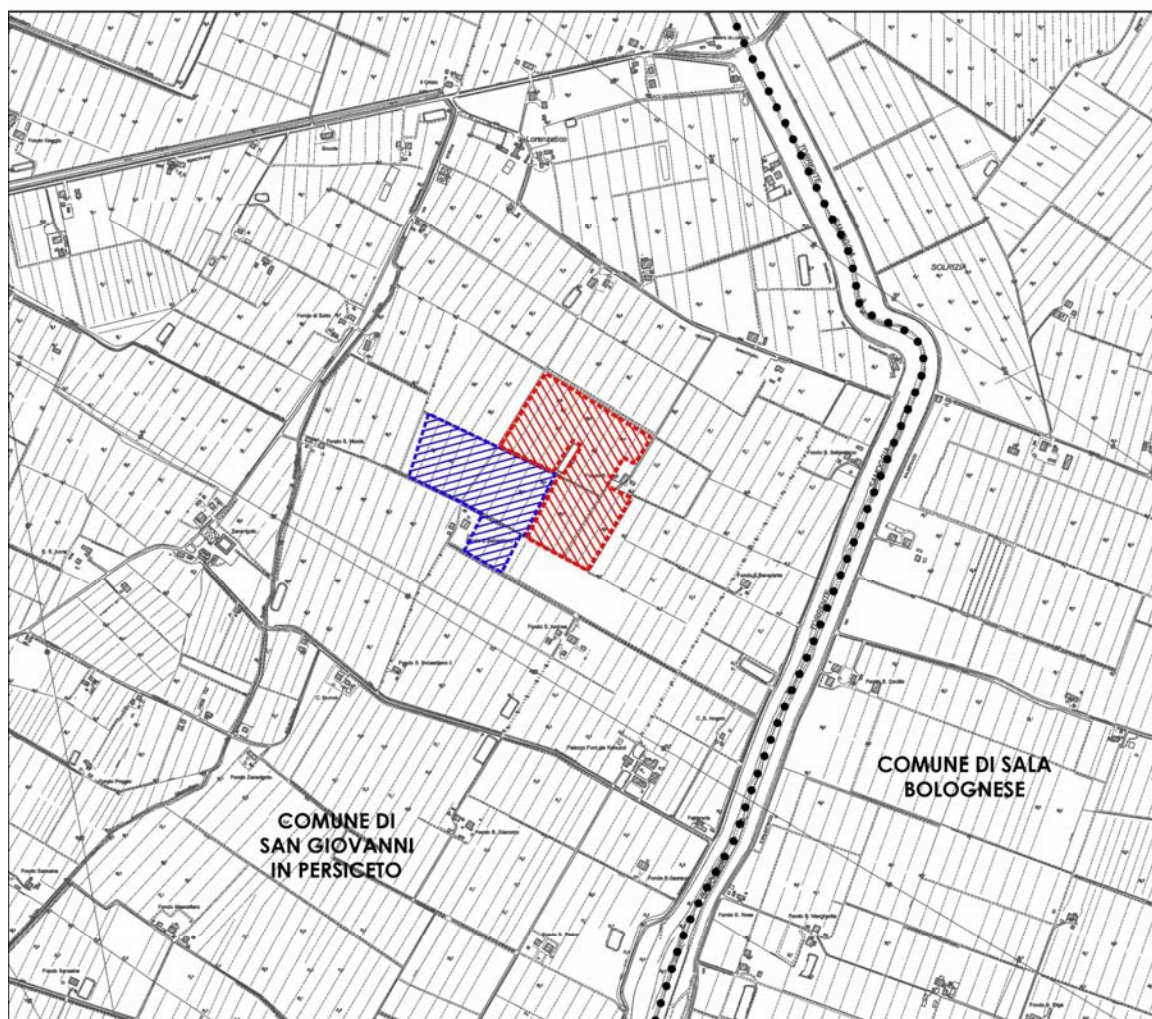
Sulla base delle indagini geognostiche eseguite nonché dalla raccolta dei dati bibliografici disponibili è stato possibile ricostruire l'assetto litostratimetrico e le caratteristiche idrogeologiche, geotecniche e sismiche del sottosuolo che sarà interessato dalle opere in progetto.

Si segnala infine che nell'area contigua a Sud-Ovest (presso le località Fondo S.Nicola e Fondo S.Sebastiano), nel febbraio 2024¹ è stato autorizzato, alla medesima Juwi Energie Rinnovabili srl, un impianto fovoltaico di potenza nominale pari a 7 MWp.

¹ A.U. 634/2024

INQUADRAMENTO TERRITORIALE

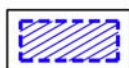
scala 1:20.000



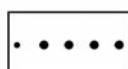
LEGENDA:



Impianto agrivoltaico in progetto



Impianto fotovoltaico "Zenerigolo 1"
(A.U. n°634 del 5/2/2024)

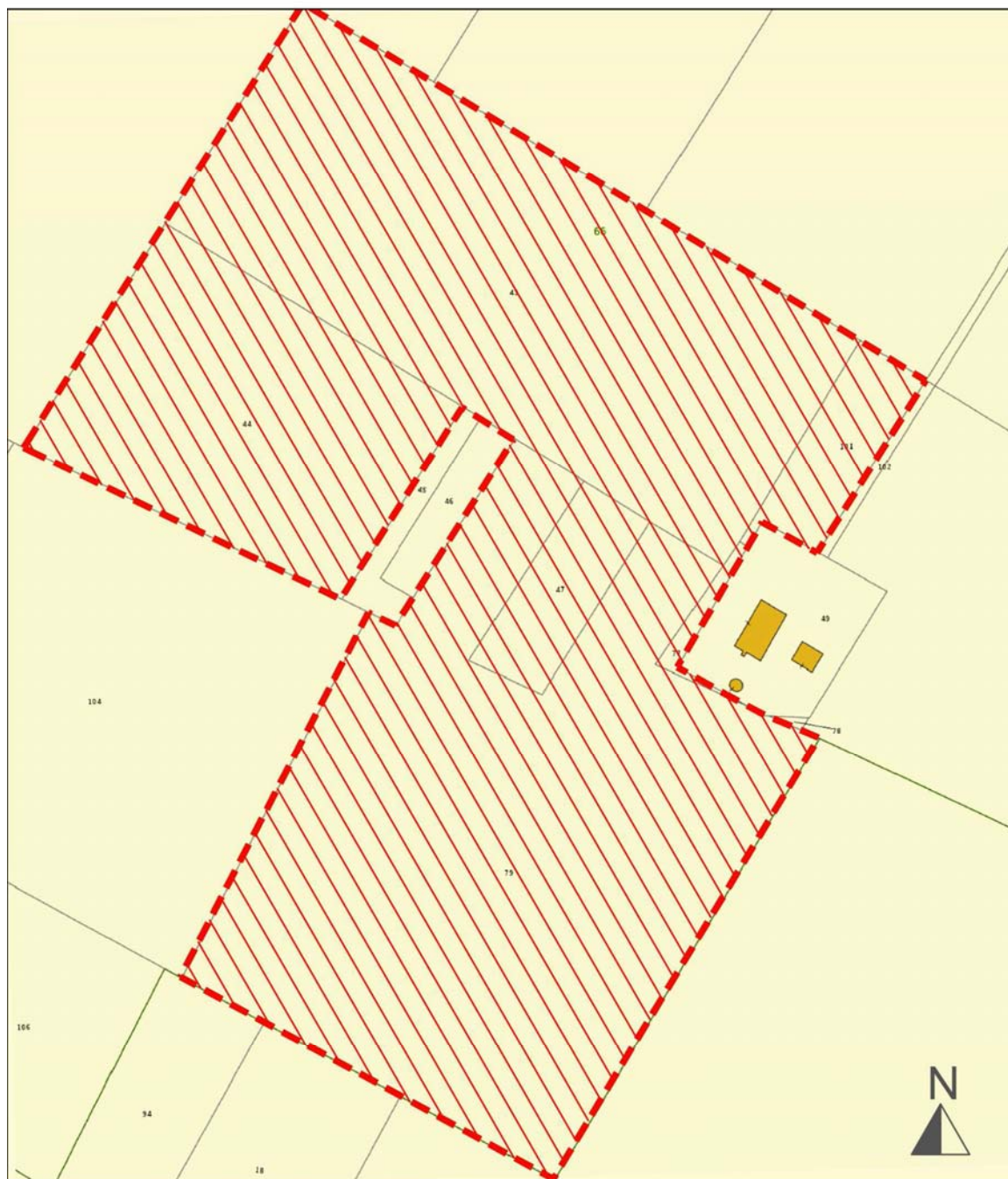


Limiti Comunali



Fig. n°1: Inquadramento territoriale

PLANIMETRIA CATASTALE scala 1:3.000



LEGENDA:



Impianto fotovoltaico in progetto,
(Comune di S.Giovanni in Persiceto, Foglio 66 map. 43, 44, 47, 77, 79, 101)

Fig.n°2: Estratto di mappa catastale

FOTO AEREA scala 1:5.000



LEGENDA:



Impianto fotovoltaico in progetto



Fig. n°3: Foto aerea dell'are di intervento



Fig. n°4 Coordinate baricentriche dell'area di intervento

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E TERRITORIALE

Il territorio del comune di San Giovanni in Persiceto si inserisce nella porzione nord-occidentale della Provincia di Bologna, incuneato fra le provincie di Modena e di Ferrara; esso si sviluppa in un'area di bassa pianura alluvionale interamente formata da depositi di corsi d'acqua di provenienza appenninica, nella fascia di interferenza fra gli alvei e i canali di delta interno del Fiume Panaro e del Fiume Reno e dei suoi affluenti Samoggia e Lavino; il territorio comunale presenta una morfologia regolare con quote che variano da Sud a Nord da circa 35 m s.l.m. a circa 15 m s.l.m.

Il sito in esame, posto nella porzione nord-orientale del territorio comunale, si colloca in aperta campagna e dista oltre 500m dalla sponda sinistra del torrente Samoggia e dalla sponda destra dello Scolo Mascellaro; il più importante "Collettore delle Acque Alte" resta ad oltre 1 km di distanza verso Nord-ovest.

La superficie deputata ad ospitare l'impianto agrivoltaico è pianeggiante ed è posta ad una quota prossima ai 21 m s.l.m.; l'area di intervento è attraversata da una linea elettrica BT aerea: nelle vicinanze è presente un modesto invaso utilizzato a scopi agricoli.



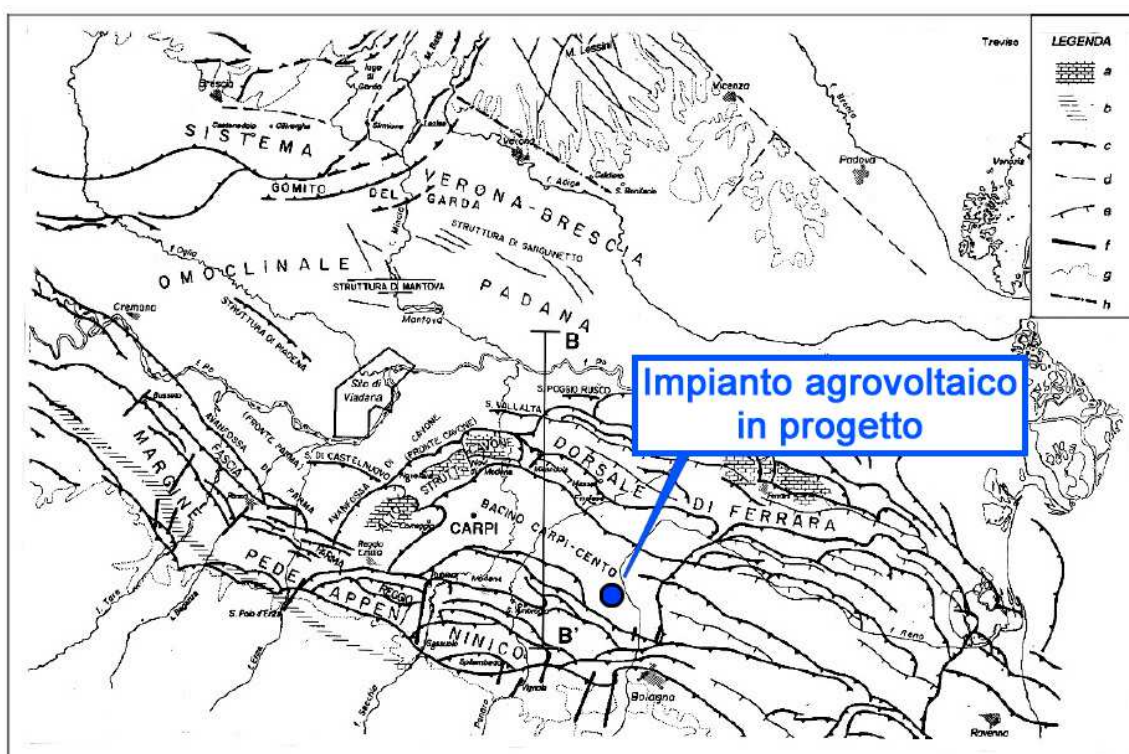
Foto n°1: Panoramica da volo SAPR dell'area di intervento

INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Lineamenti geologici regionali

L'evoluzione geologica del territorio in studio va necessariamente in primo luogo inquadrata in un contesto regionale; l'assetto geologico complessivo 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. Normalmente si è in 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) che sovrastano le strutture appenniniche sepolte, d'età Miocenica (2,4- 5,4 Milioni di Anni fa). Vi è poi la presenza di un complesso sistema di pieghe compressive e faglie, orientate da NNO a SSE, ovvero da ONO a ESE o ancora Nord-Sud. Ricadute sismiche dei movimenti delle strutture sepolte sono registrabili nella storia sismica dell'area padana entro cui l'area di intervento si inserisce.

Questo andamento ad archi di pieghe del fronte sepolto dell'Appennino, di messa in posto sempre più recente man mano si procede verso le aree più esterne, è da correlarsi con il movimento di rotazione della catena in senso antiorario, che genera raccorciamenti crostali di crescente intensità spostandosi dai settori occidentali a quelli orientali.



Legenda: a) nucleo carbonatico, mesozoico sepolto; b) minimo dell'anomalia gravimetrica; c) accavallamento principale; d) faglia verticale; e) faglia diretta; f) faglia diretta trasversale al margine appenninico; g) limite tra rilievo e pianura; h) faglia di "Verona". B-B: traccia di sezione (rif. Fig. 6.2)

- *Carta degli elementi tettonici significativi dell'area Padana centro-orientale*³

Fig. n°5: Inserimento nel contesto tettonico della pianura dell'area di intervento

Lineamenti geomorfologici generali

A scala regionale l'andamento dei paleoalvei e degli alvei attuali è stato evidentemente condizionato dall'evoluzione strutturale profonda avuta dalla Pianura Padana²; parallelamente a ciò vanno considerati anche i parametri climatici, che hanno certamente avuto un ruolo rilevante nel condizionare l'entità e la distribuzione temporale degli eventi caratterizzanti la dinamica fluviale.

Il territorio comunale è in gran parte interessato dai depositi di delta interno del fiume Panaro e più direttamente del Reno, di età medievale.

Per quanto riguarda il fiume Reno, si ritiene che in origine, uscendo da Casalecchio e dopo aver costeggiato Bologna, scorresse più verso est, dalla zona di Pescarola-Corticella alle terre più basse di Minerbio e Baricella per innestarsi in un alveo antico del Po a sud di Ferrara (detto poi Primaro).

L'attività sedimentaria fu particolarmente intensa in epoca alto medievale e poi diminuì progressivamente, cessando del tutto, in epoca piuttosto recente, solo dopo la robusta arginatura degli alvei del Panaro e del Reno. I sedimenti di riempimento di questi canali di delta interno, nel complesso piuttosto fini, sono costituiti da sabbie fini limose, passanti a limi sabbiosi e limi.

La zona in esame è caratterizzata dalla presenza di strisce rilevate, dette "dossi", corrispondenti ad alvei antichi od attuali pensili sulla pianura circostante e da zone morfologicamente depresse, dette "valli", all'interno delle quali l'acqua tenderebbe a ristagnare, se non allontanata dai canali di bonifica. I dossi e i paleodossi sono di forma generalmente allungata e sinuosa, poco rilevanti e dolcemente raccordanti alle superfici adiacenti.

Con particolare riferimento alla cartografia allegata al PSC (vedi stralcio TAV. QC.6/t2a di seguito allegata), i dossi fluviali di maggiori dimensioni si riconoscono a nord di San Giovanni in Persiceto, con sviluppo in direzione N-S parallelamente al confine comunale, a Est, lungo il corso del fiume Reno e dei torrente Samoggia e Lavino.

La distribuzione dei dossi e, più in generale, delle unità geomorfologiche degli argini naturali e dei bacini interfluviali ha condizionato e condiziona tuttora sia l'assetto idraulico di superficie che la distribuzione degli insediamenti antropici, soprattutto storici: le strutture rilevate (dossi), vere e proprie direttrici geomorfologiche, sono state infatti sede preferenziale dello sviluppo insediativo e viario, a causa della migliore difesa dalle esondazioni e delle migliori condizioni geotecniche dei terreni; al contrario le aree depresse, specie nelle zone di vera e propria conca, sono state sede di paludi ed acquitrini fino alla avvenuta bonifica.

² a dimostrazione di ciò si veda l'andamento del Fiume Po che, in corrispondenza delle propaggini occidentali della "dorsale ferrarese" devia il suo corso verso NE, mentre i corsi d'acqua appenninici sono a loro volta condizionati anche dagli elementi secondari trasversali

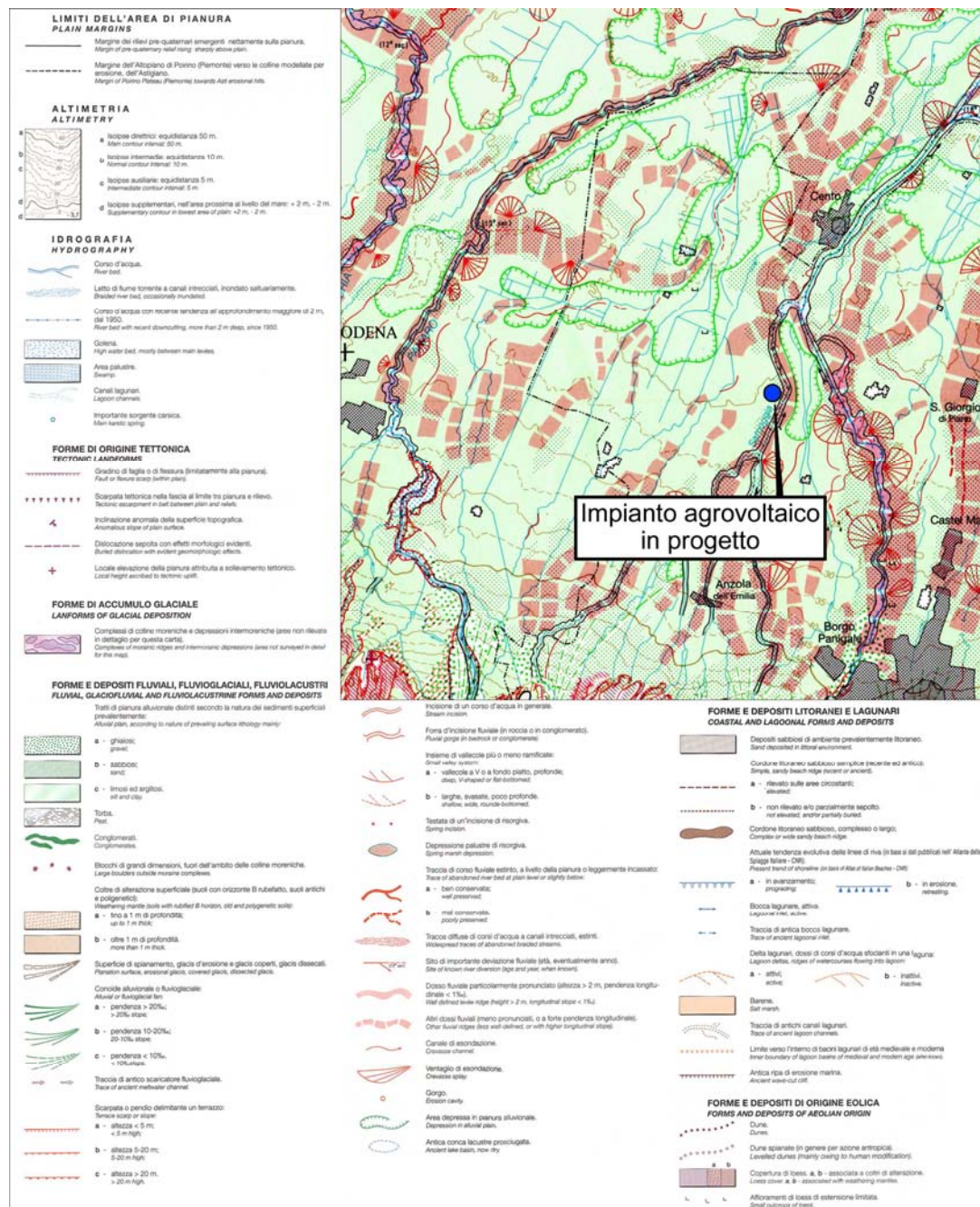
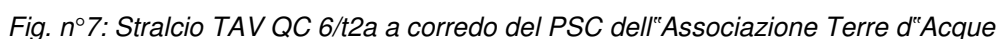


Fig. n°6: "carta geomorfologica della Pianura" Carta geomorfologica della Pianura Padana (G. B. Castiglioni e G. B. Pellegrini 1999) che illustra la complessa alternanza di corpi di paleoalveo (in rosso) e depressioni intervalvee (in verde), talvolta limitate da piccole scarpate morfologiche (linee verdi).



I litotipi presenti sono costituiti da un insieme di orizzonti lentiformi che sfumano più o meno gradualmente tra loro e che evidenziano una distribuzione non omogenea, ma legata alle passate evoluzioni idrografiche dei fiumi e corsi d'acqua che hanno generato il territorio.

La litologia superficiale del territorio in esame è prevalentemente dominata da litotipi fini e medio fini quali argille e limi con relativi termini intermedi. Da un punto di vista stratigrafico la zona in studio risulta caratterizzata da una dominante sequenza di terreni fini argillosi e limosi, ai quali si intercalano lenti e livelli di terreni più grossolani, rappresentati da sabbie e sabbie limose, di spessore metrico, per poi tornare a terreni fini continui fino ad almeno 30 metri, in buon accordo con i risultati delle prove penetrometriche effettuate.

Vi è da notare che i terreni prevalentemente grossolani, sabbiosi-limosi, corrispondono in genere alle zone topograficamente più rilevate e rappresentano paleoalvei dei corsi d'acqua sia principali sia minori, che divagavano in epoche recenti, mentre i terreni più fini, argillosi, corrispondono alle zone vallive e/o depresse (quale il caso in esame).

La morfologia pianeggiante dell'area è quasi perfettamente piana, con pendenze molto blande verso N-NE, nell'ordine del 1-2 per mille con quote medie del piano campagna di circa 15 metri s.l.m.

Attualmente l'evoluzione geomorfologica dell'area è per lo più imputabile all'uomo, che con la propria azione ha in parte inibito i fattori morfogenetici naturali, assumendo un ruolo predominante nelle trasformazioni del paesaggio.

Si riporta, di seguito, un estratto su base semplificata della Carta della litologia di superficie (QC.6/t1) del quadro conoscitivo del PSC Terre d'acqua (QC.6/R).

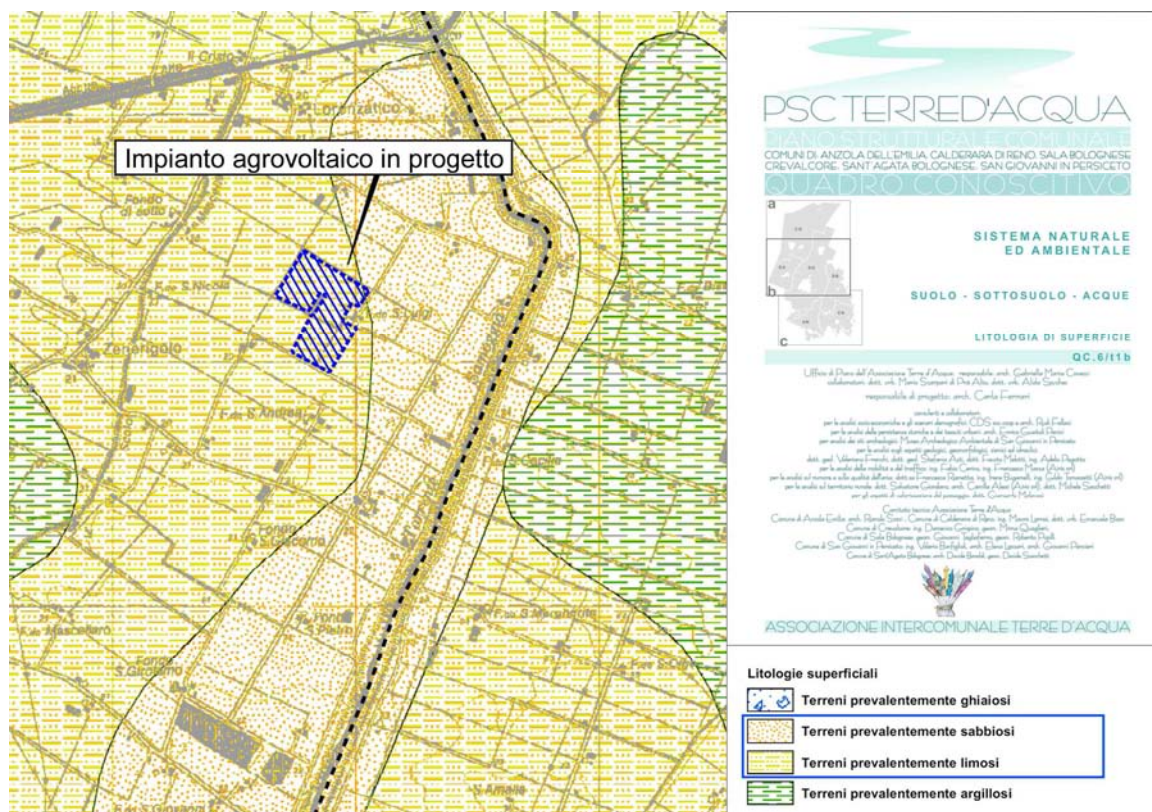
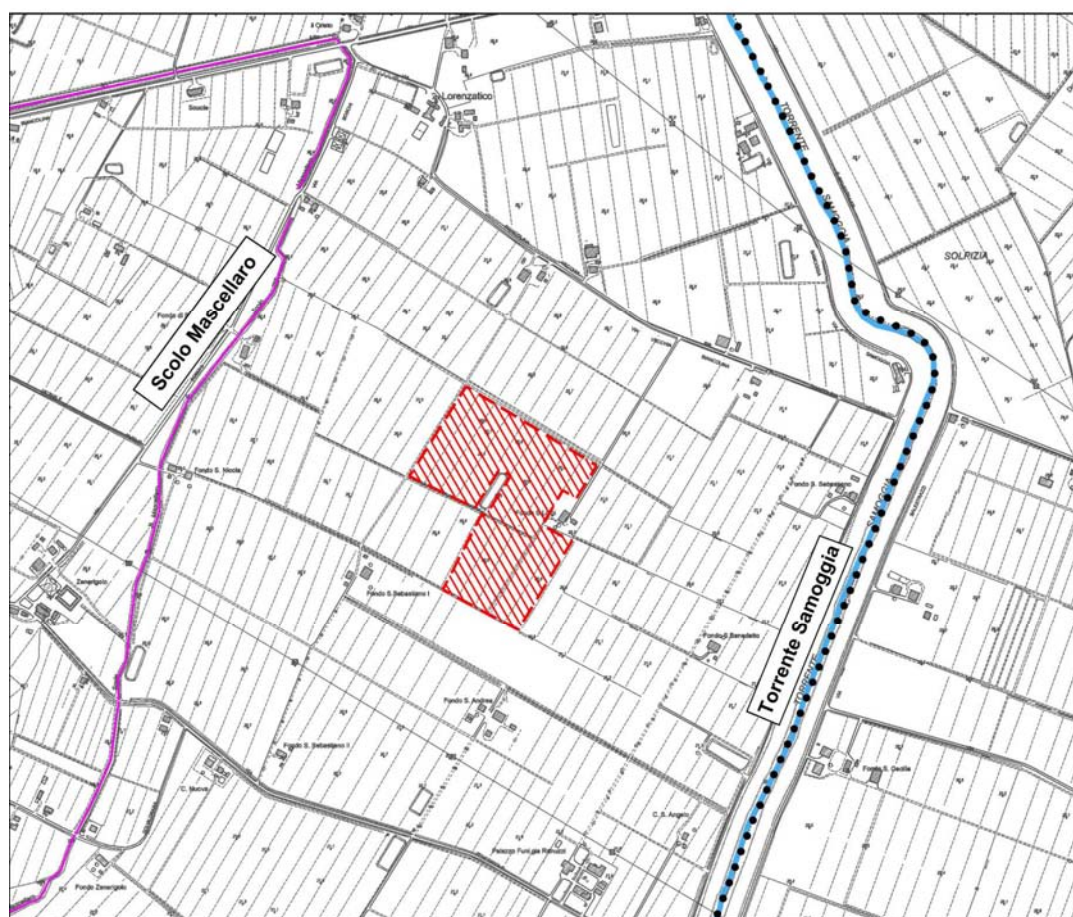


Fig. n°8: Stralcio TAV QC 6/t1b a corredo del PSC dell'Associazione Terre d'Acqua

Idrografia

Dal punto di vista di "area vasta" l'elemento idrografico di maggior rilievo è costituito F. Reno che interessa i territori comunali di Calderara di Reno, Sala Bolognese e San Giovanni in Persiceto per una lunghezza complessiva di circa 23 Km; lungo il proprio tracciato si presenta completamente arginato con alveo incassato che si amplia a tratti a formare casse di espansione. Più in particolare, l'area di intervento è situata all'interno del bacino scolante compreso tra il Canale di Bonifica "Scolo Mascellaro Inf." ad Ovest e il corso del "Torrente Samoggia" ad Est che scorre ad oltre 500 m di distanza dal suo confine orientale; nel suo intorno l'idrografia è costituita dalla presenza di canali artificiali ad uso scolante, irriguo e promiscuo finalizzati al drenaggio delle acque di circolazione superficiale verso i corsi d'acqua principali.



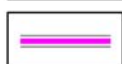
LEGENDA:



Impianto agrivoltaico in progetto



Reticolo di competenza del Consorzio della Bonifica Burana:



Reticolo idraulico naturale (Torrente Samoggia)

Canale di Bonifica (Scolo Mascellaro Inf.)



Fig. n°9: Carta dell'idrografia di superficie

In base alla TAV. QC.6/t5a “*Criticità Idrauliche*” del PSC, l’area in esame rientra nelle che sono state soggette fra il 1983 e il 1999 ad una subsidenza compresa fra 600 e 800 mm; si sottolinea che il reticolo idrografico principale è gestito dal Consorzio della Bonifica Burana. A tale riguardo l’istanza è stata corredata da “Relazione di invarianza idraulica”; si ringrazia la disponibilità dei funzionari del Consorzio che hanno gentilmente fornito le indicazioni idrauliche per la sua stesura.

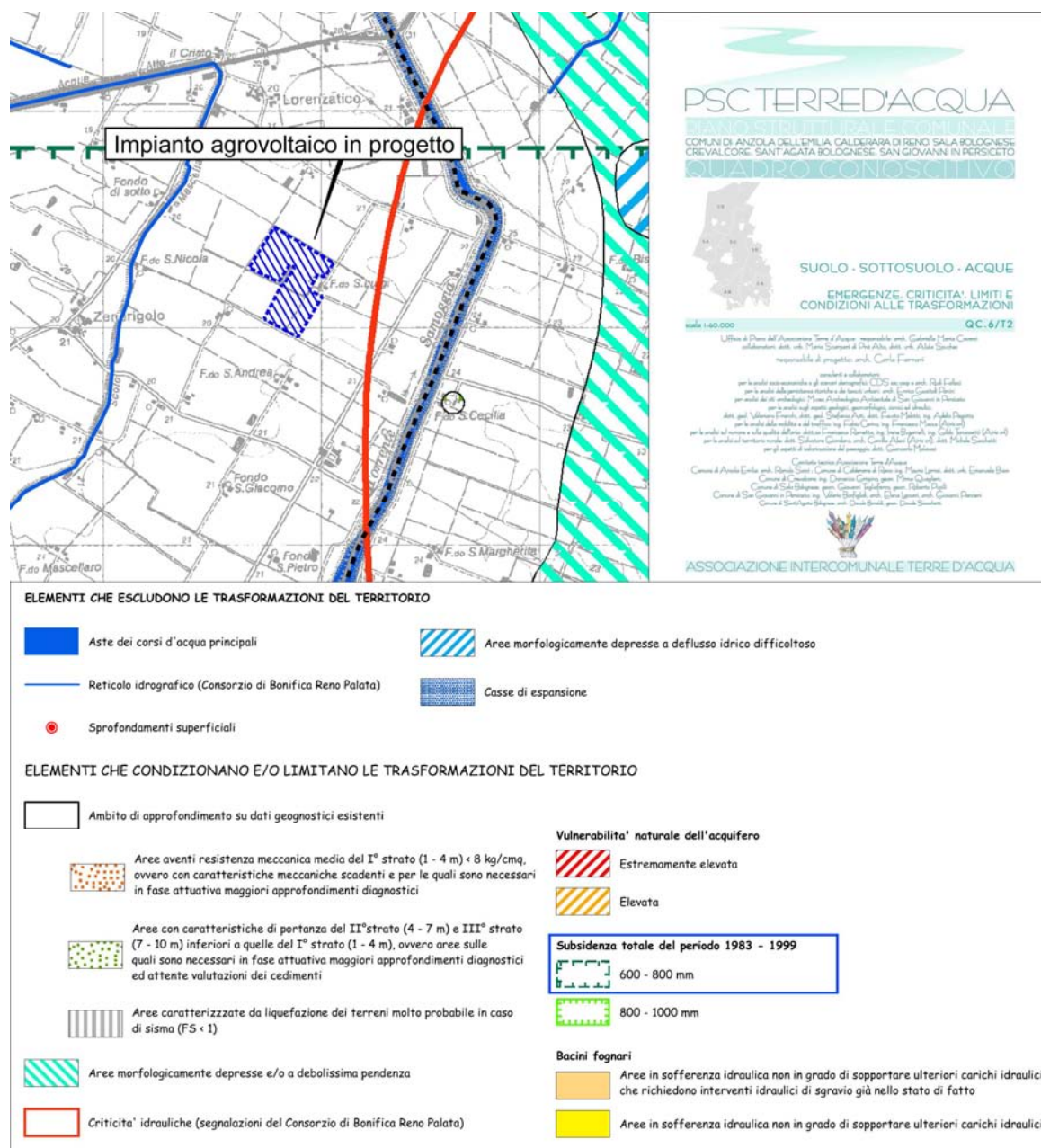


Fig. n°10: Stralcio TAV. QC.6 T2a "Emergenze criticità limiti e condizioni alle trasformazioni" a corredo del PSC dell'Associazione Terre d'Acqua

Il Piano gestione rischio alluvioni

Il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni è l'insieme di misure e strumenti che riguardano gli aspetti della gestione del rischio di alluvioni: ha come obiettivo la riduzione delle conseguenze negative delle inondazioni attraverso l'attuazione prioritaria di interventi non strutturali, di azioni per la riduzione della pericolosità e pratiche sostenibili. E' predisposto dall'Autorità di Bacino distrettuale e dalle Regioni del Distretto Idrografico, in coordinamento tra loro e con il Dipartimento Nazionale di Protezione civile. Le Mappe della Pericolosità da Alluvione rappresentano l'estensione potenziale delle inondazioni causate dai corsi d'acqua (naturali ed artificiali) con riferimento a tre scenari:

- scarsa probabilità di alluvioni (P1, pericolosità bassa);
- alluvioni poco frequenti (P2, pericolosità media);
- alluvioni frequenti (P3, pericolosità elevata).

Gli scenari sopra descritti sono rappresentati in carta con tre tonalità di blu', associando al diminuire della frequenza di allagamento il diminuire dell'intensità del colore.

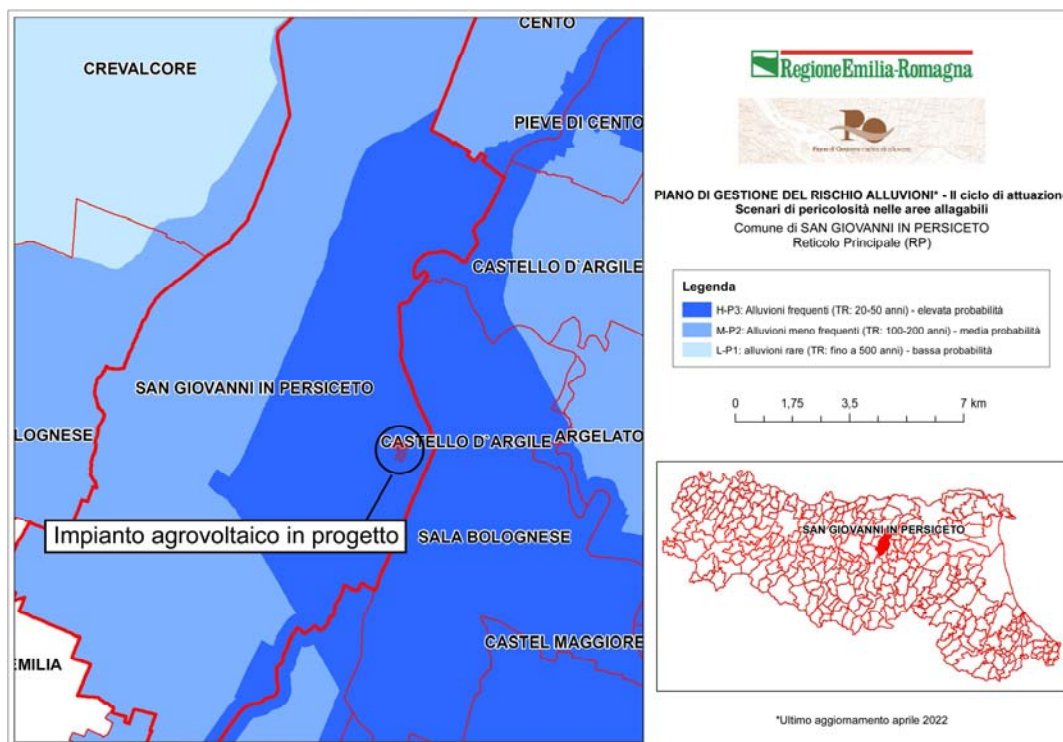


Fig. n°11: Inquadramento dell'area oggetto di intervento su base Direttiva Europea 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni Mappa della pericolosità e degli elementi potenzialmente esposti (art. 6 della Direttiva 2007/60/CE e art. 6 del D.Lgs. 49/2010). Ambito territoriale: Reticolo Principale; come si può notare le aree in studio sono interessate da uno scenario di elevata probabilità dovuto ad alluvioni frequenti.

Le Mappe del Rischio indicano invece la presenza degli elementi potenzialmente esposti³ che ricadono nelle aree allagabili e la corrispondente rappresentazione in 4 classi di rischio:

- R4 molto elevato – viola (in carta)

³ popolazione coinvolta, servizi infrastrutture, attività economiche, etc.

- R3 elevato - rosso
- R2 medio - arancione
- R1 moderato (o nullo) – giallo.

Dall'analisi degli stralci riportati si evince come il territorio interessato dal futuro campo agrivoltaico, relativamente al "**Reticolo naturale Principale**" (RP) ricada in area allagabile, dal F. Reno e T. Samoggia, a cui è associato un livello di probabilità elevato (alluvioni frequenti TR 20 - 50anni) e di rischio medio.

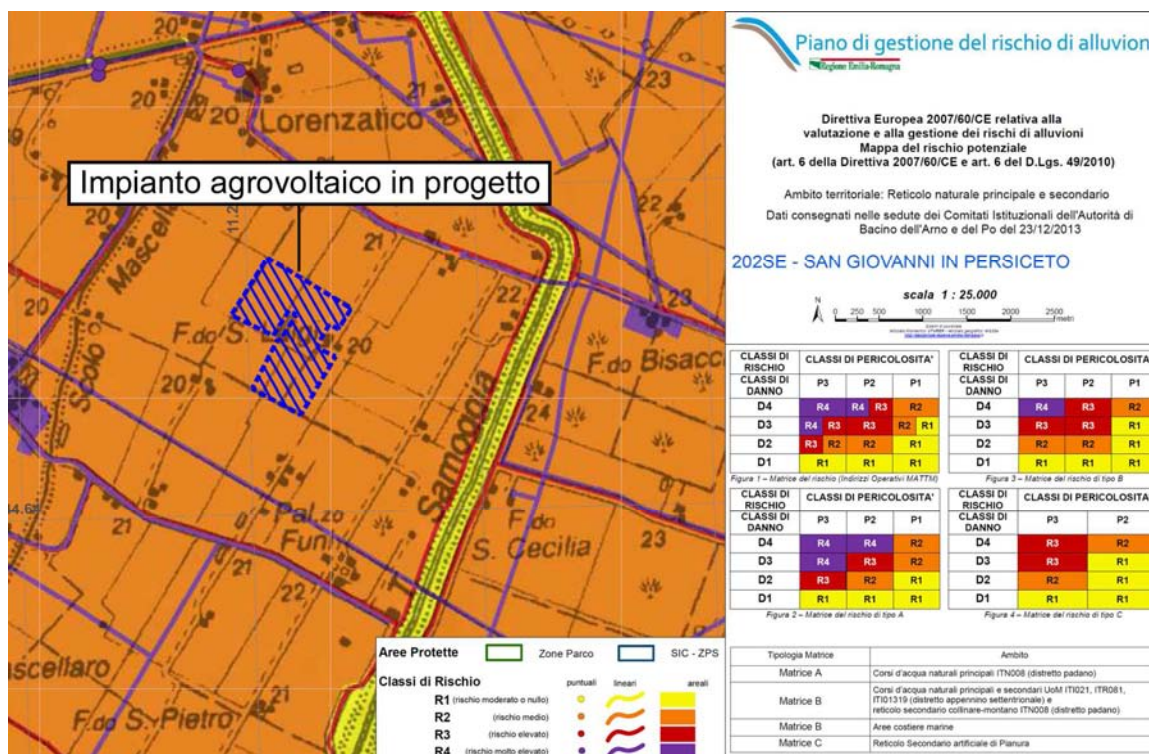


Fig. n°12: Inquadramento dell'area in studio su base Direttiva Europea 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni Mappa del rischio potenziale (art. 6 della Direttiva 2007/60/CE e art. 6 del D.Lgs. 49/2010). Ambito territoriale: Reticolo Secondario di Pianura; come si può notare le aree in studio sono interessate da una classe di rischio "moderato".

Per quanto concerne il "**Reticolo secondario di pianura**" (RSP) è costituito dai corsi d'acqua secondari di pianura gestiti dai Consorzi di bonifica e irrigui. La perimetrazione delle aree potenzialmente allagabili è stata effettuata con riferimento agli scenari di alluvione frequente (P3) e poco frequente (P2) previsti dalla Direttiva. Il metodo di individuazione delle aree soggette ad alluvioni è stato di tipo prevalentemente storico - inventariale e si è basato sugli effetti di eventi avvenuti generalmente negli ultimi 20-30 anni in quanto ritenuti maggiormente rappresentativi delle condizioni di pericolosità connesse con l'attuale assetto del reticolo di bonifica e del territorio. A questa tipologia di aree si aggiungono limitate zone individuate mediante modelli idrologico – idraulici e aree delimitate sulla base del giudizio esperto degli Enti gestori in relazione alla incapacità, più volte riscontrata, del reticolo a far fronte ad eventi di precipitazione caratterizzati da tempi di ritorno superiori (in media) a 50 anni (individuato come tempo di ritorno massimo relativo allo scenario P3).

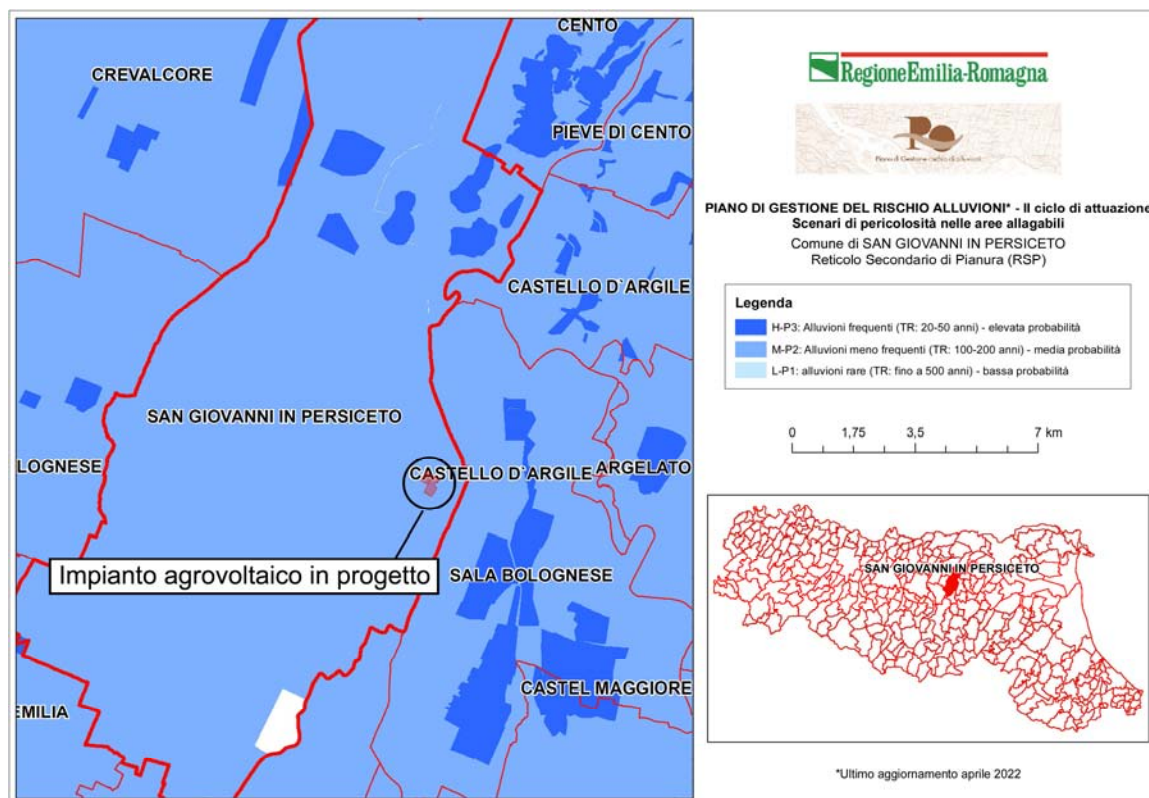


Fig. n°13: Inquadramento dell'area oggetto di intervento su base Direttiva Europea 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni Mappa della pericolosità e degli elementi potenzialmente esposti (art. 6 della Direttiva 2007/60/CE e art. 6 del D.Lgs. 49/2010). Ambito territoriale: Reticolo Secondario di Pianura; come si può notare le aree in studio è interessata da uno scenario di media probabilità per alluvioni meno frequenti (TR 100/200anni);

Stante le caratteristiche proprie del reticolo, nello scenario di alluvione poco frequente (P2), l'inviluppo delle aree potenzialmente allagabili, coincidente con gran parte dei settori di pianura dei bacini idrografici, ha carattere indicativo e necessita di ulteriori approfondimenti di tipo conoscitivo. Ne deriva che l'estensione delle aree interessate da alluvioni rare (P1) è ricompresa, di fatto, nello scenario P2. Le alluvioni dovute ad esondazione del reticolo artificiale di bonifica, seppure caratterizzate da alta frequenza, presentano tiranti e velocità esigui che danno origine a condizioni di rischio medio (R2) e moderato/nullo (R1) e in casi limitati, prevalentemente situati in zone urbanizzate e insediate interessate da alluvioni frequenti, a condizioni di rischio elevato (R3). La mitigazione delle condizioni di rischio per il patrimonio edilizio esistente si fonda su azioni di protezione civile ed eventualmente di autoprotezione e di protezione passiva. Risulta evidente come la zona in esame risulti soggetta ai rischi legati prevalentemente al Torrente Reno e Samoggia evidenziati nella cartografia di seguito allegata.

Il sistema idraulico Reno-Samoggia negli ultimi dieci anni ha evidenziato situazioni di crisi in caso di piene straordinarie, dando luogo a rotte e allagamenti. È stato pertanto avviato, da parte dell'autorità di bacino, un programma di riassetto idraulico di questi corsi d'acqua.

Tali criticità idrauliche trovano conferma e rappresentazione anche nei recenti studi a corredo del P.T.M. (vedasi Tavole di seguito allegate).

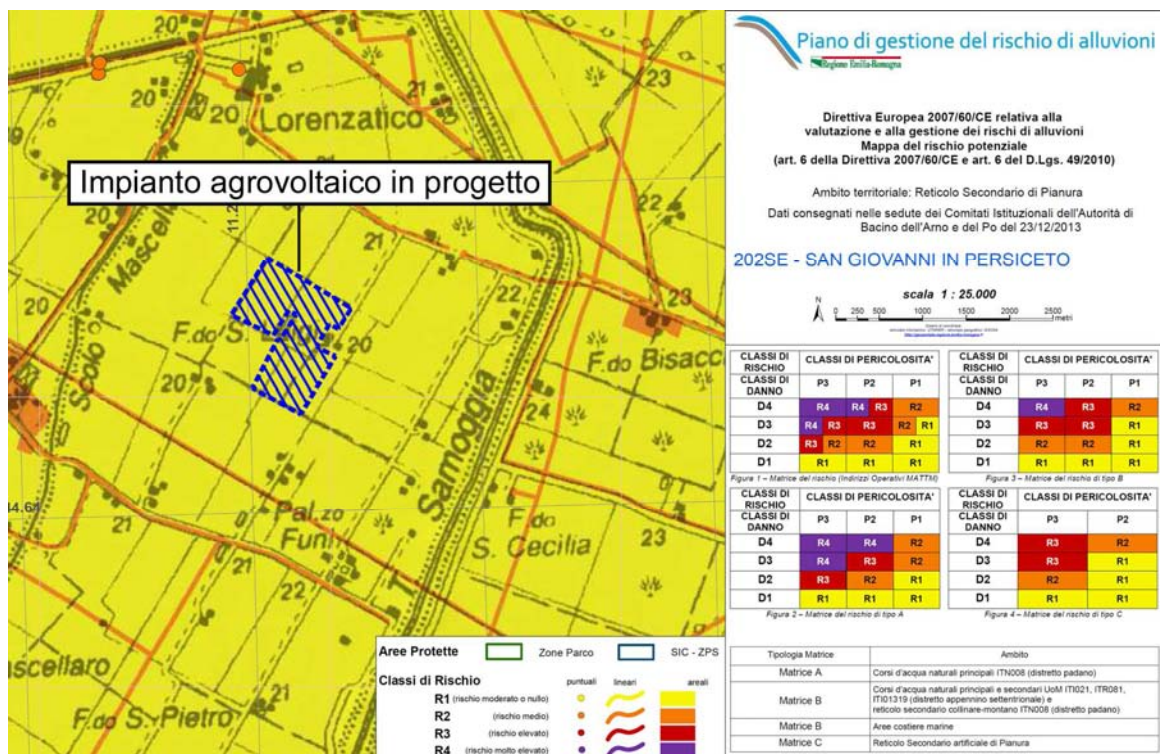


Fig. n°14: Inquadramento dell'area oggetto di intervento su base Direttiva Europea 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni Mappa del rischio potenziale (art. 6 della Direttiva 2007/60/CE e art. 6 del D.Lgs. 49/2010). Ambito territoriale: Reticolo Secondario di Pianura; come si può notare le aree in studio sono interessate da alcuna classe di rischio moderata o nulla.

Perimetrazione aree allagate eventi emergenziali 2023 e 2024

Di seguito si riportano le perimetrazioni dei territori allagati durante gli eventi di rotta avvenuti tra il 2-4 maggio 2023 e tra il 16-17 maggio 2023 e gli eventi dell'ottobre 2024 e settembre 2024 in Regione Emilia-Romagna, tratti dal geoportale 3D RER, ove viene evidenziato che l'area in studio non è stata soggetta ad alluvionamento.

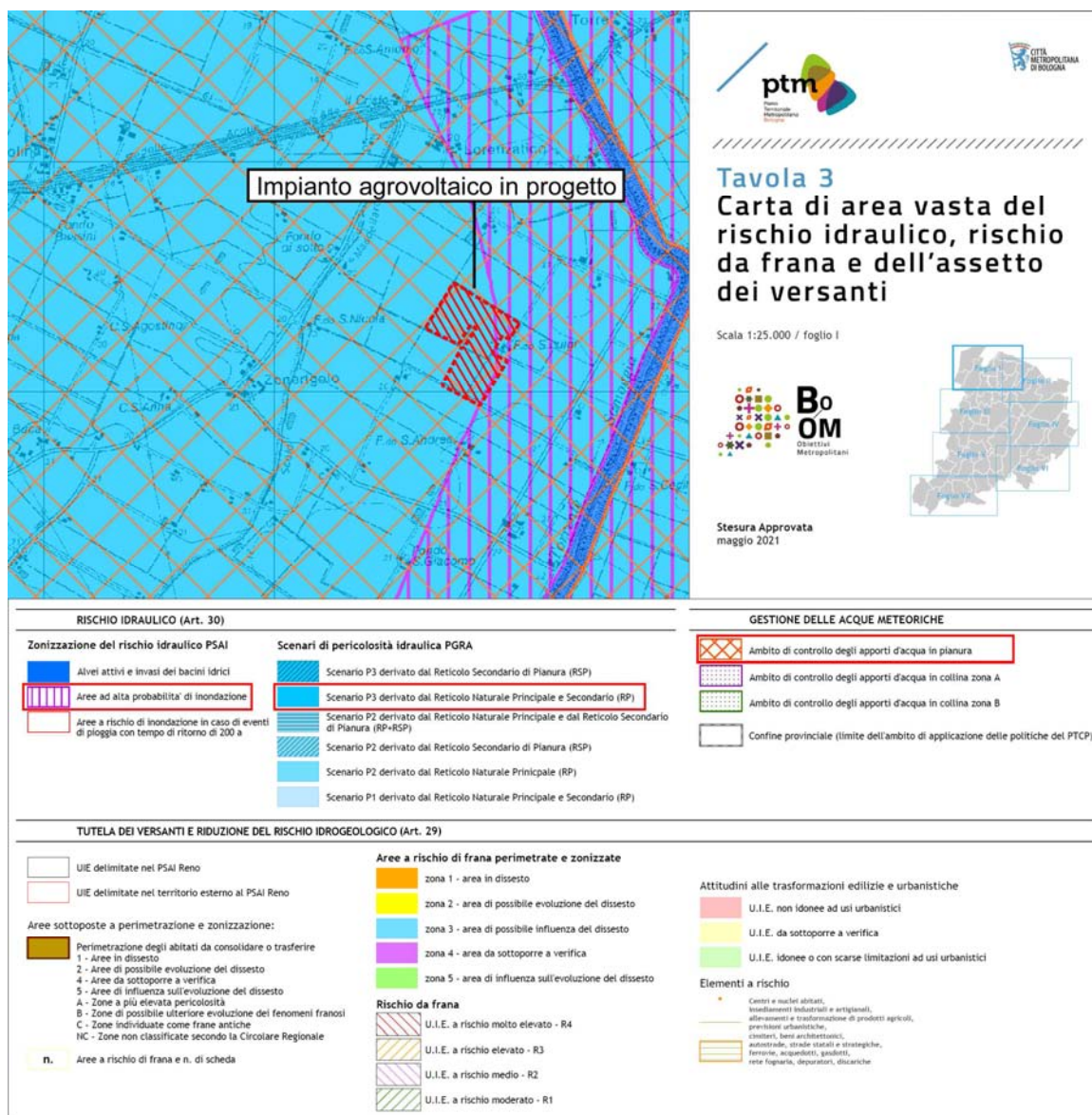


Fig. n° 15: Stralcio All. 3 a corredo del PTM

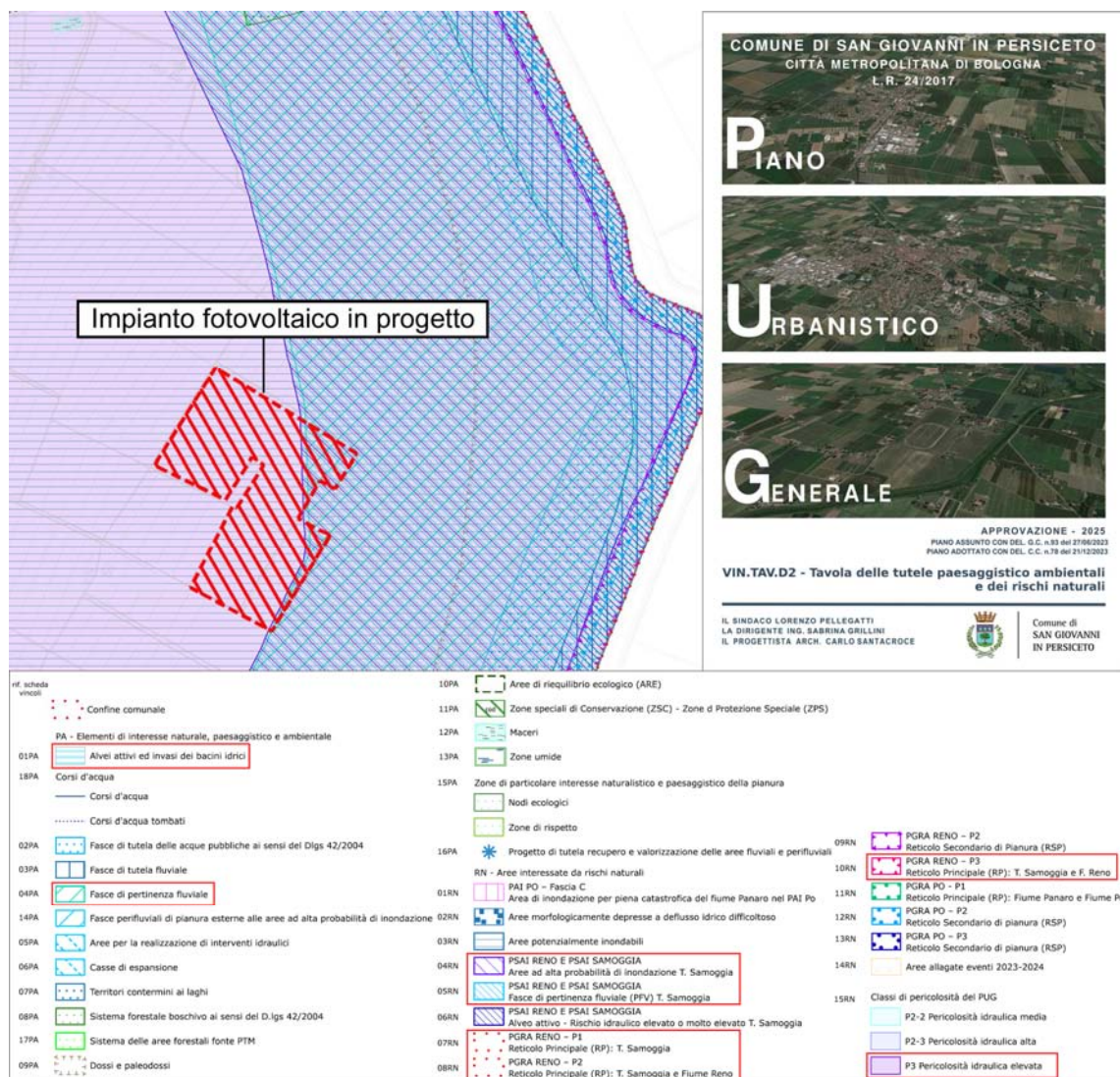


Fig. n°16: Stralcio Vin D2 a corredo del PUG



Fig. n°17: Stralcio aree allagate anni 2023 e 2024 - Geoportale 3D della RER

IL PTA

In coerenza con la Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60/CE (DQA) e il D.lgs. 152/2006, il Piano di Tutela delle Acque è un piano di settore di tipo "strategico" e uno strumento regionale volto a raggiungere gli obiettivi di qualità ambientale nelle acque interne e costiere del proprio territorio e a garantire un approvvigionamento idrico sostenibile nel lungo periodo e per le generazioni future.

A distanza di 18 anni dalla elaborazione del Piano di Tutela delle Acque (PTA 2005) la Regione Emilia-Romagna ha avviato il processo di elaborazione del nuovo Piano di Tutela delle Acque che avrà un orizzonte temporale al 2030 (PTA 2030)

Il nuovo Piano nasce in un contesto fortemente influenzato dai cambiamenti climatici in atto che generano una diversa distribuzione delle precipitazioni ed un aumento delle temperature, incidendo da un lato sul deficit idrico e dall'altro sul verificarsi di eventi alluvionali significativi..

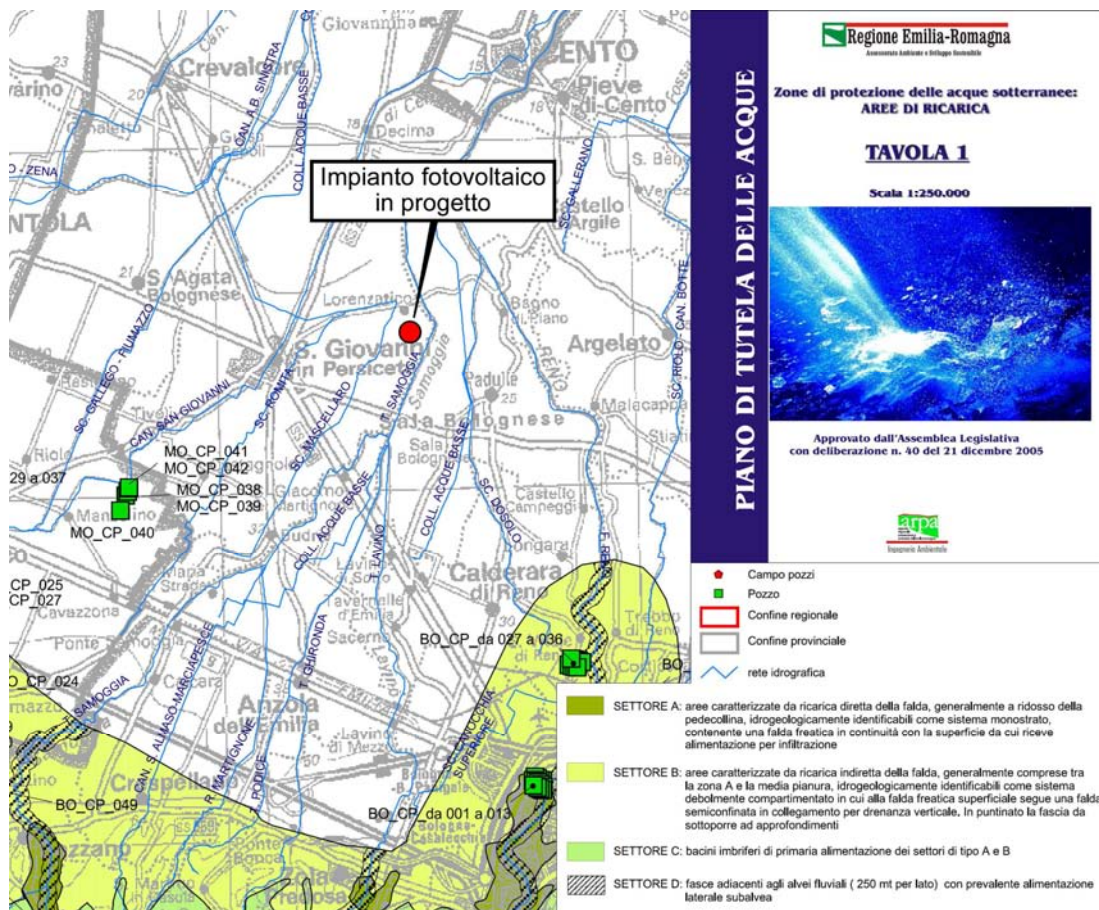


Fig. n°18: il PTA Vigente

Ciò premesso, l'impianto agrivoltaico ricade all'interno del complesso idrogeologico della "Pianura alluvionale appenninica"; in quest'area uno fra i principali obiettivi per le acque superficiali è quello di ridurre il carico inquinante.

Caratteristiche idrogeologiche

Dal punto di vista idrogeologico la zona in studio è caratterizzata da una falda freatica disposta in generale a profondità modesta dal piano di campagna. Tale falda, cosiddetta libera, è caratterizzata da bassi valori di trasmissività, da una variabilità del proprio livello in stretta relazione con gli apporti meteorici e con la rete di canalizzazione, essendo alimentata prevalentemente per infiltrazione superficiale. Nello specifico dell'area in esame, le verticali penetrometriche eseguite nel febbraio/marzo 2026 (periodo da considerarsi di alto piezometrico), si sono occlusi a circa 2 m metri dal p.c.; la bibliografia e gli studi a corredo del PSC segnalano che, in alcuni periodi dell'anno, il livello freaticometrico può attestarsi infatti da 2 m a circa 4,5 m dal piano campagna.

In base alla Tav QC.6 T10a "Vulnerabilità naturale acquifero" del PSC, l'area in esame è compresa nell'areale caratterizzato da "vulnerabilità media" dove risultano predominanti litologie superficiali prevalentemente fini, l'acquifero è confinato ed il tetto delle ghiaie si approfondisce ben oltre i 15 m.

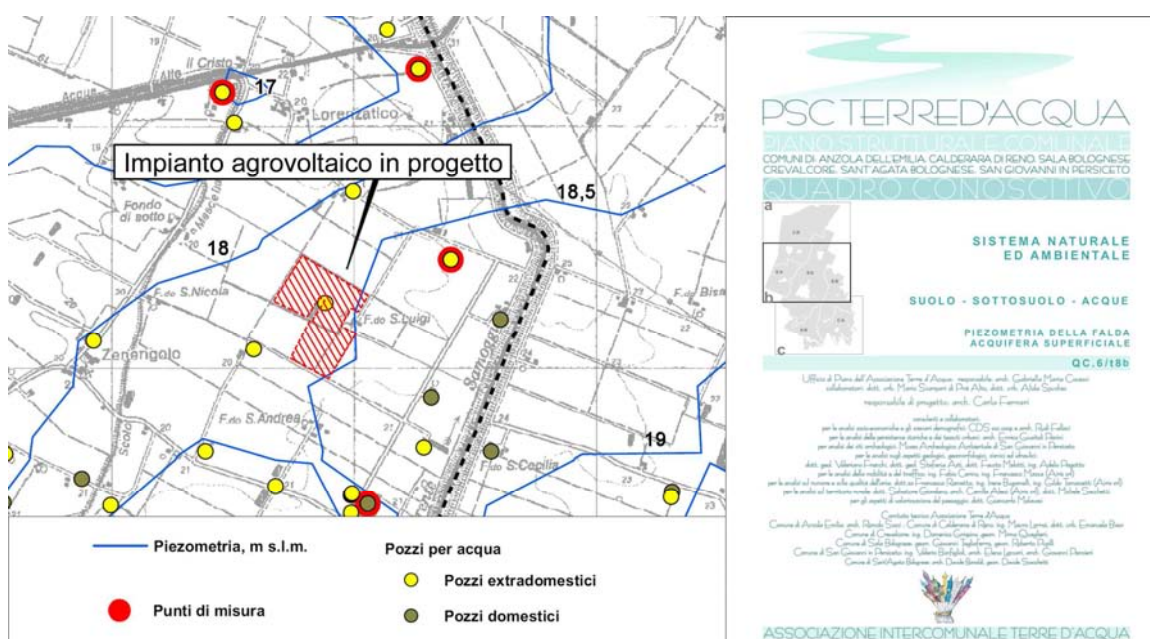


Fig. n°19: Stralcio TAV. QC.6 T8a "Piezometria della falda acquifera superficiale" del PSC dell'Associazione Terre d'Acqua

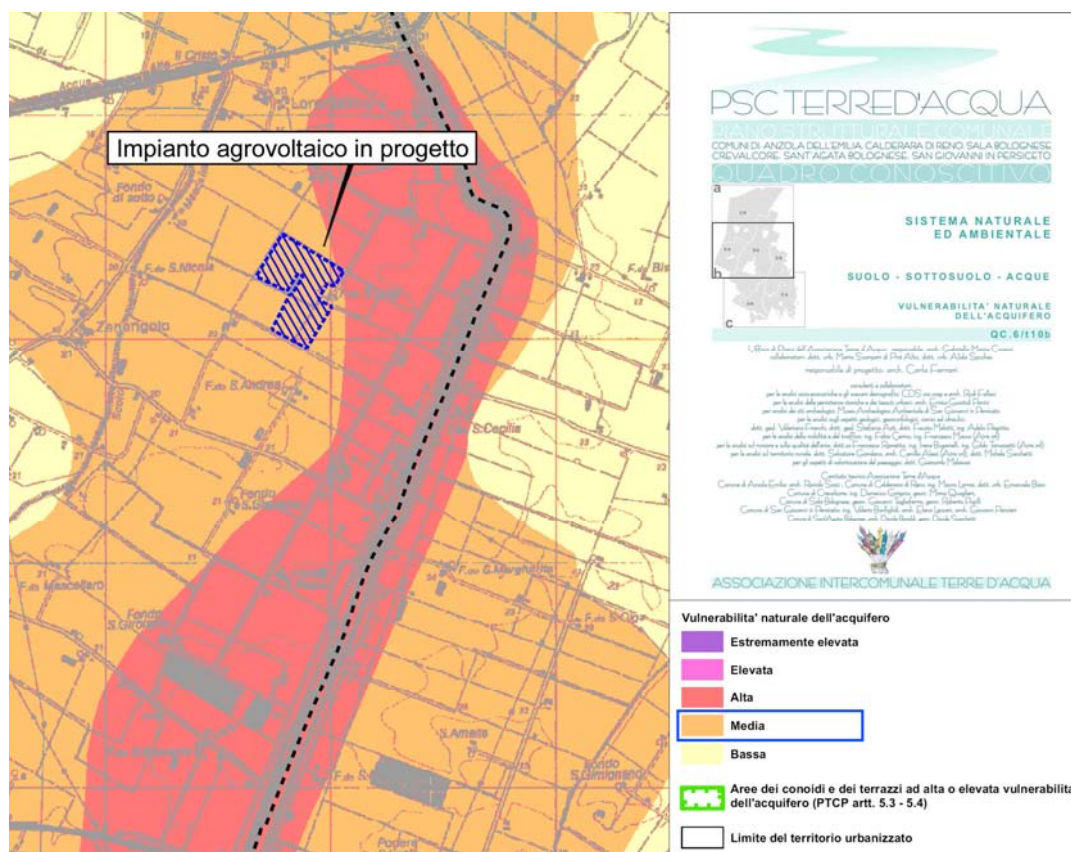


Fig. n°20: Stralcio TAV. QC.6 T10a "Vulnerabilità naturale acquifero" del PSC dell'Associazione Terre d'Acque



Foto n°2: Fasi dell'esecuzione della prova CPT1

Lineamenti e caratteristiche geolitologiche

La Carta Geologica d'Italia scala 1:100.000 (Foglio 75 "Mirandola"), indica per l'area in esame, un sottosuolo costituito da depositi fluvioglaciali e fluviali della piana alluvionale che hanno colmato il bacino padano tra il Pleistocene superiore e l'Olocene ove prevalgono i termini argilloso-limosi e limoso sabbiosi.

Ciò premesso la Carta Geologica in scala 1:10.000 redatta dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna, di cui si riporta stralcio, individua coperture quaternarie attribuite al Subsistema di Ravenna (AES8) e in particolare all'Unità di Modena (AES8a). I sedimenti alluvionali del Subsistema di Ravenna (AES8) sono costituiti da depositi fluviali intravallivi e di piana alluvionale, di piana di sabbia litorale e, nel settore a mare, di prodelta e transizione alla piattaforma. Il Subsistema contiene un'unità di rango gerarchico inferiore (AES8a) che, dove presente, ne costituisce il tetto stratigrafico. Spessore massimo di 20-25 metri. L'età è fatta corrispondere al Pleistocene superiore – Olocene. I depositi attribuiti all'Unità di Modena (AES8a) sono costituiti da ghiaie, sabbie, limi ed argille di canale fluviale, argine e piana inondabile; sabbie e ghiaie di cordone litorale e di barra di foce; argille e limi di prodelta e di transizione alla piattaforma. Il limite superiore è sempre affiorante e coincidente con il piano topografico dato da un suolo calcareo di colore bruno olivastro e bruno grigiastro. In particolare, la situazione litostratigrafica dell'area in studio, dedotta sulla base delle stratigrafie note di pozzi idrici e dalle numerose prove penetrometriche e sondaggi a carotaggio, contenuti nei recenti studi di "Microzonazione Sismica", può essere definita come costituita da un orizzonte superficiale limoso-sabbioso al di sotto del quale si sviluppa un complesso prevalentemente argilloso-limoso fino a circa 10-11 metri di profondità, cui seguono depositi sabbiosi, localmente ghiaiosi, molto addensati.

In base a quanto sopra descritto, per l'area in oggetto, si può ragionevolmente affermare che non sussistano potenziali controindicazioni di carattere geologico che possano impedire e/o condizionare la realizzazione dell'impianto; si consiglia, prima dell'inizio dei lavori, di approfondire la conoscenza delle reali caratteristiche del terreno anche con l'esecuzione di prove di pull-out .

CARTA GEOLOGICA

(tratta da **Cartografia Geologica della Regione Emilia Romagna**)
scala 1:10.000

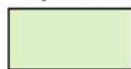


LEGENDA:



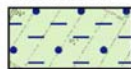
Impianto fotovoltaico in progetto

Coperture Quaternarie

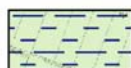


AES8a - Unità di Modena

Ambienti deposiz. e litologie



Limo Sabbioso - Piana alluvionale



Limo Argilloso - Piana alluvionale



Fig. n°21: Carta geologica tratta dal webgis della RER

Il fenomeno della subsidenza

Nell'area in studio il fenomeno della subsidenza è nota da tempo, ed è fonte di problemi di una certa gravità. In un'area di pianura poco acclive quale quella in esame, anche deboli variazioni nella forma del piano campagna rischiano di generare problematiche al corretto funzionamento della rete scolante; questo inconveniente è già oggi segnalato dalle Autorità di Bacino Regionali, che si scontrano con frequenti difficoltà nel garantire il funzionamento di alcuni importanti canali della zona.

L'andamento recente del fenomeno (1992-2021) è stato analizzato attraverso le cartografie rese disponibili sul portale cartografico di ARPAE; possibile affermare che l'evoluzione del fenomeno nell'areale in studio sia relativamente limitato e caratterizzato da valori in lieve diminuzione, passando da un abbassamento di 27,5/30 mm/anno nel periodo 1992-2000 ad un valore di 15 mm/anno nel periodo 2016-2021.

Da quanto sopra è possibile concludere che, analizzato il trend (in costante diminuzione) e la sua entità, il fenomeno non potrà generare particolari criticità sull'utilizzo previsto dell'area.

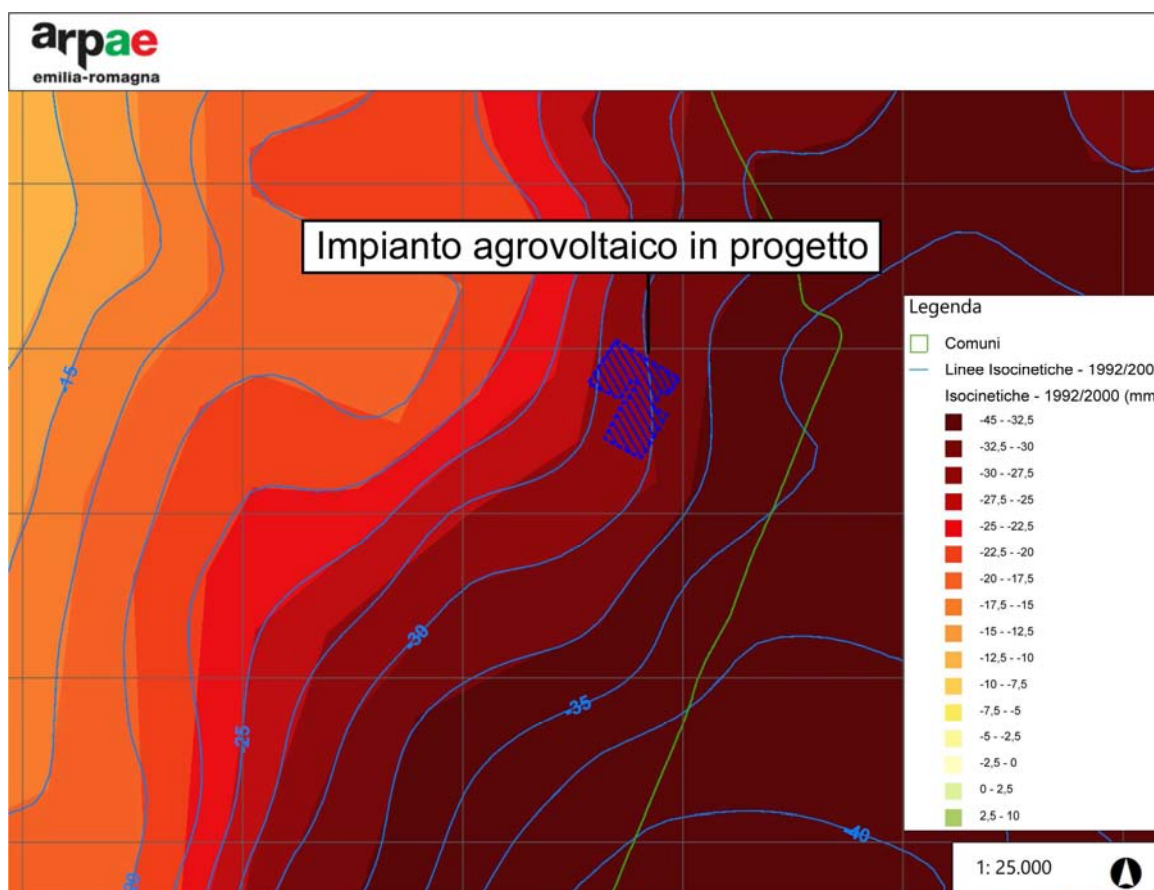


Fig. n°22: Carta delle velocità di movimento verticale del suolo – periodo 1992-2000 (mm/anno) (dal Portale cartografico ARPAE)

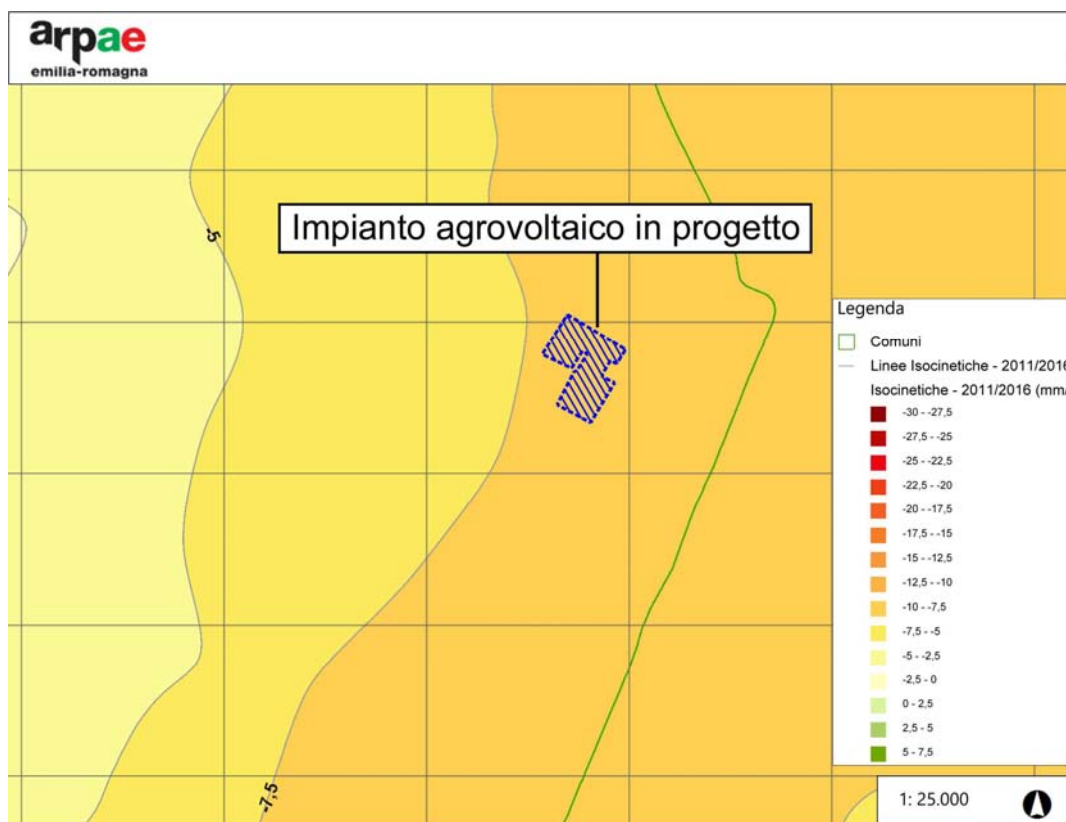


Fig. n°23: Carta delle velocità di movimento verticale del suolo – periodo 2011-2016 (mm/anno) (dal Portale cartografico ARPAE)

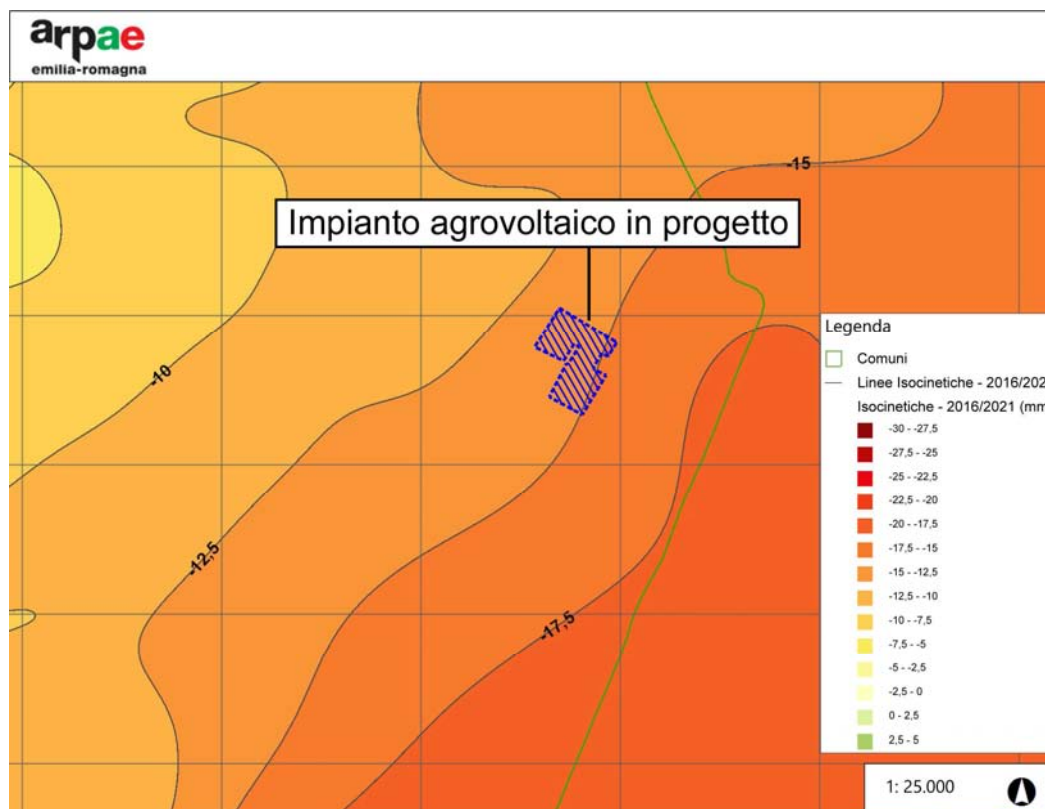


Fig. n°24: Carta delle velocità di movimento verticale del suolo – periodo 2016-2021 (mm/anno) (dal Portale cartografico ARPAE)

INDAGINI GEOGNOSTICHE

Ai fini della verifica della consistenza geotecnica e della natura litostratigrafica del sottosuolo, si sono eseguite n° 3 prove penetrometriche statiche CPT spinte a 20 metri di profondità dal p.c. In conformità alle NTC 2018, per accertare la velocità delle onde trasversali o di taglio entro i primi 30 m di profondità e la frequenza naturale o caratteristica di risonanza del terreno, si è eseguita n.1 prova geofisica di tipo "passivo" H.V.S.R. ubicata come da planimetria scala 1:6.000 allegata. Come segnalato in premessa, l'area in esame è contigua (Fondo S.Nicola – Fondo S.Sebastiano), ad un'altra area precedentemente indagata nel maggio 2023 per l'installazione di un impianto fotovoltaico della medesima proponente; tale indagine era del pari consistita in n.3 prove penetrometriche del tipo CPTe, che hanno evidenziato una sostanziale omogeneità litostratigrafica e geotecnica con quelle eseguite per il presente studio.

Prove penetrometriche statiche CPT

Le prove sono state condotte con penetrometro tipo GOUDA da 10 tonn attrezzato con punta meccanica, le cui caratteristiche standard (a Norme A.G.I.) sono:

- lunghezza aste 1 m
- peso fisso "esterno" 10 kg
- peso totale aste 6.5 kg/m
- peso aste interne 1.38 kg/m
- velocità di avanzamento costante $V=2$ cm/sec (± 0.5 cm/sec)

Le dimensioni punta/manicotto "Begemann"(ISSMFE 1974) sono:

- diametro di base del cono: $\varnothing = 35.7$ mm
- area della punta conica: $A_p = 10$ cmq
- angolo apertura del cono: $\beta = 60^\circ$
- superficie laterale manicotto: $A_m = 150$ cmq
- lunghezza manicotto: $h = 133$ mm
- diametro del manicotto: $\varnothing = 35.7$ mm

La prova penetrometrica statica CPT con punta meccanica consiste nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante ($v=2$ cm/s ± 0.5 cm/s); la penetrazione avviene con un dispositivo di spinta (martinetto idraulico) opportunamente ancorato al suolo, che agisce su una batteria doppia di aste (esterne cave e interne piene coassiali), alla cui estremità inferiore è collegata la punta. Lo sforzo necessario per l'infissione viene determinato a mezzo di un opportuno sistema di misura, collegato al martinetto idraulico: la punta conica (di tipo telescopico) è dotata di un manicotto laterale (punta/manicotto tipo "Begemann"). Nel corso della prova si sono rilevate ogni 20 cm le seguenti letture manometriche:

- L1 = resistenza richiesta per l'avanzamento della sola punta penetrometrica (di sezione conica standard pari a 10 cmq.);
- L2 = corrispondente alla resistenza dovuta al successivo avanzamento della punta e del manicotto (di superficie laterale standard pari a 150 cmq)

Risulta quindi:

- resistenza unitaria di punta: $q_c = L1 / 150 \text{ kg/cm}^2$

- resistenza unitaria laterale: $f_s = 10 \times (L1 - L2) / 150 \text{ kg/cm}^2$ I valori unitari della resistenza di punta q_c sono stati normalizzati ai valori q_{c1N} con la relazione (cfr. ROBERTSON & WRIDE, 1998):

$$q_{c1N} = CQ \times (q_c / Pa)$$

ove: $Pa = 1 \text{ atm}$

$CQ = (Pa \sigma'_{vo})^n$ essendo σ'_{vo} la pressione geostatica effettiva alla profondità di prova, ed n un coefficiente che varia (cfr. OLSEN, 1997) da 0,5 (per terreni granulari) a 1,0 (per terreni ricchi di fine argilloso).

Il valore di q_{c1n} viene quindi definito con procedimento iterativo, assumendo un valore iniziale $n=1,0$ in base al quale vengono calcolati i parametri:

$$Q = ((q_c - \sigma'_{vo}) / Pa) \times ((Pa / \sigma'_{vo})^n)$$

$$F = (f_s / (q_c - \sigma'_{vo})) \times 100\%$$

$$I_c = ((3,47 - \log(Q))^2 + (1,22 + \log(F))^2)^{0,5}$$

In base ai summenzionati parametri si determina quindi, con l'allegato abaco di ROBERTSON, la granulometria del terreno indagato (procedendo, se del caso, ad una successiva rivalutazione di q_{c1N} e dei parametri medesimi).

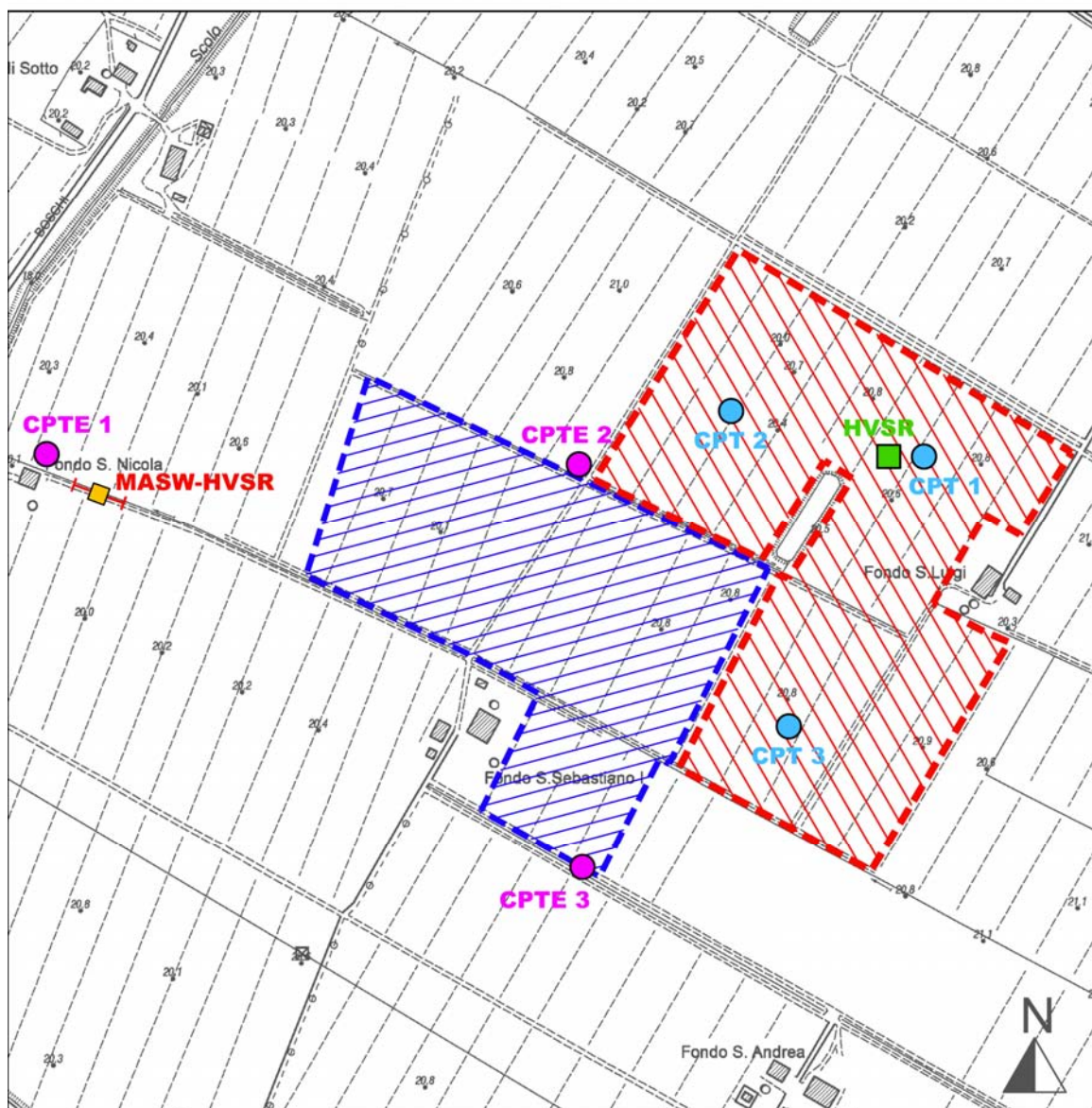
Risultanze

Al di sotto di circa 1m di coltre superficiale alterata e rimaneggiata dalle attività agricole, il sottosuolo è pressoché uniformemente costituito fino alla profondità di poco meno di 20 m da alternanze di strati e/o orizzonti limoso-sabbiosi, argillosi e argillo-limosi, caratterizzati da valori di resistenza q_c compresi tra 20 e 60kg/cm² circa; al di sotto la resistenza q_c aumenta raggiungendo valori >100kg/cm², in presenza di litologie sabbiose e sabbiose-ghiaiose.

I fori di prova si sono occlusi intorno a -2 m dal p.c., verosimilmente in corrispondenza di livelli incoerenti.

UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE

scala 1:6.000



LEGENDA:



Impianto agrivoltaico
in progetto

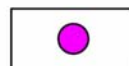


Impianto fotovoltaico "Zenerigolo 1"
(A.U. n°634 del 5/2/2024)

Indagini eseguite per il presente progetto:



Prova penetrometrica CPT



Prova penetrometrica CPTE



Indagine sismica HVSR



Traversa sismica MASW + Indagine
sismica HVSR

Fig. n°25: Ubicazione delle indagini geognostiche eseguite

Indagine sismica passiva HVSR

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) consiste nel misurare direttamente, sfruttando il rumore di fondo ambientale (microtremori), le frequenze di risonanza dei terreni costituenti il sottosuolo, allo scopo di stimare gli effetti di sito e la vulnerabilità sismica dell'opera. Per rumore ambientale di fondo s'intende l'insieme delle vibrazioni che si propagano nel terreno dovute sia a fenomeni naturali⁴ sia all'azione antropica⁵.

E' stato utilizzato un tromografo "ECHO TROMO-3" (Ambrogeo®) dotato di geofono tridirezionale frequenza propria 4,5Hz; in particolare è stata eseguita n.1 misurazione con frequenza di campionamento pari a 157 Hz .

La rilevazione sismica è stata confrontata ed "ancorata" alla stratigrafia riscontrata in nella prova penetrometrica CPT1 eseguita, in modo tale da calibrare il profilo nei primi metri di suolo e poterne estrapolare le caratteristiche a profondità maggiori.

Successivamente i dati relativi alla misura sono stati elaborati tramite il software dedicato "Geo HVSR" ver. 1.3 prodotto da ProgramGeo di Carpenedolo (BS) con un processing che ha valutato l'affidabilità della curva ricavata, verificando se fossero rispettati i criteri riportati nelle linee guida del progetto europeo SESAME (Site EffectS assessment using Ambient Excitations, 2005).



Foto n°3: Tromografo in fase di misura

⁴ moto ondoso, perturbazioni atmosferiche ecc...

⁵ traffico veicolare, macchinari, ecc..

Nello spettro H/V sono stati individuati i picchi positivi che corrispondono ad altrettanti minimi locali nello spettro V, fatto questo che consente di riconoscere le frequenze associate ai picchi H/V come frequenze di risonanza del terreno.

Analizzando il risultato della prova emerge come la frequenza di vibrazione principale del terreno, nell'intervallo di frequenze compreso fra 1 Hz e 10Hz, si collochi a 0.8 Hz.

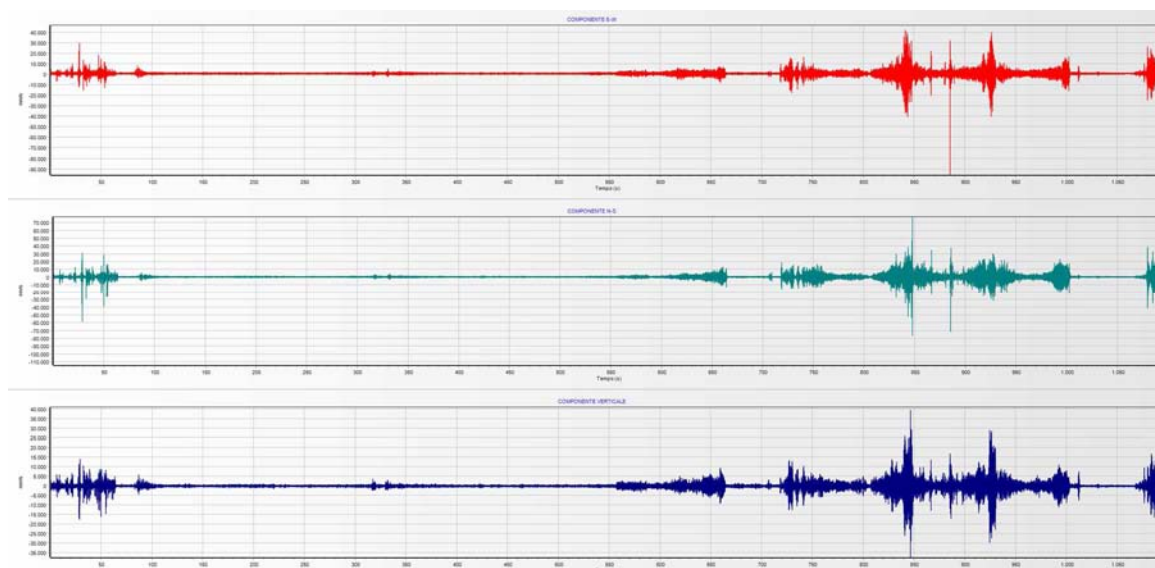


Fig. n°26: Record sismici nelle tre componenti spaziali

Frequenza (Hz)	Ampiezza	K_g
0.8	1.47	2.7
4.45	1.09	0.26
5.86	1.23	0.26
19.43	1.37	0.1
36.34	1.31	0.05
68.34	1.72	0.04
78.5	1.62	0.03

Tab n°1: Parametri picchi stratigrafici da spettro H/V

L'indice di vulnerabilità del sito (K_g) viene calcolato facendo riferimento ai soli picchi stratigrafici dello spettro H/V posti a frequenze inferiori o prossime a 10 Hz, in quanto quelli presenti a frequenze superiori non sono significativi dal punto di vista della vulnerabilità sismica.

Nel caso in esame i picchi H/V stratigrafici individuati hanno fornito un valore massimo di K_g uguale a 2.7. Il sito può essere perciò classificato come a medio alta vulnerabilità sismica locale. La curva H/V sintetica è stata modellata in modo da sovrapporsi ai picchi stratigrafici misurati.

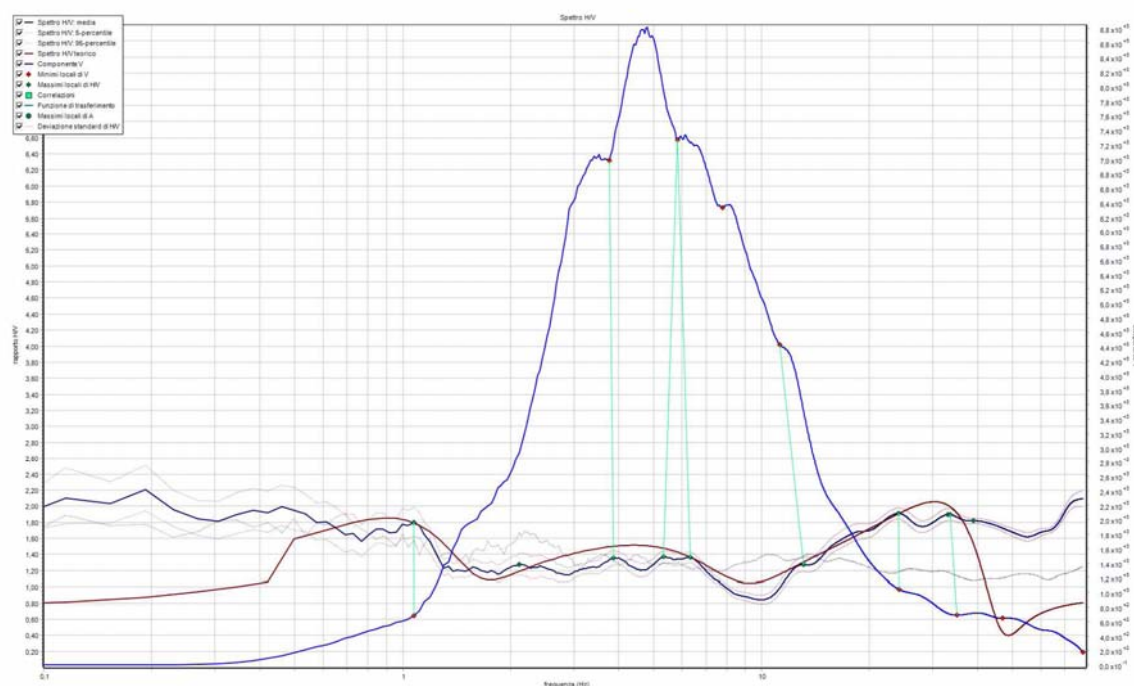


Fig. n°27: Confronto fra la curva H/V sperimentale e quella teorica

L'inversione vincolata dello spettro H/V ha consentito altresì di ricavare il profilo delle velocità delle onde S in funzione della profondità.

Profondità da (m) a (m)		Δz (m)	V_s (m/s)	Inversioni di velocità
0.0	0.22	0.22	70	-
0.22	1.08	0.86	157	-
1.08	2.05	0.97	159	-
2.05	10.93	8.88	300	-
10.93	14.5	3.57	400	-
14.5	81.26	66.78	460	-

Tab. n°2: Modello sismico del sottosuolo desunto dalla prova

La prova di tipo sismico passivo, in buon accordo con la prova MASW eseguita nell'ambito dello studio geologico eseguito per il confinante impianto "Zenerigolo 1", ha messo in luce che il valore di V_{s30} , riferito al p.c., è pari a 234,4 m/s, valore che pone il sito nella categoria di sottosuolo C secondo il D.M. 17.01.2018.

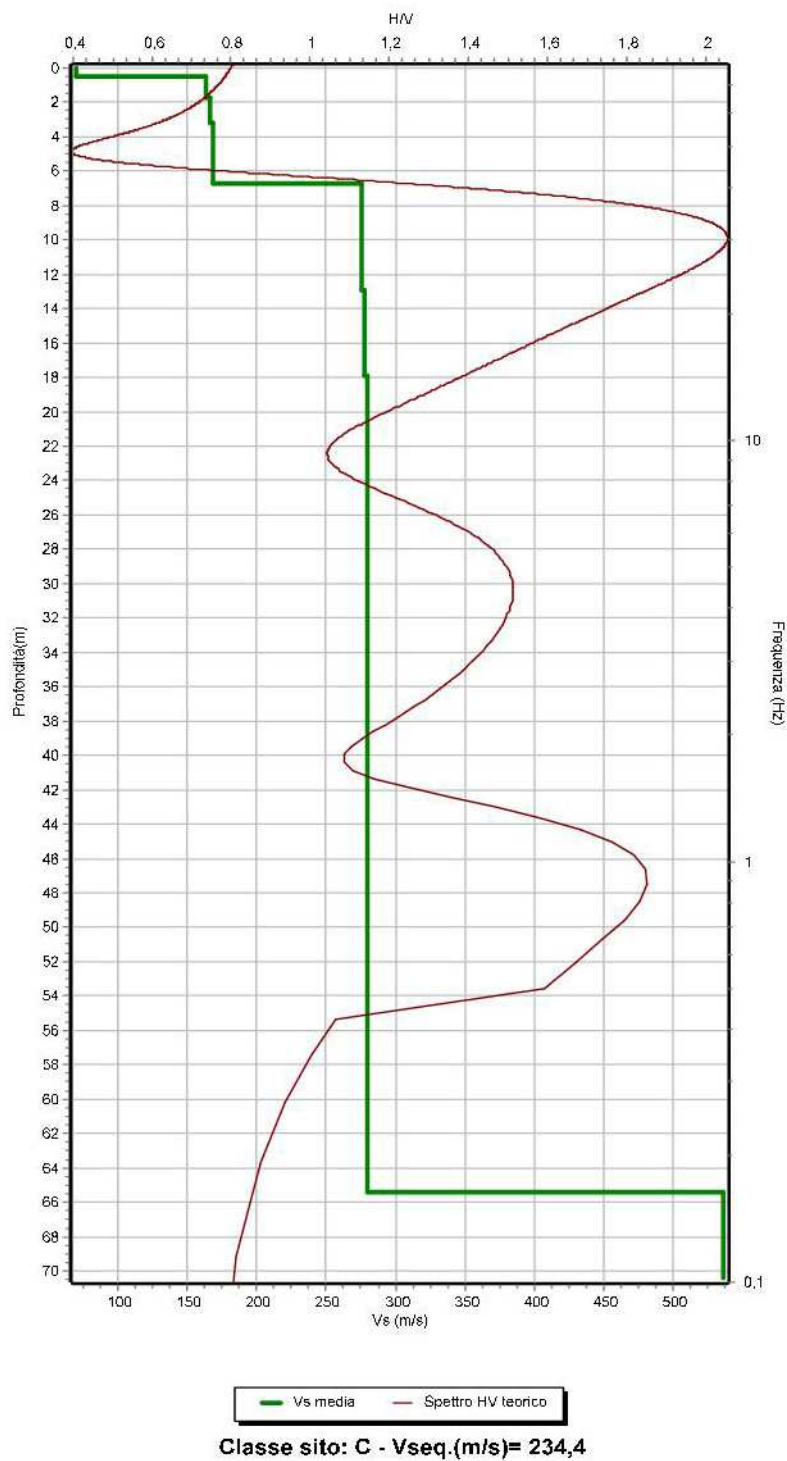


Fig. n°28: Distribuzione delle velocità S entro i primi 150m

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

Parametri geotecnici desunti dalle prove CPT: formule utilizzate

I valori della resistenza di punta q_c e della resistenza laterale unitaria f_s e quelli dei parametri da essi derivati con le relazioni di ROBERTSON 2012 possono essere empiricamente correlati, oltreché alla granulometria, anche ad alcune delle caratteristiche geotecniche del terreno indagato: i dati ricavati da tali correlazioni sono riportati nelle allegate schede redatte per ciascuna prova CPT, ove si sono altresì riportati i valori medi di q_c ed f_s relativi ad ogni strato omogeneo individuato.

Il peso di volume totale è stato stimato con la relazione (GREGG: "Guide to cone penetration testing" 2010):

$$\gamma = 0,27 \times \log(R_f) + 0,36 \times \log(q_c/P_a)$$

ove:

$R_f = 100 \times f_s / q_c$ e P_a = pressione atmosferica alla quota di prova.

Tale parametro corrisponde al peso di volume naturale sopra falda ed a quello saturo in falda; il peso di volume in falda va calcolato con la relazione:

$$\gamma = \gamma_{sat} - u_o$$

essendo u_o la pressione idrostatica alla profondità considerata, mentre il peso di volume immerso vale invece:

$$\gamma' = \gamma_{sat} - 1$$

Gli orizzonti sabbio-ghiaiosi e limo-sabbiosi (che in base a ROBERTSON, 2012 corrispondono ai terreni caratterizzati da $I_c < 2,6$) sono assimilabili a mezzi incoerenti od attritivi, quelli limo-argillosi a mezzi coesivi.

La densità relativa degli orizzonti incoerenti è stata valutata con la relazione empirica (GREGG, 2010):

$$D_r \% = 100 \times (Q_{tn}/350)^{0,5}$$

L'angolo d'attrito drenato di picco ϕ_p di tali terreni è stimato con la relazione (GREGG, 2010):

$$\phi_p = 17,6^\circ + 11 \times \log(Q_{tn})$$

mentre il loro angolo d'attrito drenato residuo (a volume costante) ϕ_{cv} , cui è opportuno riferirsi per il calcolo del carico limite di fondazioni dirette, è stato stimato in funzione di ϕ_p con la relazione (ROBERTSON 2012):

$$\phi_{cv} = \phi_p - 15,84 \times \log(Q_{tn}CS) + 26,88^\circ$$

Il modulo elastico dei terreni incoerenti è stato stimato con la relazione (ROBERTSON, 2012);

$$E' = 0,015 \times (q_c - \sigma_{vo}) \times 10^{(0,55 \times I_c + 0,68)}$$

Per quanto riguarda invece i terreni coesivi (cioè caratterizzati da $I_c > 2,6$), la coesione non drenata c_u è stata valutata con la relazione (ROBERTSON, 2012):

$$c_u = (q_c - \sigma_{vo})/Nk$$

ove:

$Nk=10,5+7 \times \log(Fr)$ essendo σ_{vo} il carico geostatico totale.

L'angolo d'attrito drenato di picco φ_{clay} dei terreni coesivi è stato stimato con la relazione empirica (MAYNE, 2001):

$$\varphi_{clay} = \arcsen[2 \times c_u / (\sigma_{vo'} \times OCR^{0,8})]$$

ove:

OCR è il grado di sovra consolidazione dei terreni coesivi calcolato con la relazione (CSSM in ROBERTSON, 2012):

$$OCR = 0,25 \times (Qt1)^{1,2}$$

La sensitività St degli orizzonti limo-argillosi (cui corrisponde il rapporto tra i valori iniziale e residuo della coesione non drenata), è stata approssimativamente stimata con la correlazione empirica (suggerita da GREGG, 2010):

$$St = 7/Fr$$

che nel caso in esame resta inferiore a 2; vi corrispondono (in base alla classificazione di DAS riportata in "Advanced soil mech.", ISE 1985) terreni di bassa sensitività.

Il modulo edometrico è stato stimato con la relazione:

$$E_{ed} = \alpha M \times (q_c - \sigma_{vo}) \text{ assumendo (cfr. ROBERTSON, 2012):}$$

- $\alpha M = 14$ se $Ic > 2,2$ e $Q_{tn} > 14$;
- $\alpha M = Q_{tn}$ se $Ic > 2,2$ e $Q_{tn} < 14$;
- $\alpha M = 0,03 \times 10^{(0,55 \times Ic + 1,68)}$ se $Ic < 2,2$

Il modulo di taglio a piccole deformazioni è calcolato con la relazione (ROBERTSON, 2012):

$$G_o = 0,0188 \times (q_c - \sigma_{vo}) \times 10^{(0,55 \times Ic + 1,68)}$$

Sempre in funzione di Ic si è stimato il coeff. di permeabilità dei terreni indagati con le correlazioni empiriche (GREGG, 2010):

$$k \text{ (m/s)} = 10^{(0,952 - 3,04 \times Ic)} \text{ se } 1 < Ic < 3,27;$$

$$k \text{ (m/s)} = 10^{(-4,52 - 1,37 \times Ic)} \text{ se } 3,27 < Ic < 4$$

Infine, la velocità di propagazione delle onde trasversali o di taglio V_s è stata calcolata con la relazione empirica (pure suggerita da ROBERTSON, 2012):

$$V_s \text{ (m/s)} = [10^{(1,68 + 0,55 \times Ic)} \times Q_{tn}]^{0,5}$$

che fornisce valori scadenti che solo in profondità raggiungono quasi i 300 m/s, che ben concordano con quelli forniti dalla prova sismica eseguita.

Risultanze delle prove

Come precedentemente descritto, al di sotto di una coltre superficiale limoso-sabbiosa, di assai mediocre consistenza (caratterizzata da un comportamento meccanico incoerente), il sottosuolo è costituito da alternanze di strati argillosi e/o argilloso-limosi a comportamento meccanico coesivo, con strati o orizzonti limoso-sabbiosi, a comportamento meccanico

incoerente.

Negli strati coesivi prevalentemente argillosi la resistenza al taglio, sul breve termine, è governata dalla coesione non drenata c_u che resta compresa generalmente compresa tra 1 e 2kg/cmq, con valori crescenti con la profondità fino a 3-5kg/cmq; sul lungo termine bisogna fare riferimento all'angolo di attrito drenato ϕ_{clay} che non è mai inferiore a 25°.

Negli strati incoerenti limo-sabbiosi e sabbiosi, la resistenza al taglio è governata dall'angolo di attrito, il cui valore residuo (o a volume costante) ϕ_{cv} resta mediamente intorno ai 30° con sparsi valori inferiori 27°/28° entro intercalazioni pluridecimetriche limoso-sabbiose.

Il modulo edometrico E_{ed} resta compreso tra circa 200kg/cmq presso la superficie e circa 5-600kg/cmq fino a 15,6 m di profondità: al di sotto il suo valore aumenta fin'oltre 1000kg/cmq.

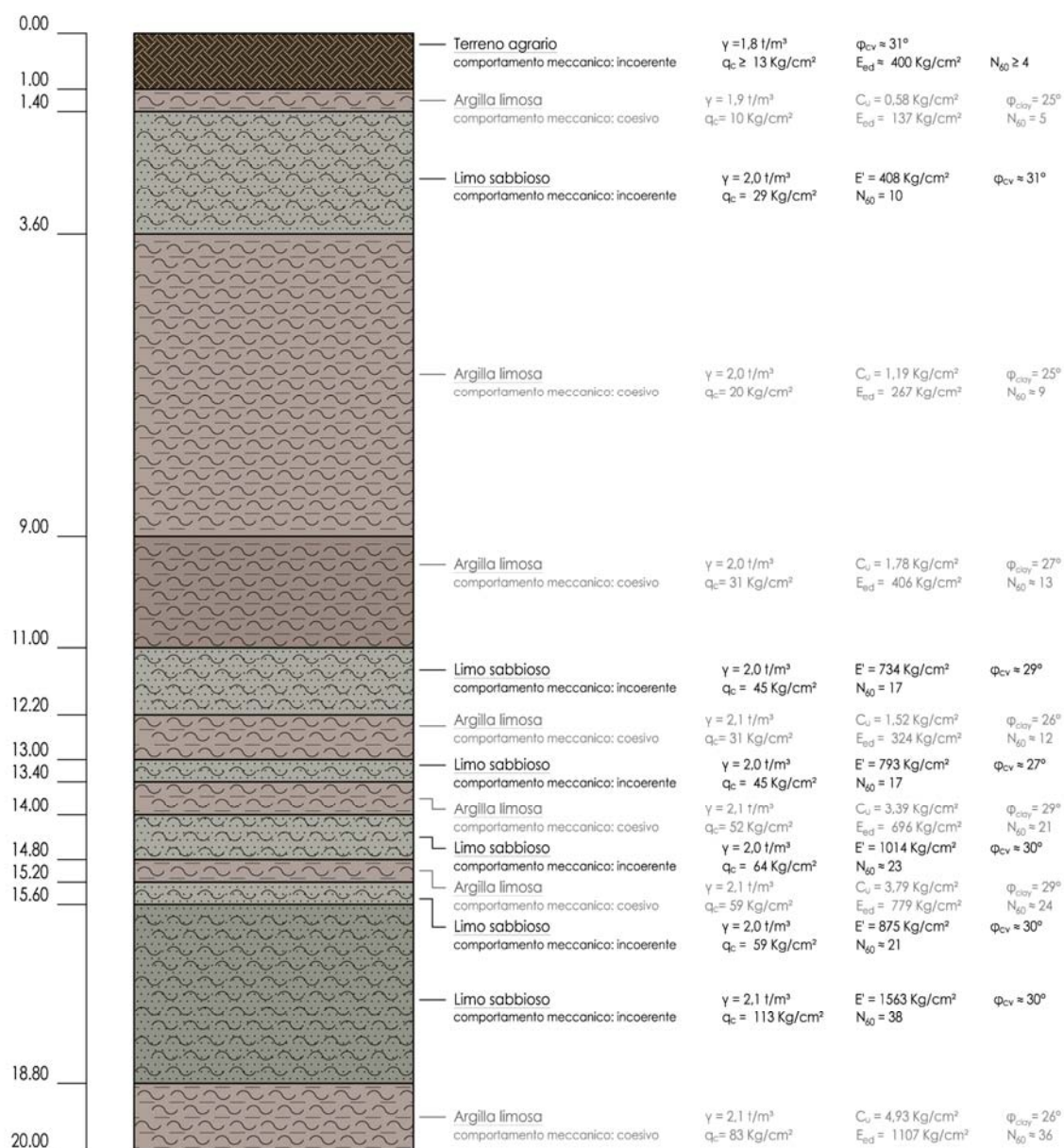
Anche il modulo Elastico E' aumenta con la profondità, passando da circa 400kg/cmq presso la superficie a oltre 800kg/cmq a 15,6m di profondità; al di sotto aumenta fino a 1563kg/cmq.



Foto n°4: Fasi dell'esecuzione della prova CPT2

MODELLO GEOTECNICO E VALORI CARATTERISTICI

Di seguito si riassumono i parametri geotecnici caratteristici del sottosuolo con riferimento alle tabelle riassuntive delle prove CPT P1, P2 e P3 eseguite.



Legenda

γ = peso di volume naturale sopra falda
 q_c = resistenza unitaria alla punta
 ϕ_{cv} = angolo di attrito a volume costante
 ϕ_{clay} = angolo di attrito drenato di picco
 C_u = coesione non drenata
 E_{ed} = modulo edometrico
 E' = modulo elastico
 N_{60} = valore normalizzato per rendimento $E_r=60\%$

Fig. n°29: Modello getecnico dell'area d'intervento

CLASSIFICAZIONE SISMICA DELL'AREA

Sollecitazioni sismiche

Il territorio comunale di San Giovanni in Persiceto a seguito dell'Ordinanza P.C.M. n.3274/2003, aggiornata con la Deliberazione di Giunta Regionale N.1435 del 21 luglio 2003 e successivamente con la N.1164 del 21 luglio 2018, è ascritto a zona sismica di "classe 3".

Nella tabella allegata si sono riportati i valori (desunti dal foglio di calcolo "Spettri NTC-ver.1.0.3." del C.S.L.P. in funzione delle coordinate geografiche del sito in esame), dei parametri a_g (accelerazione orizzontale massima), F_0 (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale), T_c^* (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale) per tempi di ritorno T_r riferiti agli stati limite variabili da 30, 35, 332 e 682 anni, cui corrispondono probabilità di superamento ($P_{vr}\%$) rispettivamente 81%, 63%, 10%, 5% in 100 anni.

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

☒ Ricerca per coordinate LONGITUDINE: 11,24225 LATITUDINE: 44,64549

☐ Ricerca per comune REGIONE: Emilia-Romagna PROVINCIA: Bologna COMUNE: San Giovanni in Persiceto

Elaborazioni grafiche: Grafici spettri di risposta, Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche: Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo: ☒ Sito esterno al reticolo, ☐ Interpolazione su 3 nodi, ☐ Interpolazione corretta

Interpolazione: superficie rigata

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO **FASE 1** FASE 2 FASE 3

Fig. n°30: Foglio di calcolo "Spettri NTC-ver.1.0.3." del C.S.L.P. per individuazione pericolosità del sito

Ciò premesso la tipologia delle opere in progetto è ascrivibile alla classe d'uso I, cui va applicato un coeff. $CU=0,7$ e la cui vita di riferimento VR vale, per una vita nominale $VN=50$ anni:

$$VR = VN \times CU = 50 \times 0,7 = 35 \text{ anni}$$

Nel caso in esame considerando lo "Stato limite di salvaguardia della vita" (SLV) e quindi una probabilità di superamento nel periodo di riferimento della vita dell'opera (35 anni) pari al 10%, ovvero $T_R=332$ anni, risulta $a_g=0,139g$.

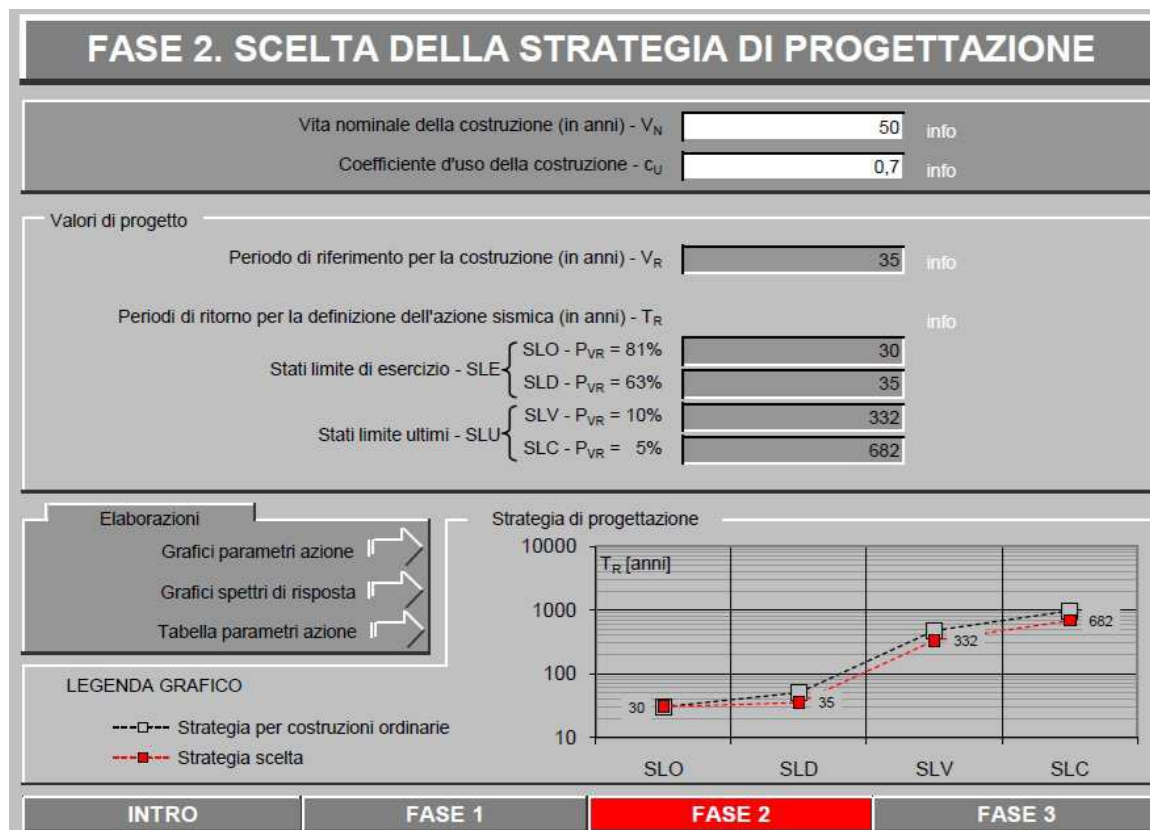


Fig. n°31: Schema per la determinazione dei valori di progetto

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	30	0,048	2,476	0,256
SLD	35	0,051	2,489	0,261
SLV	332	0,139	2,551	0,275
SLC	682	0,185	2,541	0,279

Fig. n°32: Valori dei parametri sismici in riferimento al tempo di ritorno considerato

Da ricordare che le azioni sismiche desunte dal foglio di calcolo del C.S.L.P. sono valide per sito di riferimento rigido orizzontale; diversamente esse vanno incrementate in funzione della categoria topografica dell'area e della categoria del sottosuolo sotteso dalle eventualmente opere in progetto.

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite

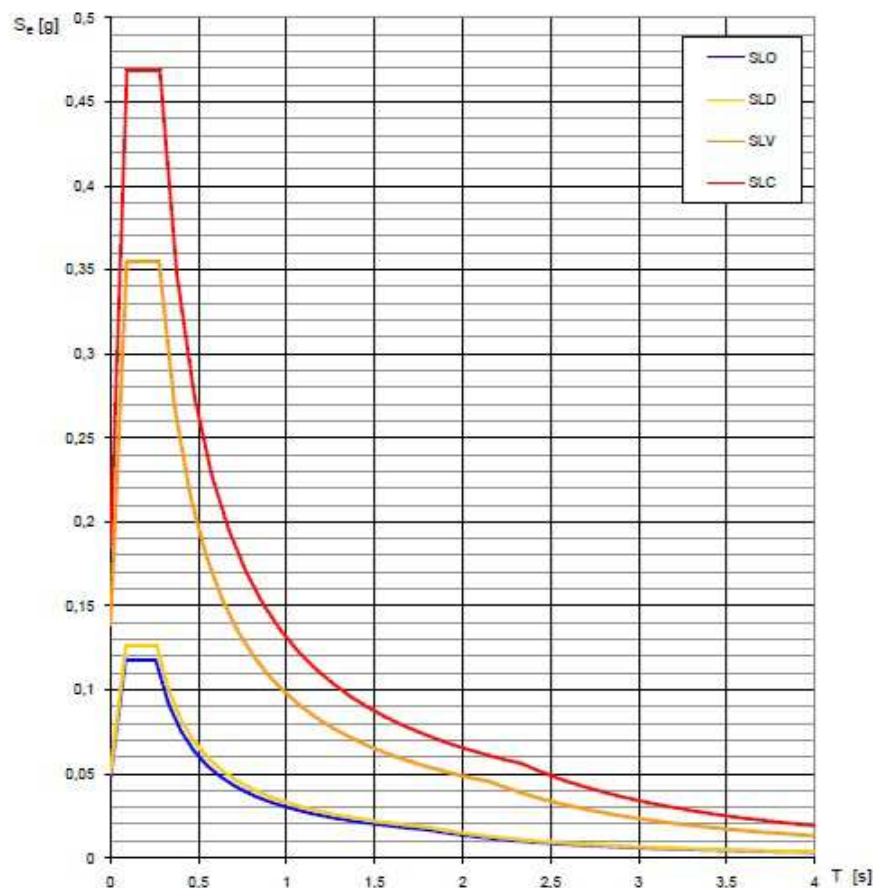


Fig. n°33: Spettri di risposta elastici

Amplificazione topografica

Ciò premesso l'areale in studio è situato in zona del tutto pianeggiante e priva di particolarità morfologiche di rilievo: in conformità alla Tab.3.2.IV delle NTC 2018, il sito è quindi ascrivibile alla categoria topografica T1 cui corrisponde, ai sensi della Tab.3.2.VI delle NTC 2018, un coefficiente di amplificazione topografica:

$$St = 1,0$$

Categoria di sottosuolo e coeff. di amplificazione stratigrafica

Come segnalato in precedenza le indagini hanno evidenziato un sottosuolo dell'intorno indagato costituito da prevalenti depositi sabbiosi e ghiaiosi; la prova HVSR ha rilevato che la velocità di propagazione delle onde sismiche trasversali o di taglio nei primi 30 m di profondità su tali tipi di terreno, calcolata con l'eq.3.2.1. delle NTC 2018, vale $V_{s30} = 234,4$ m/s.

In tale situazione, il sottosuolo va ascritto alla categoria C definita al c.3.2.2. delle NTC 2018 da cui, in base alla Tab.3.2.IV delle NTC medesime, si è assunto:

- coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s :

$$1,00 \leq (1,7 - 0,6 \times F_o \times a_g/g) \leq 1,50$$

- coefficiente C_c :

$$1,05 \times (T_c^*)^{-0,33}$$

in particolare, per $T_r = 332$ anni risulta $S_s = 1,50$.

Di conseguenza, in conformità al comma 3.2.3.2. delle NTC 2018, il coeff. di amplificazione che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche vale:

$$S = S_s \times S_t = 1,5 \times 1,0 = 1,5$$

Accelerazione orizzontale massima attesa al sito

L'accelerazione orizzontale massima al suolo sulla verticale del sito in esame per lo stato limite SLV e $P_{vr}=10\%$ e $T_r=332$ anni è pari a:

$$a_{max} = a_g \times S = a_g \times S_s = 0,139 \times 1,5 = 0,208 \text{ g}$$

Analisi di disaggregazione

Dalla pagina del sito dell'INGV (Istituto di Geofisica e Vulcanologia di Milano), sono stati inoltre desunti i parametri di disaggregazione del sito ovvero i valori di magnitudo-distanza con relativa probabilità di superamento del 10% in 50 anni⁶.

Lo studio di disaggregazione di a_g , con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, permette di individuare per l'area in esame, il *range* della coppia magnitudo-distanza che incide maggiormente sulla sismicità dell'area.

Tra i differenti metodi da utilizzare, si è optato per l'impiego delle mappe interattive di pericolosità sismica, presenti sul sito dell'*Istituto di Geofisica e Vulcanologia di Milano* (<http://esse1-gis.mi.ingv.it>); nelle figure successive vengono riprodotti i risultati del procedimento di disaggregazione di a_g e le coppie magnitudo/distanza dei terremoti che apportano i maggiori danni nell'area, in funzione della percentuale della pericolosità.

Tale elaborazione indica che gli eventi che contribuiscono alla sismicità dell'area sono contraddistinti da una magnitudo compresa tra 4,0 e 6,0, con valori medi di circa 4,98 e distanze epicentrali inferiori a 30 km, con valori medi di 9,6 km.

Si tratta pertanto di un'area contraddistinta da una sismicità medio-bassa, confermata anche dall'attribuzione del territorio comunale alla zona sismica 3.

Il valore di magnitudo ottenuto dalla disaggregazione è stato confrontato quello attribuito dalla zonazione sismogenetica 912 all'areale oggetto di intervento, che risulta essere pari a 6,14; adottando un approccio di tipo cautelativo, per eventuali approfondimenti di terzo livello si consiglia di assumere come valore di riferimento della magnitudo quello massimo previsto dalla zonazione sismogenetica 912

⁶ in base ai dati di pericolosità sismica nazionale

Modello di pericolosità sismica MPS04-S1

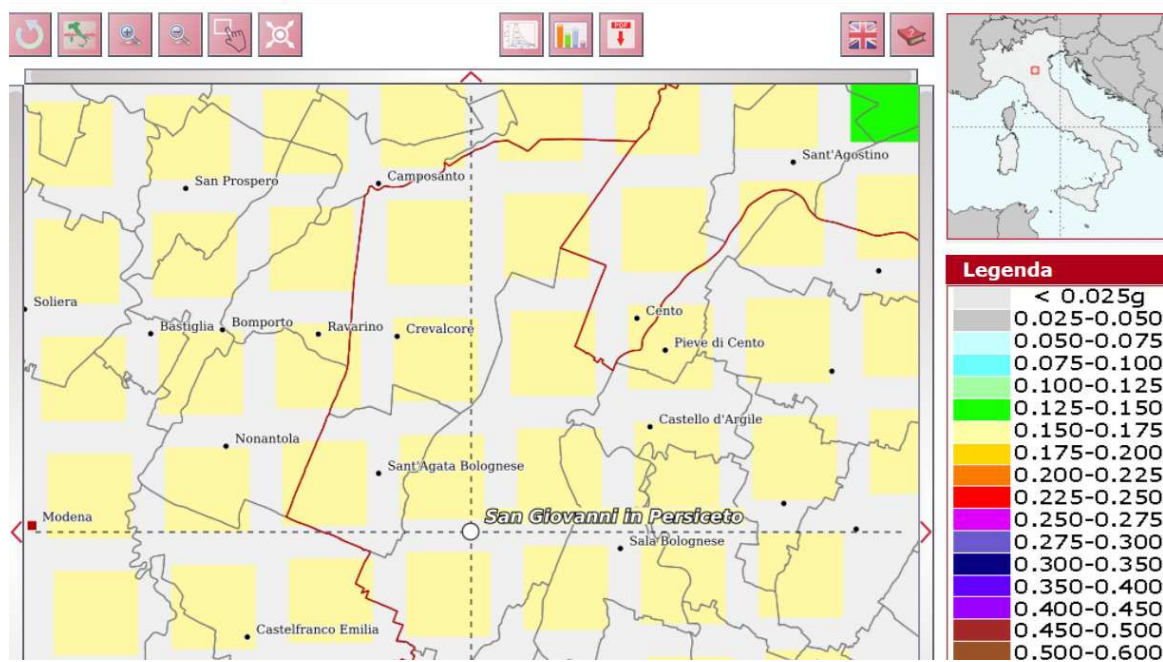


Fig. n°34: Mappa pericolosità sismica tratta da Progetto DCP – INGV – S1

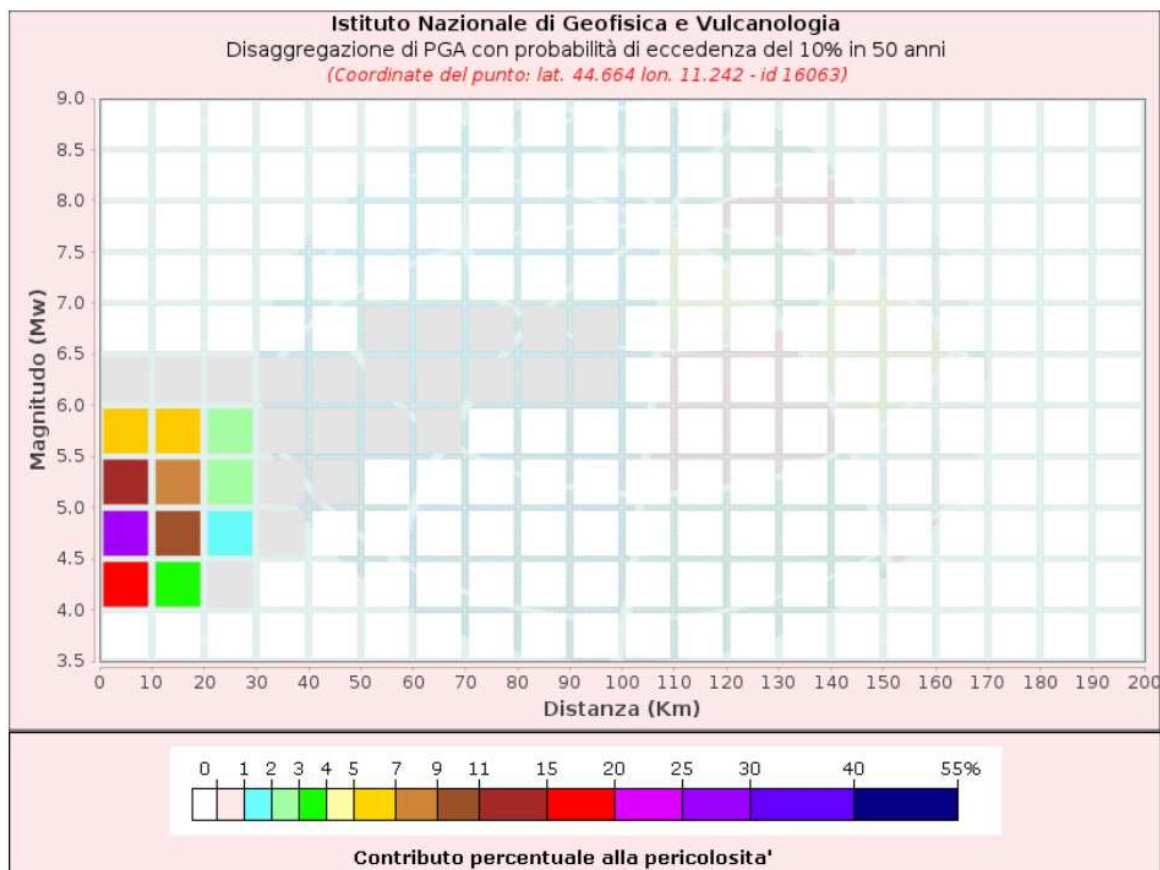


Fig. n°35: Dati di disaggregazione (variabilità in termini di magnitudo e distanza)

Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto: lat. 44.664 lon. 11.242 - id 16063)											
Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.0000	15.1000	26.5000	13.9000	6.2900	0.7110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	3.6900	9.9500	8.7500	5.9600	0.8060	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.1510	1.4000	2.4600	2.3400	0.3310	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0329	0.4320	0.7140	0.1050	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0252	0.1810	0.0311	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0220	0.0096	0.0009	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0018	0.0063	0.0032	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0027	0.0023	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0018	0.0014	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003	0.0007	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.98	9.6	0.74

Fig. n°36: Valori di magnitudo-distanza con relativa probabilità di accadimento del 10% in 50 anni

Microzonazione sismica

Il Comune di San Giovanni in Persiceto dispone di MS di "livello 2" e analisi della CLE con approfondimenti di "livello 3", aggiornati e adeguati ai contenuti richiesti sensi dalla DGR. 476/2021 e DGR integrativa 564/2021.

I risultati degli studi summenzionati sono fondamentalmente riconducibili alla carta delle "microzone omogenee in prospettiva sismica" MOPS (equivalente alla carta delle "aree suscettibili di effetti locali" indicata dagli Indirizzi RER) e alla cartografia di microzonazione sismica (MS), riferita unicamente al "livello 1".

La cartografia di MS comunale, comprende sia zone con approfondimenti di "livello 2", sia zone con approfondimenti di "livello 3" (queste ultime nelle zone urbanizzate e alcune limitrofe).

Gli studi svolti di MS hanno inoltre evidenziato come estese porzioni di territorio extra urbanizzato ricadano nelle "zone di attenzione" per liquefazioni.

L'area in esame ricade nelle "zone di attenzione per instabilità" definite per San Giovanni in Persiceto e riconducibili alla possibilità di fenomeni di liquefazione per la presenza di intervalli granulari saturi nei primi 20 metri. Le zone di attenzione sono state differenziate in relazione alla differente età deposizionale dei sedimenti più superficiali.

L'area in esame ricade nella "zona 4" (ZONA 2004 – ZALQ – zona di attenzione per liquefazione), costituita da depositi granulari recenti più o meno addensati di origine fluviale a tessitura prevalentemente limo-sabbiosa, per uno spessore indicativo di 100m. Questa zona è caratterizzata dalla presenza di orizzonti importanti di sedimenti granulari saturi).

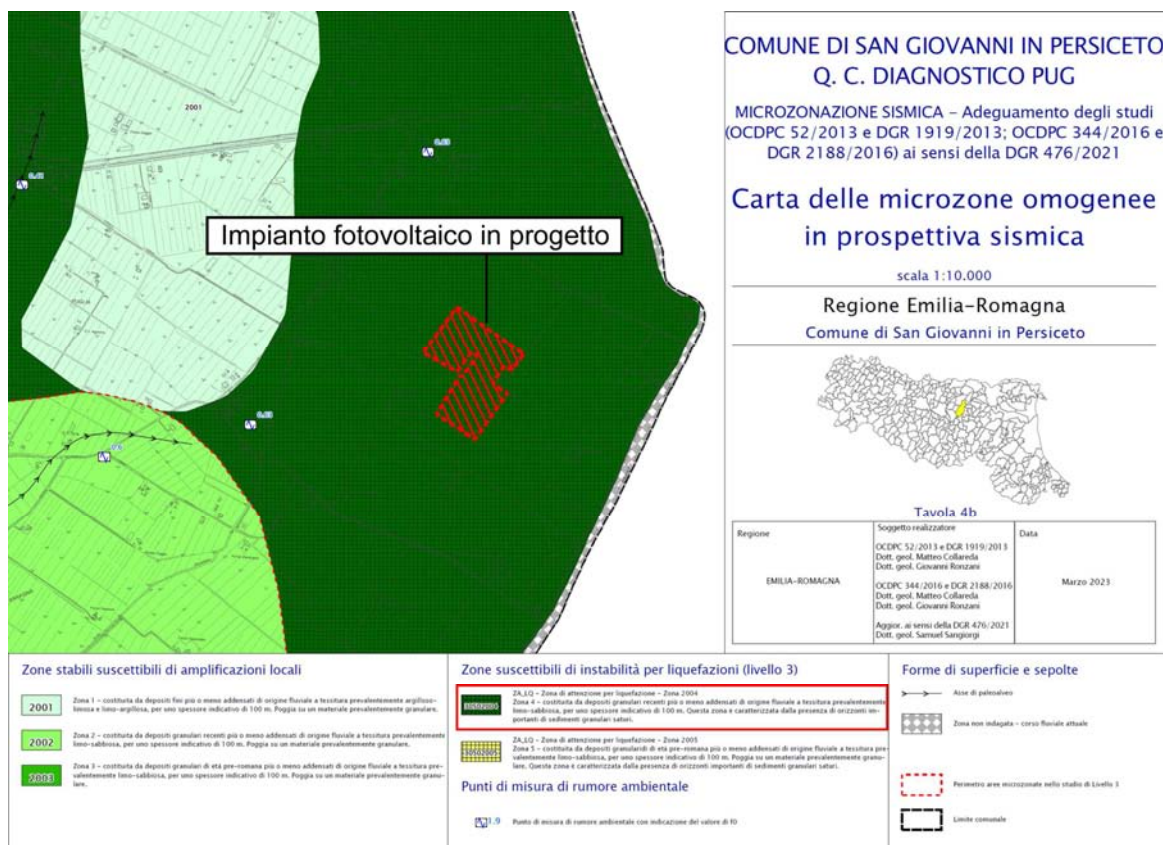


Fig. n°37: Stralcio "Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica" a corredo del PUG

Valutazione della suscettibilità alla liquefazione

Il comune di San Giovanni in Persiceto nonché l'area in esame, appartengono alla Zona Sismogenetica n° 912 denominata "Dorsale Ferrarese" che rappresenta la zona più esterna della fascia in compressione dell'arco appenninico settentrionale. Il Catalogo parametrico dei terremoti italiani Edizione 2004 denominato CPT104 registra valori massimi di magnitudo momento M_w per la zona sismogenetica n° 912 pari a 6.14. Già negli studi eseguiti dalla Regione Emilia-Romagna durante la fase di emergenza sismica erano stati mappati, in maniera speditiva, limiti ed estensioni delle aree potenzialmente suscettibili di liquefazione (Martelli e Romani, 2013).

L'elevato quantitativo di indagini di sottosuolo acquisite durante lo studio di microzonazione ha consentito di meglio discriminare spessore e geometrie dei corpi liquefacibili soprattutto nelle aree prive di dati pregressi o con dati di scarsa affidabilità. Ciò ha portato alla revisione delle zone potenzialmente soggette a tali fenomeni, che

sono state indicate nella Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica come Zone di Attenzione per Liquefazione.

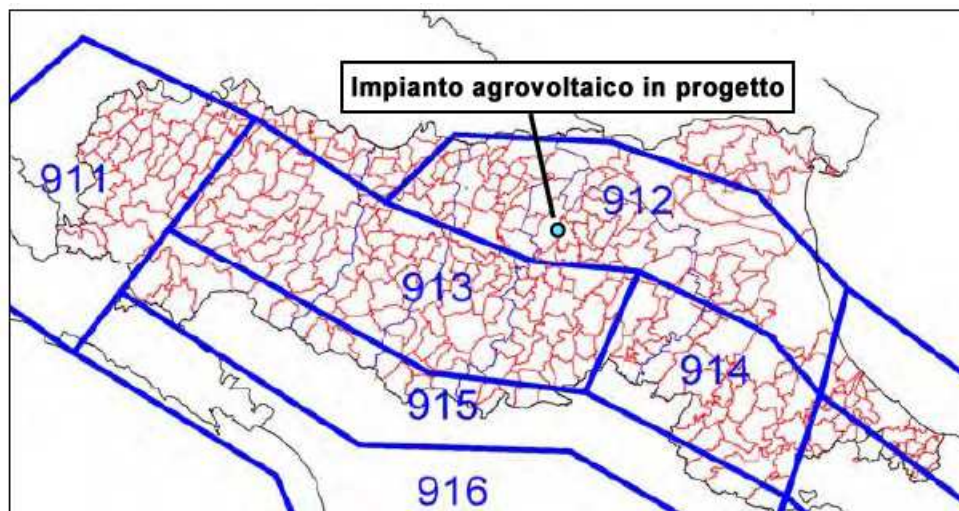


Fig. n°38: La Zona sismogenteica ove ricade l'impianto agrivoltaico in progetto

Nel territorio comunale di San Giovanni in Persiceto l'estensione delle zone suscettibile a liquefazione è risultata abbastanza rilevante. La Città Metropolitana di Bologna, nel 2021, ha provveduto all'aggiornamento degli studi di pericolosità sismica preliminare dell'intero territorio amministrativo.

Secondo la cartografia del PTM di seguito riportata, un ampio settore di territorio comunale, fra cui l'area oggetto della presente istanza, ricade in un contesto di potenziale propensione alla liquefazione per la presenza di intervalli granulari saturi nei primi 20 metri.

Per tali motivi è stata eseguita la verifica della suscettibilità alla liquefazione per le prove penetrometriche CPT realizzate in quanto i livelli sabbiosi e limo-sabbiosi incontrati durante le prove risultano essere in falda e quindi potenzialmente liquefacibili. L'analisi del rischio liquefazione⁷ è stata condotta con il metodo di Robertson e Wride (1997) utilizzando i valori di q_c e f_s desunti dall'elaborazione delle prove CPT eseguite. Di seguito vengono riassunti i risultati ottenuti mentre in appendice vengono riportati i fondamenti teorici del metodo applicato.

⁷ per liquefacibilità di un terreno si intende il processo che porta al pressochè totale annullamento della sua resistenza al taglio con l'assunzione del comportamento caratteristico dei liquidi.

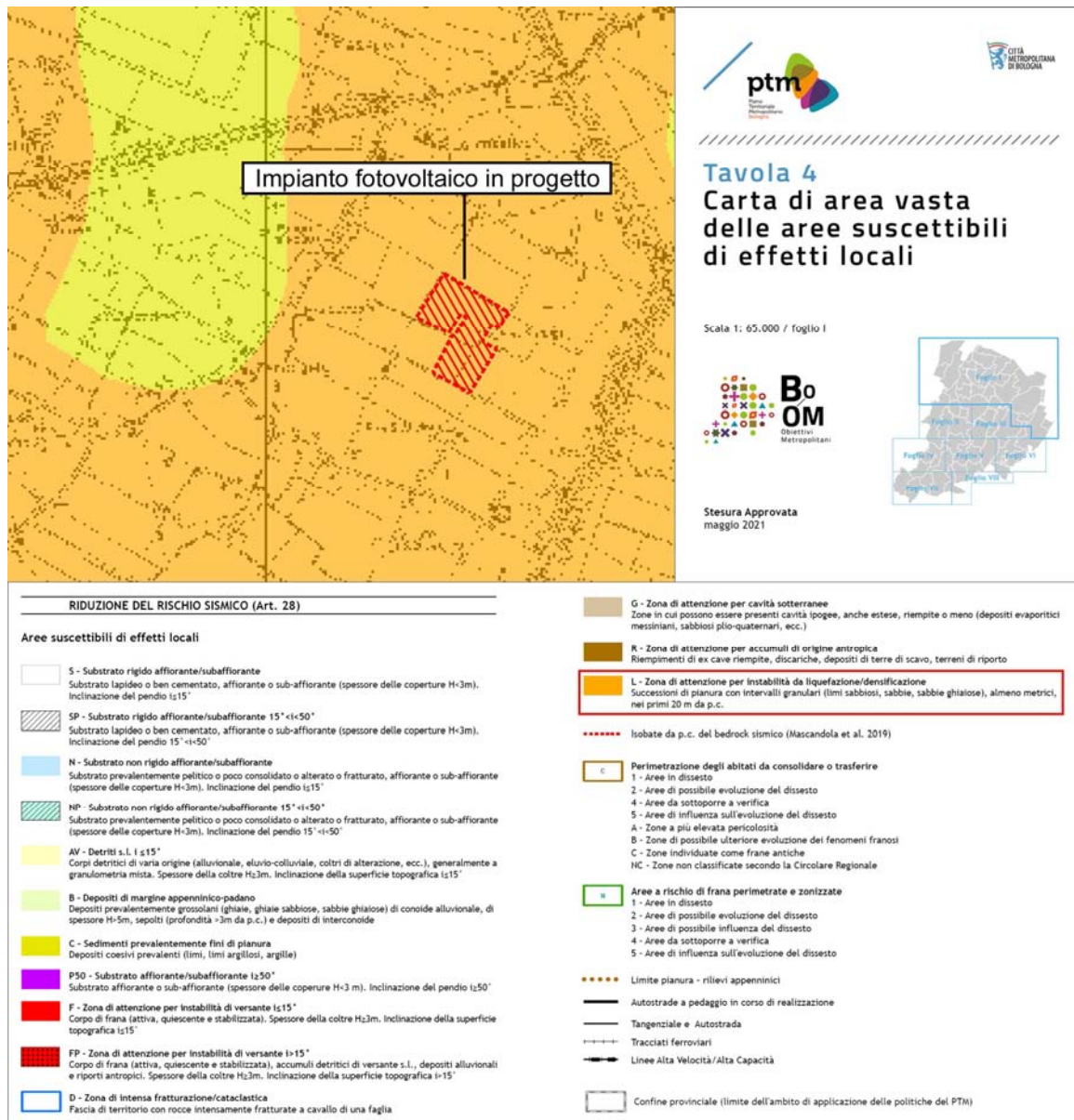


Fig. n°39: Stralcio TAV 4 a corredo del PTM

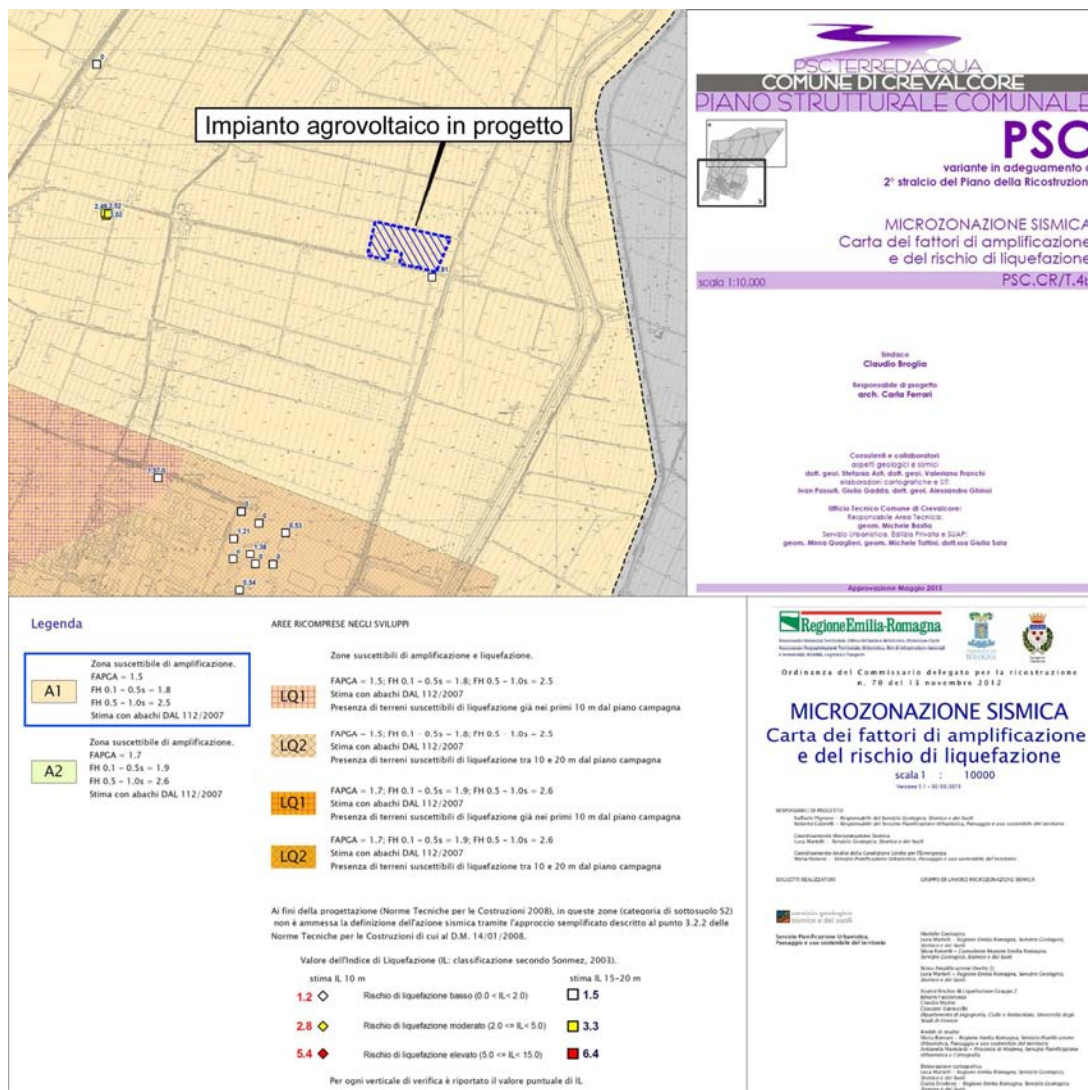


Fig. n°40: Stralcio Microzonazione Sismica



Foto n°5: Particolare delle fasi di realizzazione della prova CPT3

CPT1Dati considerati

Profondità raggiunta dalla prova = 20 m dal p.c.

Numero di strati in cui è stato suddiviso il sottosuolo = 15

Profondità della falda = 2,0 m

Magnitudo del sisma = 6.14

Accelerazione massima al suolo = 0,208

Tab. n°3

Strato	Litologia	Spessore (m)	γ_d (KN/mc)	γ_{sat} (KN/mc)	q_c (KP _a)	f_s (KP _a)	Suscettibilità liquefazione
1	Limi	0.8	16.5	18	1600	52	nessuna
2	Limi sabbiosi	1.4	18	20	2000	106	Non suscettibile
3	Argille limose	0.4	17	21	1900	127	nessuna
4	Limi sabbiosi	4.0	16	20	2700	95	Non suscettibile
5	Argille limose	0.6	16.5	18	2400	76	nessuna
6	Limi sabbiosi	1.2	16	20	3300	89	Non suscettibile
7	Argille	4.8	17	21	3300	154	nessuna
8	Limi sabbiosi	0.2	16.5	18	5800	670	Non suscettibile
9	Argille	0.8	18	20	4400	217	nessuna
10	Limi sabbiosi	0.4	16.5	18	5400	160	Non suscettibile
11	Argille limose	0.4	17	21	5900	220	nessuna
12	Limi sabbiosi	0.4	16	20	5900	110	Non suscettibile
13	Limi sabbiosi	3.2	16.5	18	11300	322	Non suscettibile
14	Argille limose	1.0	17	21	8300	517	nessuna
15	Limi sabbiosi	0.2	16	20	18000	467	Non suscettibile

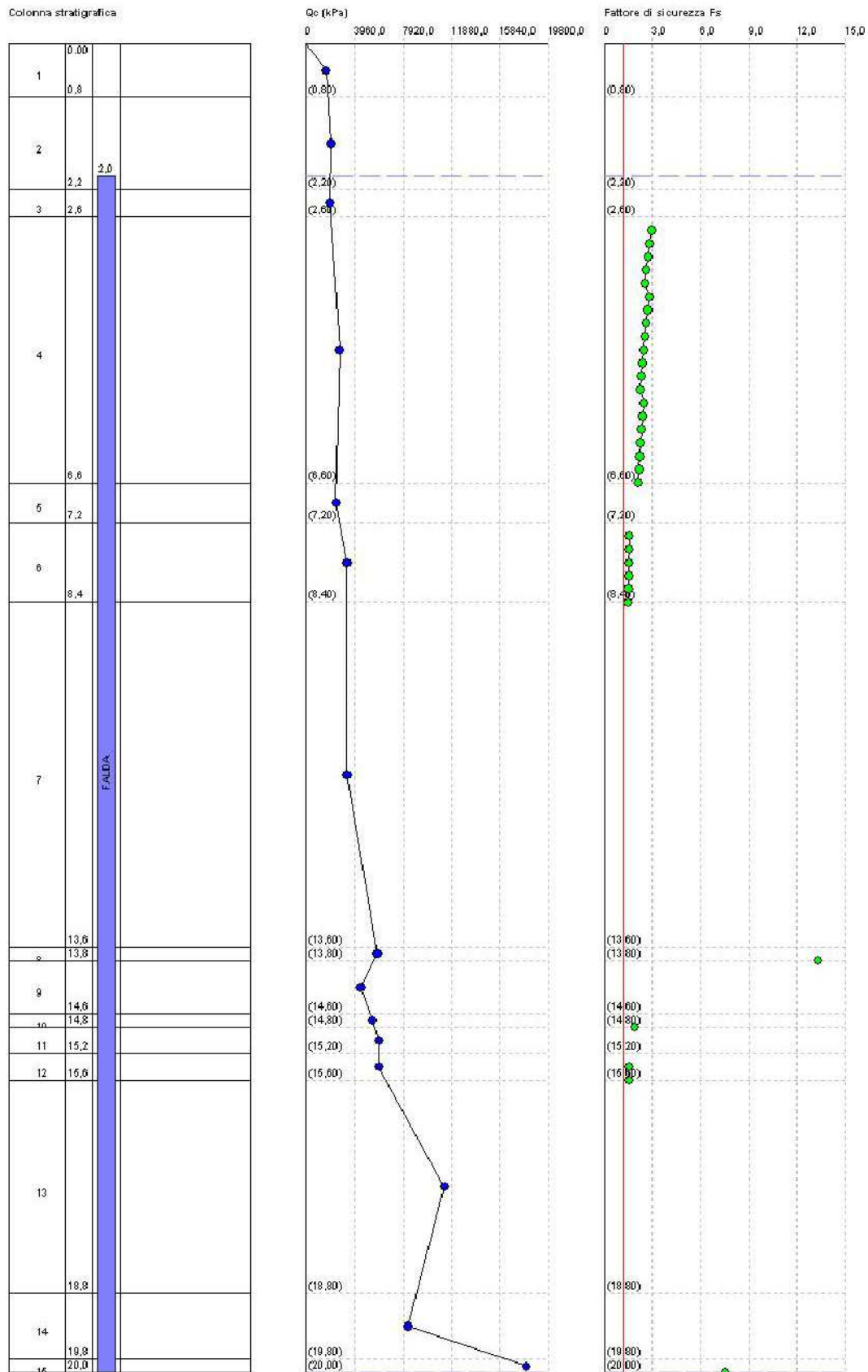


Fig. n°41:Diagramma verifica liquefacibilità del suolo riferita alla prova CPT1

CPT2**Dati considerati**

Profondità raggiunta dalla prova = 20 m dal p.c.

Numero di strati in cui è stato suddiviso il sottosuolo = 19

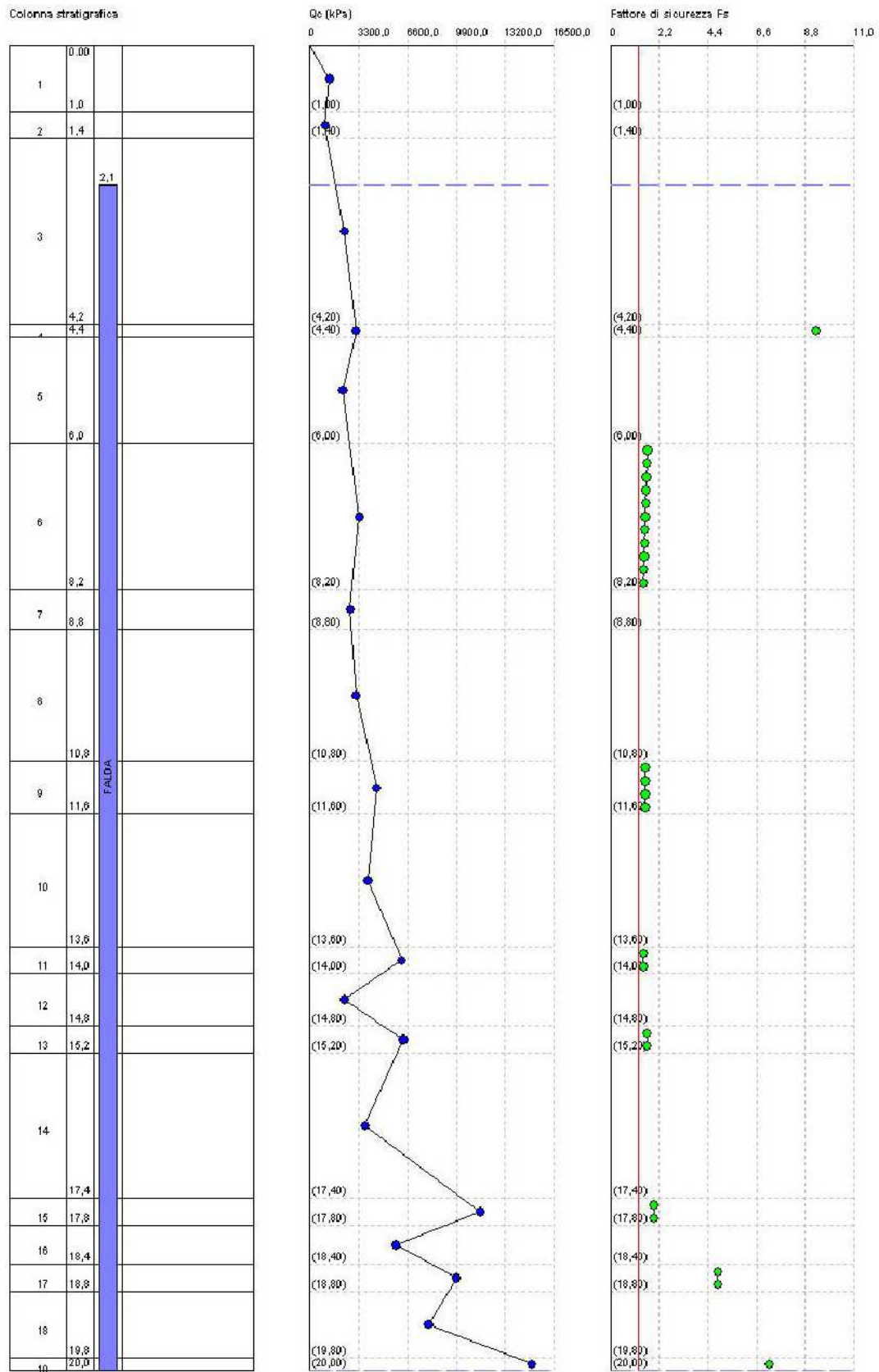
Profondità della falda = 2,1 m

Magnitudo del sisma = 6.14

Accelerazione massima al suolo = 0,208

Tab. n°4

Strato	Litologia	Spessore (m)	γ_d (KN/mc)	γ_{sat} (KN/mc)	q_c (KP _a)	f_s (KP _a)	Suscettibilità liquefazione
1	Limi	1.0	16,5	18	1300	50	nessuna
2	Argille limose	0.4	16	20	1000	110	nessuna
3	Argille limose	2.8	17	21	2300	201	nessuna
4	Limi sabbiosi	0.7	16,5	20	3100	210	Non suscettibile
5	Argille limose	1.6	18	20	2200	108	nessuna
6	Limi sabbiosi	2.2	16	20	3300	87	Non suscettibile
7	Argille limose	0.6	19	21	2700	182	nessuna
8	Argille limose	2.0	4,2	20	3100	187	nessuna
9	Limi sabbiosi	0.8	16	20	4500	108	Non suscettibile
10	Argille limose	2.0	19	21	3900	169	nessuna
11	Limi sabbiosi	0.4	16	20	6200	107	Non suscettibile
12	Argille limose	0.8	19	21	2300	125	nessuna
13	Limi sabbiosi	0.4	16	20	6300	123	Non suscettibile
14	Argille	2.2	19	21	3700	207	nessuna
15	Limi sabbiosi	0.4	16	20	11500	130	Non suscettibile
16	Argille limose	0.6	19	21	5800	338	nessuna
17	Limi sabbiosi	0.4	16	20	9900	340	Non suscettibile
18	Argille limose	1.0	19	21	8000	439	nessuna
19	Limi sabbiosi	0.2	16	20	15000	467	Non suscettibile



CPT3Dati considerati

Profondità raggiunta dalla prova = 20 m dal p.c.

Numero di strati in cui è stato suddiviso il sottosuolo = 15

Profondità della falda = 2,2 m

Magnitudo del sisma = 6.14

Accelerazione massima al suolo = 0,208

Tab. n°5

Strato	Litologia	Spessore (m)	γ_d (KN/mc)	γ_{sat} (KN/mc)	q_c (KP _a)	f_s (KP _a)	Suscettibilità liquefazione
1	Sabbie limose	0.6	17	18,5	2800	53	
2	Limi sabbiosi	2.0	16,5	18	2800	143	Non suscettibile
3	Argille limose	0.4	17	21	1800	107	nessuna
4	Limi sabbiosi	0.4	16,5	18	2700	110	Non suscettibile
5	Argille limose	5.6	17	21	2100	126	nessuna
6	Argille limose	2	17	21	3100	129	nessuna
7	Limi sabbiosi	1.2	16,5	18	4500	113	Non suscettibile
8	Argille limose	0.8	19	21	2600	137	nessuna
9	Limi sabbiosi	0.4	16,5	18	4500	120	Non suscettibile
10	Argille limose	0.6	18,3	20	5200	198	nessuna
11	Limi sabbiosi	0.8	16	20	6400	172	Non suscettibile
12	Argille limose	0.4	17	21	5900	220	nessuna
13	Limi sabbiosi	0.4	16,5	18	5900	110	Non suscettibile
14	Limi sabbiosi	3.2	17	20	11300	322	Non suscettibile
15	Argille limose	1.0	19	21	8300	517	nessuna

Dalle risultanze ottenute è possibile confermare, in accordo con quanto emerso dagli approfondimenti eseguiti in occasione della redazione della Microzonazione Sismica comunale nonché dai risultati dalle verifiche puntuali eseguite contenute nella Relazione geologica a cura dei dott. Geol. F. Barbieri e R. Ropa, come il suolo non sia liquefacibile ed il rischio da considerarsi molto basso e quindi, in riferimento all'opera in progetto, del tutto accettabile.

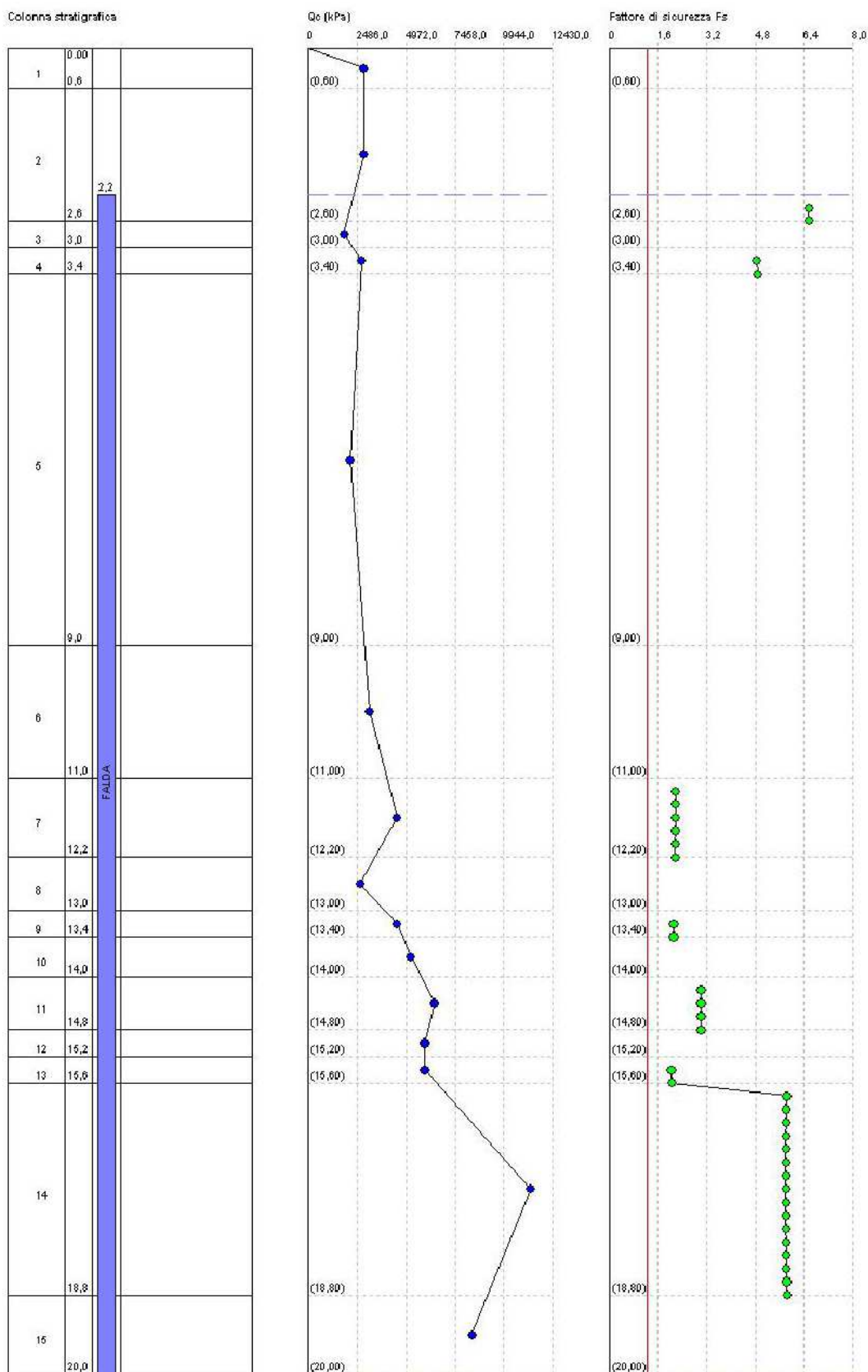


Fig. n°43:Diagramma verifica liquefacibilità del suolo riferita alla prova CPT3

Fattori di pericolosità geologica e rischio sismico

In base ai dati desunti dagli studi a corredo del PSC, del PUG e del PTM, dalle prove penetrometriche e dalla prova sismica eseguite per il presente studio, è possibile confermare come il sottosuolo sia costituito da prevalenti litologie argilloso-limose e limoso-sabbiose, con più sottili intercalazioni di limi sabbiosi passanti a sabbie.

La zona è inoltre inondabile per tempi di ritorno di 20 – 50 anni.

Secondo la *"Carta della pericolosità sismica locale – effetti sito"*, Tav. QC.6 T7a del PSC dell'Associazione Terre d'Acqua, l'area in oggetto rientra nei *"depositi alluvionali"* con $V_{s30} < 800$ m/s, caratterizzati da un *"effetto di sito"* corrispondente alla *"amplificazione litologica"*; il rischio di liquefacibilità dei suoli, anche se ritenuto basso (1.5) come riportato dalla *"Microzonazione sismica – Carta dei fattori di amplificazione e del rischio liquefazione"* a corredo del PSC, non è da escludere. Le verifiche effettuate sulle verticali penetrometriche eseguite per il presente lavoro, nonché dalle risultanze dello studio geologico redatto a cura dei dott. Geol. F. Barbieri e R. Ropa a corredo della richiesta di A.U. per il confinamento impianto fotovoltaico Zenerigolo 1, hanno determinato che il terreno non risulta suscettibile di liquefazione ed il rischio può essere ritenuto molto basso.

L'accelerazione sismica orizzontale massima, sulla verticale del sito, tenendo conto dei coefficienti di amplificazione imposti dalle NTC medesime in merito alle condizioni stratigrafiche (categoria C) e topografiche (categoria T1) dell'area, per il summenzionato $T_r=332$ anni raggiunge il valore:

$$a_{\max} = a_g \times S = a_g \times S_s = 0,139 \times 1,5 = 0,208 \text{ g}$$

CONCLUSIONI

Lo studio geologico, geotecnico e sismico condotto, anche sulla scorta dell'ampia bibliografica disponibile, ha permesso di stabilire che da un punto di vista geologico-geotecnico e sismico, l'area oggetto di intervento non presenta particolari controindicazioni alla realizzazione di un impianto agrovoltico quale quello in progetto.

L'area ove è prevista la realizzazione dell'impianto fotovoltaico è posta a quote topografiche dell'ordine di 21 m slm: l'andamento planimetrico della superficie è piatto e regolare con una debole pendenza verso NNE pari a circa 1%.

Le prove eseguite hanno consentito di definire un preliminare⁸ modello litostratigrafico e geotecnico dei terreni presenti nel primo sottosuolo, evidenziando la presenza di materiali limo-argillosi e limo-sabbiosi con discrete caratteristiche geotecniche presenti fino alla profondità massima investigata (20 metri di profondità).

I rilevamenti effettuati hanno messo in evidenza che l'area non è interessata da processi geomorfologici attivi e che la prima falda si attestava, alla data delle indagini, ad una profondità di circa 2 metri dal p.c..

Per quanto riguarda la vulnerabilità degli acquiferi, si evidenzia che, l'acquifero più superficiale presenta indici propri di una vulnerabilità intrinseca bassa (condizione più diffusa in presenza di terreni di copertura poco permeabili).

E' stato verificato come relativamente al "**Reticolo Principale**" (RP) l'area ricada in area allagabile, dal F. Reno e T. Samoggia, a cui è associato un "*livello di probabilità elevato*" (alluvioni frequenti TR 20 - 50anni) e di rischio medio.

Per quanto concerne il "**Reticolo secondario di pianura**" (RSP) l'area in studio è invece interessata da uno scenario di "*media probabilità*" per alluvioni meno frequenti (TR 100/200anni) a cui è associato un grado di rischio moderato o nullo.

Ciò premesso il progetto ha tenuto conto dei dettami del PGRA per le aree ricadenti nelle "aree di pericolosità alta P3" (azione M2 Prevenzione con – M23 Riduzione della vulnerabilità degli elementi esposti) prevedendo il piano di calpestio dei locali cabine elettriche ad una quota rialzata di 60 cm rispetto al piano campagna, sufficiente a ridurre la vulnerabilità e adeguata al livello di pericolosità ed esposizione; si conferma che non sono previsti piani interrati e/o seminterrati. Il progetto ha altresì previsto la realizzazione di impianti elettrici con accorgimenti tali da assicurare la continuità del funzionamento dell'impianto fotovoltaico anche in caso di alluvionamento.

Nella zona in esame e soprattutto in quelle circostanti, sono presenti strutture tettoniche (sinclinali, monoclinali e anticlinali), che testimoniano una attività delle sollecitazioni tettoniche medesime, tali da indurre un pericolo sismico non trascurabile.

⁸ le indicazioni tratte dalle tre prove penetrometriche eseguite hanno carattere ed indicativo e non possono in alcun modo sostituire gli opportuni approfondimenti necessari alle fasi esecutive.

Le indagini eseguite hanno permesso di classificare il sito, in base a quanto previsto dal D.M. 14.01.2018 nella categoria di sottosuolo C; l'accelerazione sismica orizzontale attesa è risultata pari a $a_{max} = 0,208 g$

La frequenza di vibrazione principale del terreno si colloca a 0,8 Hz.

il rischio di liquefacibilità dei suoli, anche se ritenuto basso (1.5) come riportato dalla "Microzonazione sismica – Carta dei fattori di amplificazione e del rischio liquefazione" a corredo del PSC, non è da escludere. Le verifiche effettuate sulle verticali penetrometriche eseguite per il presente lavoro, nonché dalle risultanze dello studio geologico redatto a cura dei dott. Geol. F. Barbieri e R. Ropa a corredo della richiesta di A.U. per il confindato impianto fotovoltaico Zenerigolo 1, hanno determinato che il terreno non risulta suscettibile di liquefazione ed il rischio può essere ritenuto molto basso.

Nei termini indicati si ritiene l'intervento in esame possa essere idoneo e compatibile nei confronti degli aspetti geologici, idrogeologici, geotecnici e di pericolosità sismica locale rilevati.

Si consiglia in fase di realizzazione dell'impianto, di approfondire le conoscenze litostratigrafiche dell'area al fine di scongiurare la presenza di eventuali porzioni ove il sottosuolo sia caratterizzato da matrici maggiormente cedevoli che potrebbero generare cedimenti tali da pregiudicare il buon funzionamento dell'impianto.





Comune di San Giovanni in Persiceto
Provincia di Bologna

Impianto Agrivoltaico "San Giovanni in Persiceto 2" **Potenza Nominale 7,51 MWp**

P.A.U.R.

ai sensi dell'art.23 e 27bis del DLgs 152/2006
e dell'art.20 LR 4/2018

a cura:

studio Lusignani

via Arata 18-20
29122 Piacenza
tel. e fax 0523.454120
e.mail: glusig@tin.it

committente:

JUWI

Juwi Energie Rinnovabili srl

Via Giovanni Battista Pirelli 30, 20124 Milano
juwienergierinnovabilisrl@legalmail.it

Relazione geologica, idrogeologica e sismica

Aprile 2026

PREMESSA	pag. 3
INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E TERRITORIALE	pag. 7
INQUADRAMENTO GEOLOGICO	Pag. 8
• Lineamenti geologici regionali.	Pag. 9
• Caratteristiche litologiche superficiali	Pag. 11
• Idrografia	Pag. 13
• Il Piano di Gestione Rischio Alluvioni	Pag. 15
• Perimetrazione aree allagate eventi emergenziali 2023 e 2024.	Pag. 18
• Il Piano di Tutela delle Acque	Pag. 22
• Caratteristiche idrogeologiche	Pag. 23
• Lineamenti e caratteristiche geolitologiche	Pag. 25
• Il fenomeno della subsidenza	Pag. 27
INDAGINI GEOGNOSTICHE	pag. 29
• Prove penetrometriche statiche CPT	pag. 29
• Indagine sismica HVSr	pag. 32
CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO.....	pag. 36
• Parametri geotecnici desunti dalle prove CPT: formule utilizzate	Pag. 36
MODELLO GEOTECNICO E VALORI CARATTERISTICI	pag. 39
CLASSIFICAZIONE SISMICA DELL'AREA	pag. 40
• Sollecitazioni sismiche	pag. 40
• Amplificazione topografica	Pag. 42
• Categoria di sottosuolo e coeff. di amplificazione stratigrafica	Pag. 42
• Accelerazione orizzontale massima attesa al sito ..	Pag. 43
• Analisi di disaggregazione	Pag. 43
• Microzonazione sismica	Pag. 45
• Valutazione alla suscettibilità alla liquefazione	Pag. 46
• Fattori di pericolosità geologica e rischio sismico	Pag. 56
CONCLUSIONI	pag. 57

ALLEGATI:

- Diagrammi e tabelle di calcolo dei parametri geotecnici desunti dalle prove penetrometriche statiche CPT (punta meccanica)
- Elaborazione prova sismica HVSr
- Fondamenti teorici metodo "Robertson e Wride" per verifica liquefacibilità terreni

PREMESSA

Il presente studio analizza le caratteristiche geologiche, geotecniche e sismiche, di un'area ubicata a oltre 3 km a Nord-Est di San Giovanni in Persiceto in località "Fondo S.Luigi"; l'area si estende su di una superficie di mq 97347.

Il progetto prevede la realizzazione di un "parco agrovoltaico" con pannelli installati a terra dotati di "inseguitore solare"; la potenza di picco prevista è pari a circa 7.5 MWp. L'area di intervento è censita al Foglio N° 66, mappali 43, 44, 47, 77, 79 e 101 31 del comune censuario di San Giovanni in Persiceto.

La soluzione di connessione alla rete di E-Distribuzione per il dispacciamento dell'energia prodotta dall'impianto agrivoltavoltaico prevede il collegamento, mediante un cavidotto di MT interrato di lunghezza pari 1.700 m che collegherà la cabina di consegna con un'esistente cabina primaria di proprietà E-Distribuzione denominata DE001-384626 S. Giovanni in Persiceto) posta a circa 1,2 km verso ovest in fregio alla strada vicinale Puglia.

Le strutture di sostegno dei pannelli consisteranno in fondazioni a palo infisso con profondità standard di infissione di circa 2,0m.

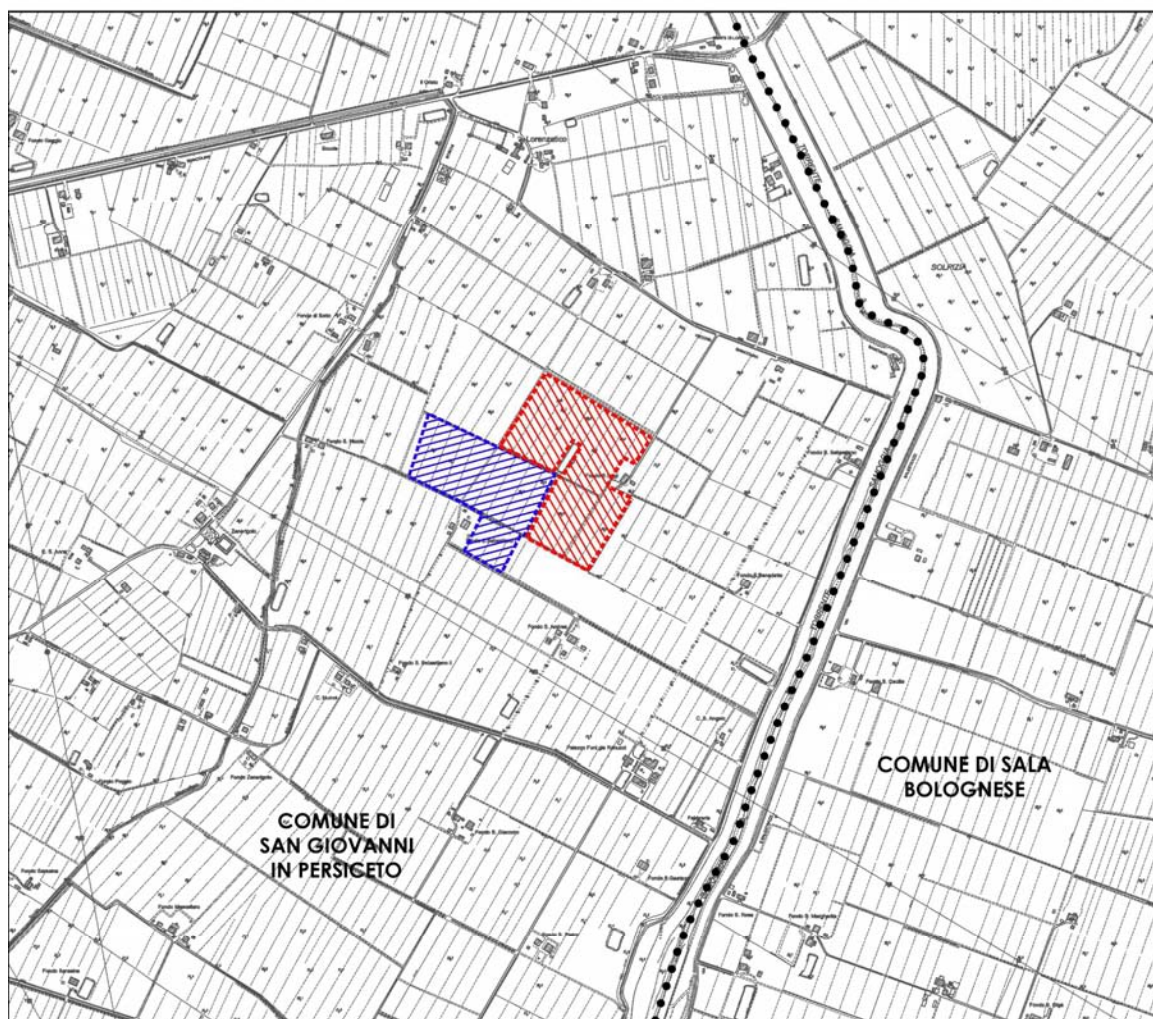
Sulla base delle indagini geognostiche eseguite nonché dalla raccolta dei dati bibliografici disponibili è stato possibile ricostruire l'assetto litostratimetrico e le caratteristiche idrogeologiche, geotecniche e sismiche del sottosuolo che sarà interessato dalle opere in progetto.

Si segnala infine che nell'area contigua a Sud-Ovest (presso le località Fondo S.Nicola e Fondo S.Sebastiano), nel febbraio 2024¹ è stato autorizzato, alla medesima Juwi Energie Rinnovabili srl, un impianto fovoltaico di potenza nominale pari a 7 MWp.

¹ A.U. 634/2024

INQUADRAMENTO TERRITORIALE

scala 1:20.000



LEGENDA:



Impianto agrivoltaico in progetto



Limiti Comunali

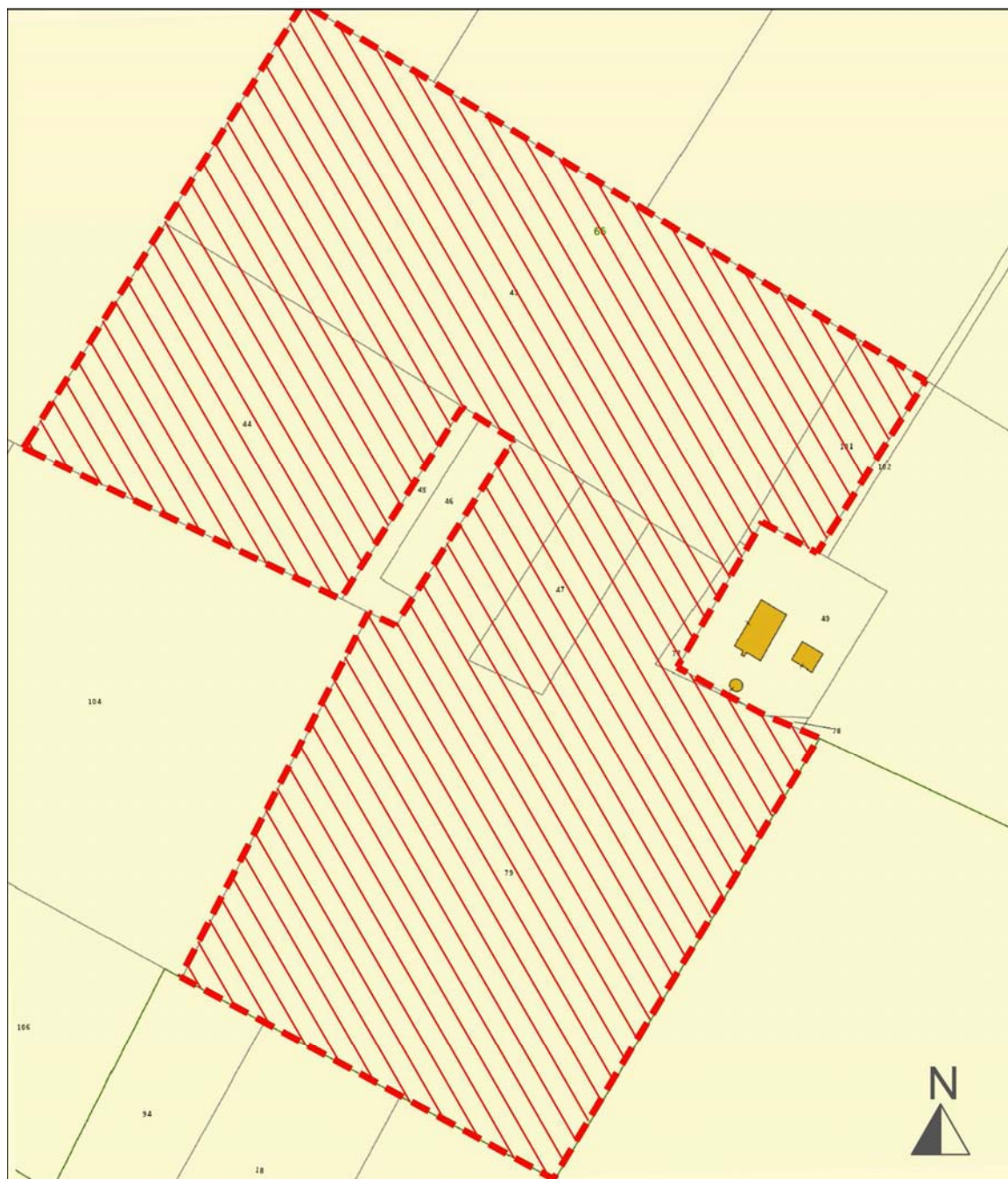


Impianto fotovoltaico "Zenerigolo 1"
(A.U. n°634 del 5/2/2024)



Fig. n°1: Inquadramento territoriale

PLANIMETRIA CATASTALE scala 1:3.000



LEGENDA:



Impianto fotovoltaico in progetto,
(Comune di S.Giovanni in Persiceto, Foglio 66 map. 43, 44, 47, 77, 79, 101)

Fig.n°2: Estratto di mappa catastale

FOTO AEREA scala 1:5.000



LEGENDA:



Impianto fotovoltaico in progetto



Fig. n°3: Foto aerea dell'are di intervento



Fig. n°4 Coordinate baricentriche dell'area di intervento

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E TERRITORIALE

Il territorio del comune di San Giovanni in Persiceto si inserisce nella porzione nord-occidentale della Provincia di Bologna, incuneato fra le provincie di Modena e di Ferrara; esso si sviluppa in un'area di bassa pianura alluvionale interamente formata da depositi di corsi d'acqua di provenienza appenninica, nella fascia di interferenza fra gli alvei e i canali di delta interno del Fiume Panaro e del Fiume Reno e dei suoi affluenti Samoggia e Lavino; il territorio comunale presenta una morfologia regolare con quote che variano da Sud a Nord da circa 35 m s.l.m. a circa 15 m s.l.m.

Il sito in esame, posto nella porzione nord-orientale del territorio comunale, si colloca in aperta campagna e dista oltre 500m dalla sponda sinistra del torrente Samoggia e dalla sponda destra dello Scolo Mascellaro; il più importante "Collettore delle Acque Alte" resta ad oltre 1 km di distanza verso Nord-ovest.

La superficie deputata ad ospitare l'impianto agrivoltaico è pianeggiante ed è posta ad una quota prossima ai 21 m s.l.m.; l'area di intervento è attraversata da una linea elettrica MT aerea: nelle vicinanze è presente un modesto invaso utilizzato a scopi agricoli.



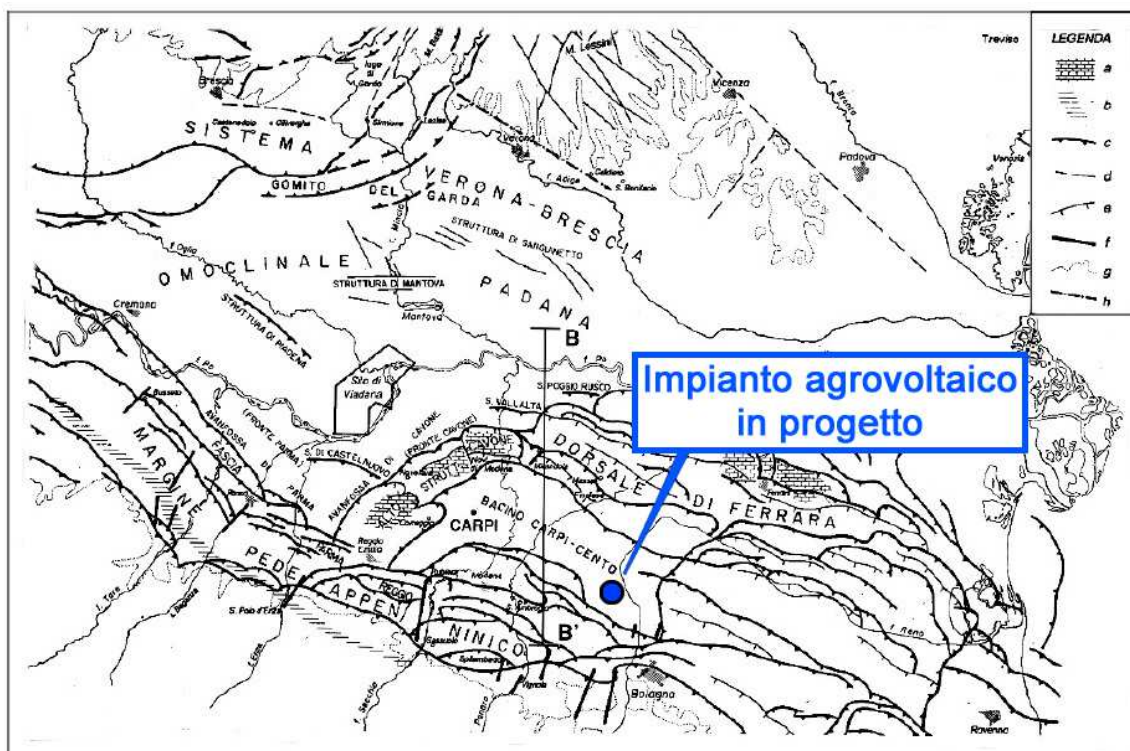
Foto n°1: Panoramica da volo SAPR dell'area di intervento

INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Lineamenti geologici regionali

L'evoluzione geologica del territorio in studio va necessariamente in primo luogo inquadrata in un contesto regionale; l'assetto geologico complessivo 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. Normalmente si è in 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) che sovrastano le strutture appenniniche sepolte, d'età Miocenica (2,4- 5,4 Milioni di Anni fa). Vi è poi la presenza di un complesso sistema di pieghe compressive e faglie, orientate da NNO a SSE, ovvero da ONO a ESE o ancora Nord-Sud. Ricadute sismiche dei movimenti delle strutture sepolte sono registrabili nella storia sismica dell'area padana entro cui l'area di intervento si inserisce.

Questo andamento ad archi di pieghe del fronte sepolto dell'Appennino, di messa in posto sempre più recente man mano si procede verso le aree più esterne, è da correlarsi con il movimento di rotazione della catena in senso antiorario, che genera raccorciamenti cristallini di crescente intensità spostandosi dai settori occidentali a quelli orientali.



Legenda: a) nucleo carbonatico, mesozoico sepolto; b) minimo dell'anomalia gravimetrica; c) accavallamento principale; d) faglia verticale; e) faglia diretta; f) faglia diretta trasversale al margine appenninico; g) limite tra rilievo e pianura; h) faglia di "Verona". B-B: traccia di sezione (rif. Fig. 6.2)

- *Carta degli elementi tettonici significativi dell'area Padana centro-orientale*³

Fig. n°5: Inserimento nel contesto tettonico della pianura dell'area di intervento

Lineamenti geomorfologici generali

A scala regionale l'andamento dei paleoalvei e degli alvei attuali è stato evidentemente condizionato dall'evoluzione strutturale profonda avuta dalla Pianura Padana²; parallelamente a ciò vanno considerati anche i parametri climatici, che hanno certamente avuto un ruolo rilevante nel condizionare l'entità e la distribuzione temporale degli eventi caratterizzanti la dinamica fluviale.

Il territorio comunale è in gran parte interessato dai depositi di delta interno del fiume Panaro e più direttamente del Reno, di età medievale.

Per quanto riguarda il fiume Reno, si ritiene che in origine, uscendo da Casalecchio e dopo aver costeggiato Bologna, scorresse più verso est, dalla zona di Pescarola-Corticella alle terre più basse di Minerbio e Baricella per innestarsi in un alveo antico del Po a sud di Ferrara (detto poi Primaro).

L'attività sedimentaria fu particolarmente intensa in epoca alto medievale e poi diminuì progressivamente, cessando del tutto, in epoca piuttosto recente, solo dopo la robusta arginatura degli alvei del Panaro e del Reno. I sedimenti di riempimento di questi canali di delta interno, nel complesso piuttosto fini, sono costituiti da sabbie fini limose, passanti a limi sabbiosi e limi.

La zona in esame è caratterizzata dalla presenza di strisce rilevate, dette "dossi", corrispondenti ad alvei antichi od attuali pensili sulla pianura circostante e da zone morfologicamente depresse, dette "valli", all'interno delle quali l'acqua tenderebbe a ristagnare, se non allontanata dai canali di bonifica. I dossi e i paleodossi sono di forma generalmente allungata e sinuosa, poco rilevanti e dolcemente raccordanti alle superfici adiacenti.

Con particolare riferimento alla cartografia allegata al PSC (vedi stralcio TAV. QC.6/t2a di seguito allegata), i dossi fluviali di maggiori dimensioni si riconoscono a nord di San Giovanni in Persiceto, con sviluppo in direzione N-S parallelamente al confine comunale, a Est, lungo il corso del fiume Reno e del torrente Samoggia e Lavino.

La distribuzione dei dossi e, più in generale, delle unità geomorfologiche degli argini naturali e dei bacini interfluviali ha condizionato e condiziona tuttora sia l'assetto idraulico di superficie che la distribuzione degli insediamenti antropici, soprattutto storici: le strutture rilevate (dossi), vere e proprie direttrici geomorfologiche, sono state infatti sede preferenziale dello sviluppo insediativo e viario, a causa della migliore difesa dalle esondazioni e delle migliori condizioni geotecniche dei terreni; al contrario le aree depresse, specie nelle zone di vera e propria conca, sono state sede di paludi ed acquitrini fino alla avvenuta bonifica.

² a dimostrazione di ciò si veda l'andamento del Fiume Po che, in corrispondenza delle propaggini occidentali della "dorsale ferrarese" devia il suo corso verso NE, mentre i corsi d'acqua appenninici sono a loro volta condizionati anche dagli elementi secondari trasversali

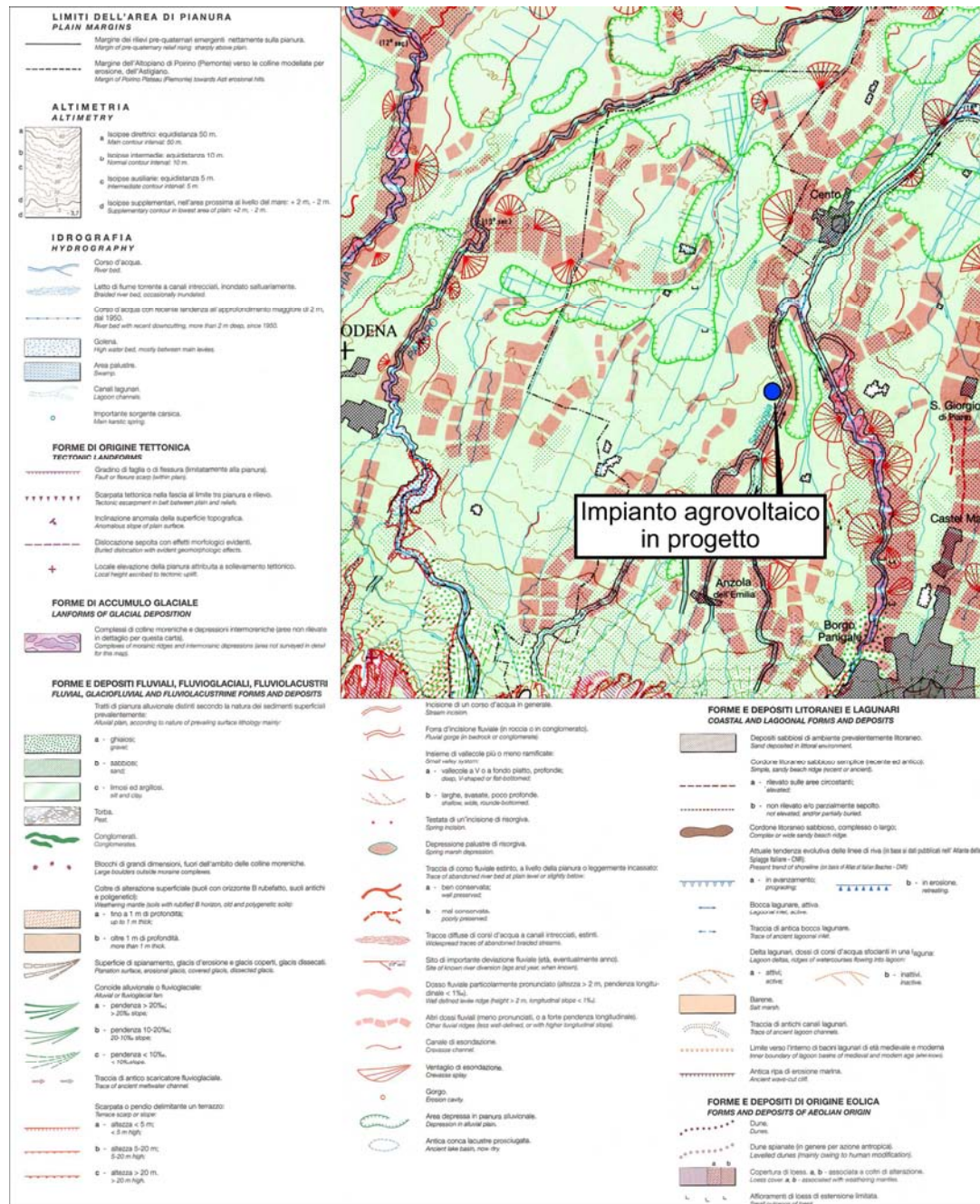
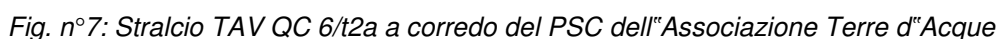


Fig. n°6: "carta geomorfologica della Pianura" Carta geomorfologica della Pianura Padana (G. B. Castiglioni e G. B. Pellegrini 1999) che illustra la complessa alternanza di corpi di paleoalveo (in rosso) e depressioni intervalvee (in verde), talvolta limitate da piccole scarpate morfologiche (linee verdi).



I litotipi presenti sono costituiti da un insieme di orizzonti lentiformi che sfumano più o meno gradualmente tra loro e che evidenziano una distribuzione non omogenea, ma legata alle passate evoluzioni idrografiche dei fiumi e corsi d'acqua che hanno generato il territorio.

La litologia superficiale del territorio in esame è prevalentemente dominata da litotipi fini e medio fini quali argille e limi con relativi termini intermedi. Da un punto di vista stratigrafico la zona in studio risulta caratterizzata da una dominante sequenza di terreni fini argillosi e limosi, ai quali si intercalano lenti e livelli di terreni più grossolani, rappresentati da sabbie e sabbie limose, di spessore metrico, per poi tornare a terreni fini continui fino ad almeno 30 metri, in buon accordo con i risultati delle prove penetrometriche effettuate.

Vi è da notare che i terreni prevalentemente grossolani, sabbiosi-limosi, corrispondono in genere alle zone topograficamente più rilevate e rappresentano paleovalle dei corsi d'acqua sia principali sia minori, che divagavano in epoche recenti, mentre i terreni più fini, argillosi, corrispondono alle zone vallive e/o depresse (quale il caso in esame).

La morfologia pianeggiante dell'area è quasi perfettamente piana, con pendenze molto blande verso N-NE, nell'ordine del 1-2 per mille con quote medie del piano campagna di circa 15 metri s.l.m.

Attualmente l'evoluzione geomorfologica dell'area è per lo più imputabile all'uomo, che con la propria azione ha in parte inibito i fattori morfogenetici naturali, assumendo un ruolo predominante nelle trasformazioni del paesaggio.

Si riporta, di seguito, un estratto su base semplificata della Carta della litologia di superficie (QC.6/t1) del quadro conoscitivo del PSC Terre d'acqua (QC.6/R).

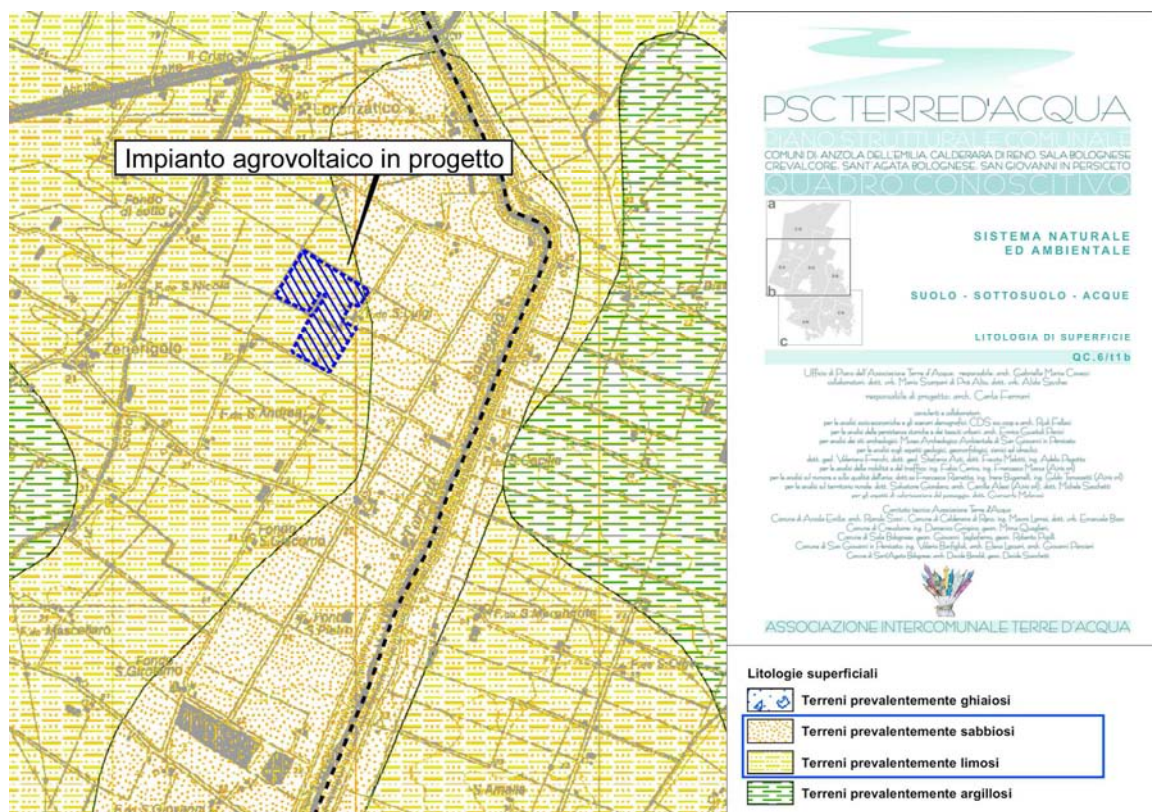
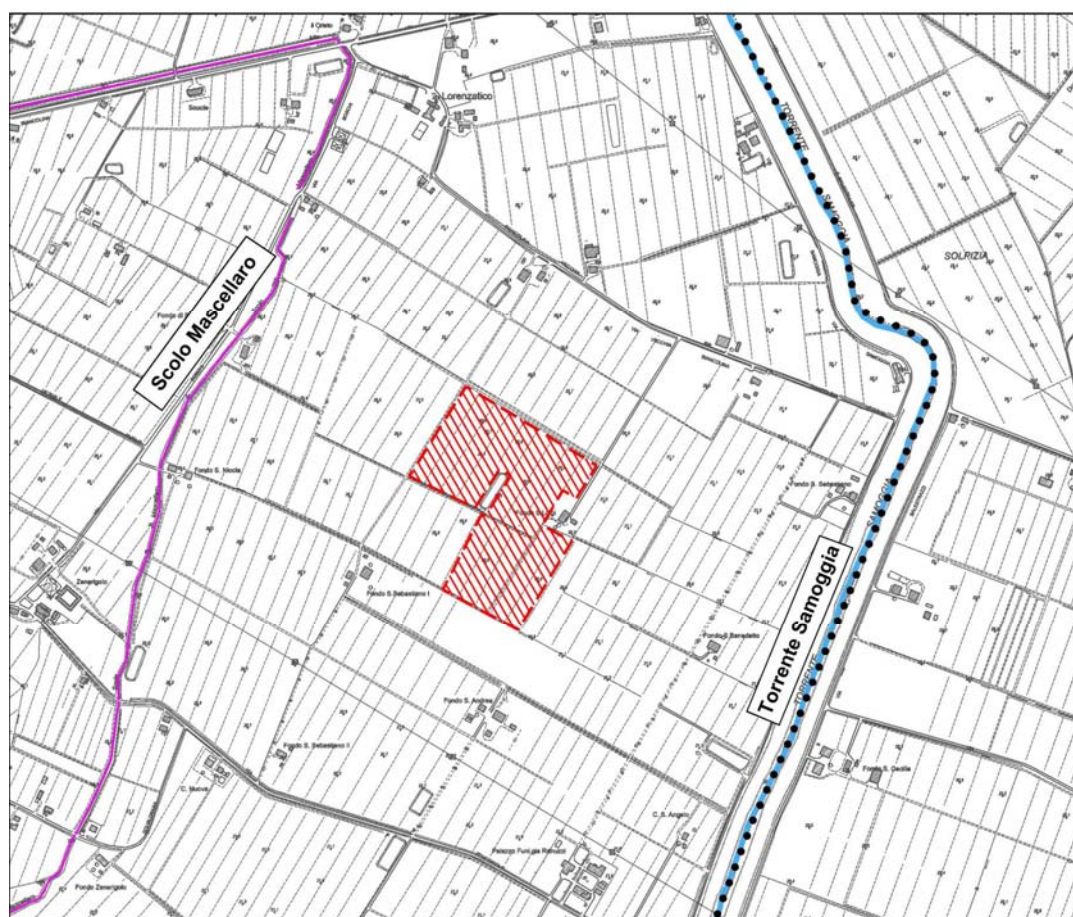


Fig. n°8: Stralcio TAV QC 6/t1b a corredo del PSC dell'Associazione Terre d'Acqua

Idrografia

Dal punto di vista di "area vasta" l'elemento idrografico di maggior rilievo è costituito F. Reno che interessa i territori comunali di Calderara di Reno, Sala Bolognese e San Giovanni in Persiceto per una lunghezza complessiva di circa 23 Km; lungo il proprio tracciato si presenta completamente arginato con alveo incassato che si amplia a tratti a formare casse di espansione. Più in particolare, l'area di intervento è situata all'interno del bacino scolante compreso tra il Canale di Bonifica "Scolo Mascellaro Inf." ad Ovest e il corso del "Torrente Samoggia" ad Est che scorre ad oltre 500 m di distanza dal suo confine orientale; nel suo intorno l'idrografia è costituita dalla presenza di canali artificiali ad uso scolante, irriguo e promiscuo finalizzati al drenaggio delle acque di circolazione superficiale verso i corsi d'acqua principali.



LEGENDA:

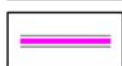


Impianto agrivoltaico in progetto

Reticolo di competenza del Consorzio della Bonifica Burana:



Reticolo idraulico naturale (Torrente Samoggia)



Canale di Bonifica (Scolo Mascellaro Inf.)



Fig. n°9: Carta dell'idrografia di superficie

Impianto agrovoltaico in progetto

ELEMENTI CHE ESCLUDONO LE TRASFORMAZIONI DEL TERRITORIO

- Aste dei corsi d'acqua principali
- Reticolo idrografico (Consorzio di Bonifica Reno Palata)
- Sprofondamenti superficiali
- Aree morfologicamente depresse a deflusso idrico difficoltoso
- Casse di espansione

ELEMENTI CHE CONDIZIONANO E/O LIMITANO LE TRASFORMAZIONI DEL TERRITORIO

- Aree aventi resistenza meccanica media del I° strato (1 - 4 m) < 8 kg/cmq, ovvero con caratteristiche meccaniche scadenti e per le quali sono necessari in fase attuativa maggiori approfondimenti diagnostici
- Aree con caratteristiche di portanza del II° strato (4 - 7 m) e III° strato (7 - 10 m) inferiori a quelle del I° strato (1 - 4 m), ovvero aree sulle quali sono necessari in fase attuativa maggiori approfondimenti diagnostici ed attente valutazioni dei cedimenti
- Aree caratterizzate da liquefazione dei terreni molto probabile in caso di sisma ($F_S < 1$)
- Aree morfologicamente depresse e/o a debolissima pendenza
- Criticità idrauliche (segnalazioni del Consorzio di Bonifica Reno Palata)

Vulnerabilità naturale dell'acquifero

- Estremamente elevata
- Elevata

Subsidenza totale del periodo 1983 - 1999

- 600 - 800 mm
- 800 - 1000 mm

Bacini fognari

- Aree in sofferenza idraulica non in grado di sopportare ulteriori carichi idraulici che richiedono interventi idraulici di sgancio già nello stato di fatto
- Aree in sofferenza idraulica non in grado di sopportare ulteriori carichi idraulici

Fig. n°10: StralcioTAV. QC.6 T2a "Emergenze criticità limiti e condizioni alle trasformazioni" a corredo del PSC dell'Associazione Terre d'Acqua

Il Piano gestione rischio alluvioni

Il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni è l'insieme di misure e strumenti che riguardano gli aspetti della gestione del rischio di alluvioni: ha come obiettivo la riduzione delle conseguenze negative delle inondazioni attraverso l'attuazione prioritaria di interventi non strutturali, di azioni per la riduzione della pericolosità e pratiche sostenibili. E' predisposto dall'Autorità di Bacino distrettuale e dalle Regioni del Distretto Idrografico, in coordinamento tra loro e con il Dipartimento Nazionale di Protezione civile. Le Mappe della Pericolosità da Alluvione rappresentano l'estensione potenziale delle inondazioni causate dai corsi d'acqua (naturali ed artificiali) con riferimento a tre scenari:

- scarsa probabilità di alluvioni (P1, pericolosità bassa);
- alluvioni poco frequenti (P2, pericolosità media);
- alluvioni frequenti (P3, pericolosità elevata).

Gli scenari sopra descritti sono rappresentati in carta con tre tonalità di blu', associando al diminuire della frequenza di allagamento il diminuire dell'intensità del colore.

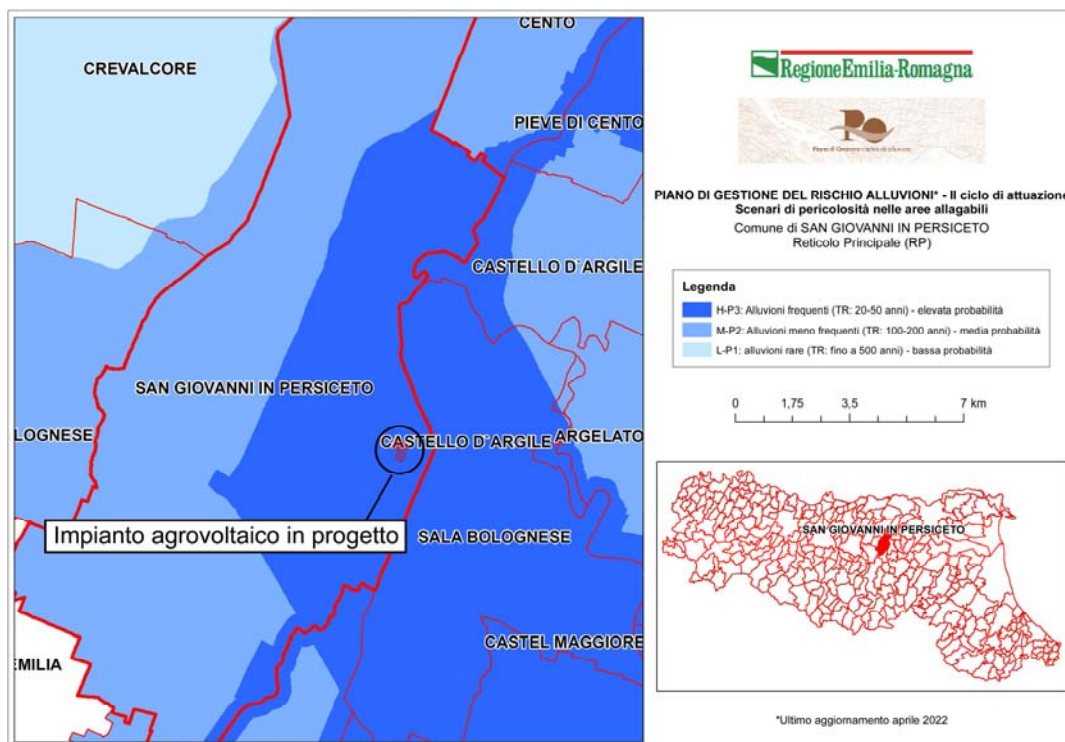


Fig. n°11: Inquadramento dell'area oggetto di intervento su base Direttiva Europea 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni Mappa della pericolosità e degli elementi potenzialmente esposti (art. 6 della Direttiva 2007/60/CE e art. 6 del D.Lgs. 49/2010). Ambito territoriale: Reticolo Principale; come si può notare le aree in studio sono interessate da uno scenario di elevata probabilità dovuto ad alluvioni frequenti.

Le Mappe del Rischio indicano invece la presenza degli elementi potenzialmente esposti³ che ricadono nelle aree allagabili e la corrispondente rappresentazione in 4 classi di rischio:

- R4 molto elevato – viola (in carta)

³ popolazione coinvolta, servizi infrastrutture, attività economiche, etc.

- R3 elevato - rosso
- R2 medio - arancione
- R1 moderato (o nullo) – giallo.

Dall'analisi degli stralci riportati si evince come il territorio interessato dal futuro campo agrivoltaico, relativamente al "**Reticolo naturale Principale**" (RP) ricada in area allagabile, dal F. Reno e T. Samoggia, a cui è associato un livello di probabilità elevato (alluvioni frequenti TR 20 - 50anni) e di rischio medio.

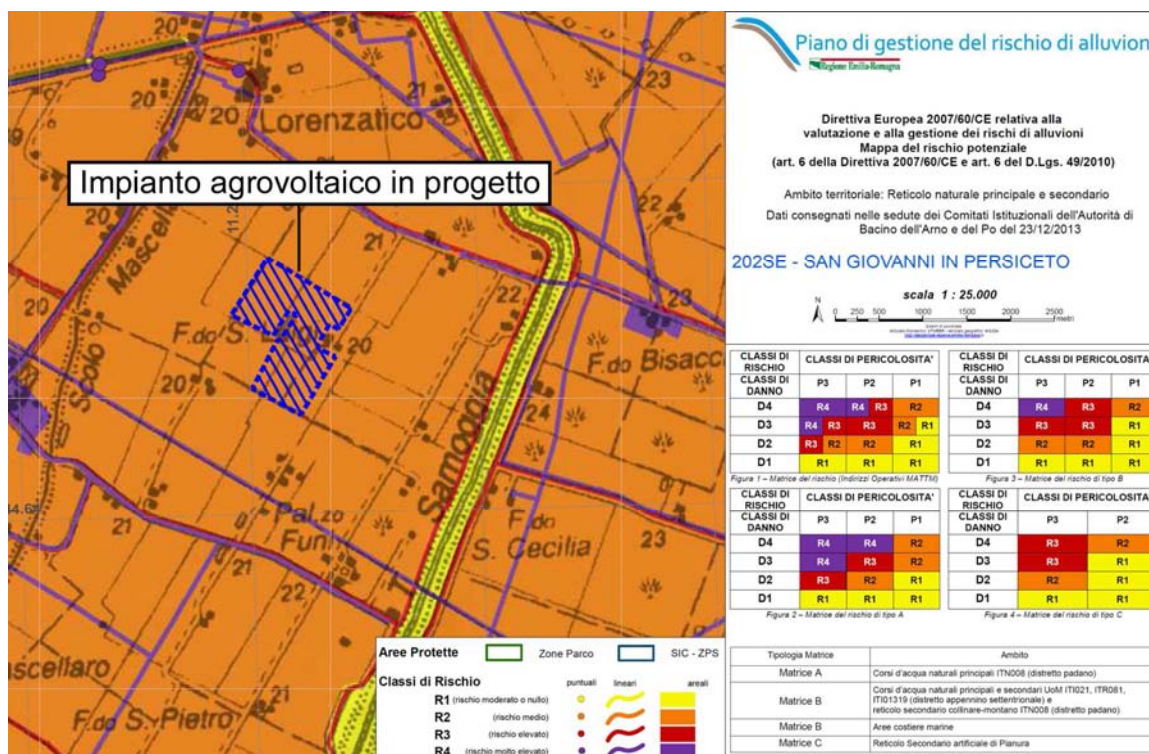


Fig. n°12: Inquadramento dell'area in studio su base Direttiva Europea 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni Mappa del rischio potenziale (art. 6 della Direttiva 2007/60/CE e art. 6 del D.Lgs. 49/2010). Ambito territoriale: Reticolo Secondario di Pianura; come si può notare le aree in studio sono interessate da una classe di rischio "moderato".

Per quanto concerne il "**Reticolo secondario di pianura**" (RSP) è costituito dai corsi d'acqua secondari di pianura gestiti dai Consorzi di bonifica e irrigui. La perimetrazione delle aree potenzialmente allagabili è stata effettuata con riferimento agli scenari di alluvione frequente (P3) e poco frequente (P2) previsti dalla Direttiva. Il metodo di individuazione delle aree soggette ad alluvioni è stato di tipo prevalentemente storico - inventariale e si è basato sugli effetti di eventi avvenuti generalmente negli ultimi 20-30 anni in quanto ritenuti maggiormente rappresentativi delle condizioni di pericolosità connesse con l'attuale assetto del reticolo di bonifica e del territorio. A questa tipologia di aree si aggiungono limitate zone individuate mediante modelli idrologico - idraulici e aree delimitate sulla base del giudizio esperto degli Enti gestori in relazione alla incapacità, più volte riscontrata, del reticolo a far fronte ad eventi di precipitazione caratterizzati da tempi di ritorno superiori (in media) a 50 anni (individuato come tempo di ritorno massimo relativo allo scenario P3).

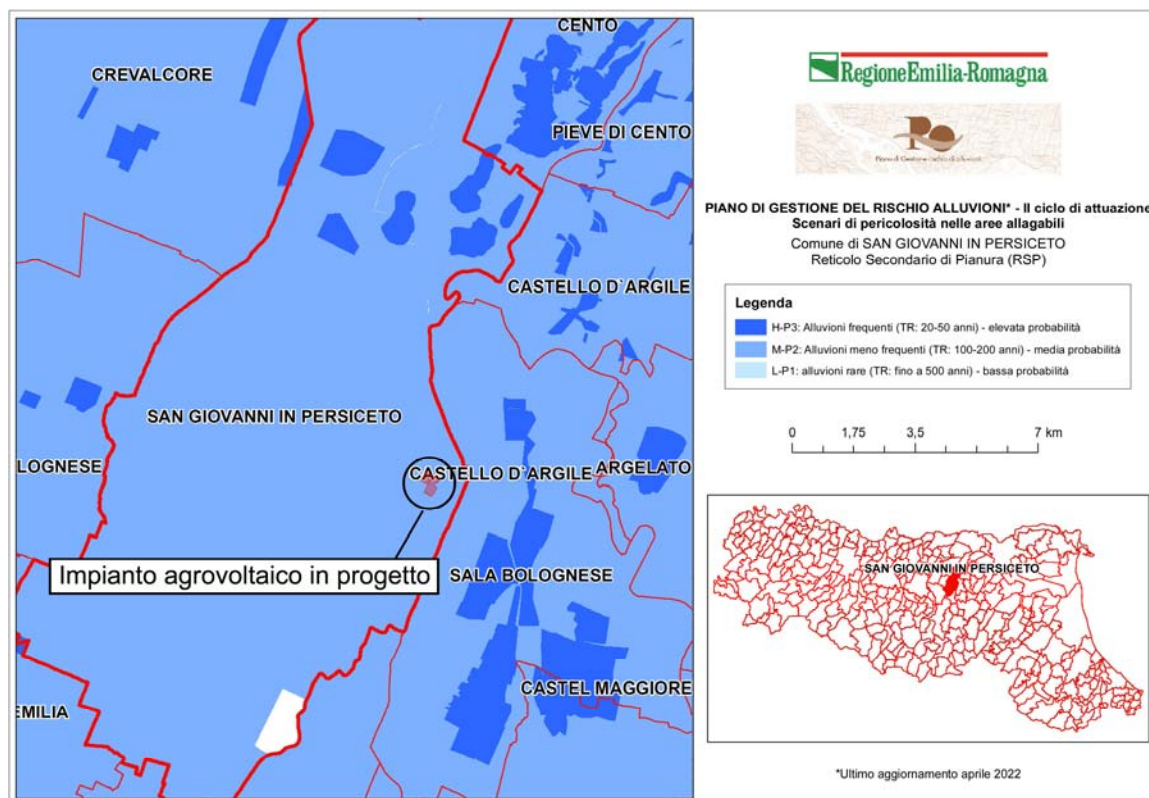


Fig. n°13: Inquadramento dell'area oggetto di intervento su base Direttiva Europea 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni Mappa della pericolosità e degli elementi potenzialmente esposti (art. 6 della Direttiva 2007/60/CE e art. 6 del D.Lgs. 49/2010). Ambito territoriale: Reticolo Secondario di Pianura; come si può notare le aree in studio è interessata da uno scenario di media probabilità per alluvioni meno frequenti (TR 100/200anni);

Stante le caratteristiche proprie del reticolo, nello scenario di alluvione poco frequente (P2), l'inviluppo delle aree potenzialmente allagabili, coincidente con gran parte dei settori di pianura dei bacini idrografici, ha carattere indicativo e necessita di ulteriori approfondimenti di tipo conoscitivo. Ne deriva che l'estensione delle aree interessate da alluvioni rare (P1) è ricompresa, di fatto, nello scenario P2. Le alluvioni dovute ad esondazione del reticolo artificiale di bonifica, seppure caratterizzate da alta frequenza, presentano tiranti e velocità esigui che danno origine a condizioni di rischio medio (R2) e moderato/nullo (R1) e in casi limitati, prevalentemente situati in zone urbanizzate e insediate interessate da alluvioni frequenti, a condizioni di rischio elevato (R3). La mitigazione delle condizioni di rischio per il patrimonio edilizio esistente si fonda su azioni di protezione civile ed eventualmente di autoprotezione e di protezione passiva. Risulta evidente come la zona in esame risulti soggetta ai rischi legati prevalentemente al Torrente Reno e Samoggia evidenziati nella cartografia di seguito allegata.

Il sistema idraulico Reno-Samoggia negli ultimi dieci anni ha evidenziato situazioni di crisi in caso di piene straordinarie, dando luogo a rotte e allagamenti. È stato pertanto avviato, da parte dell'autorità di bacino, un programma di riassetto idraulico di questi corsi d'acqua.

Tali criticità idrauliche trovano conferma e rappresentazione anche nei recenti studi a corredo del P.T.M. (vedasi Tavole di seguito allegate).

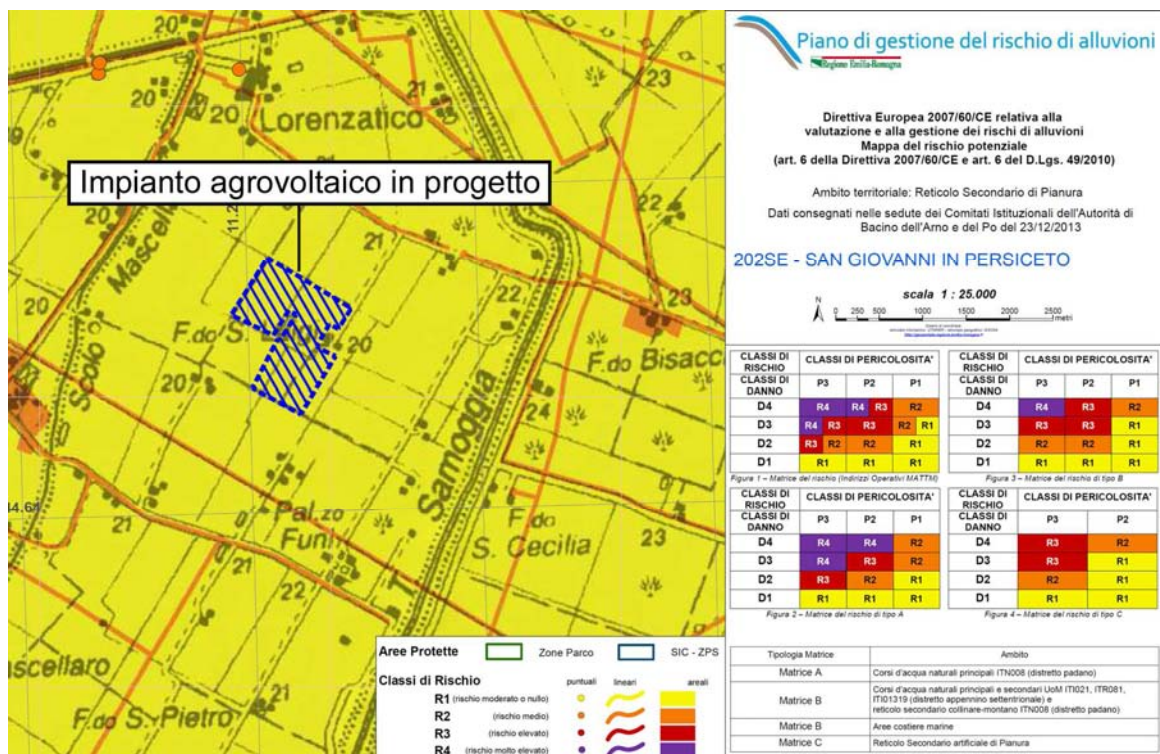


Fig. n°14: Inquadramento dell'area oggetto di intervento su base Direttiva Europea 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni Mappa del rischio potenziale (art. 6 della Direttiva 2007/60/CE e art. 6 del D.Lgs. 49/2010). Ambito territoriale: Reticolo Secondario di Pianura; come si può notare le aree in studio sono interessate da alcuna classe di rischio moderata o nulla.

Perimetrazione aree allagate eventi emergenziali 2023 e 2024

Di seguito si riportano le perimetrazioni dei territori allagati durante gli eventi di rotta avvenuti tra il 2-4 maggio 2023 e tra il 16-17 maggio 2023 e gli eventi dell'ottobre 2024 e settembre 2024 in Regione Emilia-Romagna, tratti dal geoportale 3D RER, ove viene evidenziato che l'area in studio non è stata soggetta ad alluvionamento.

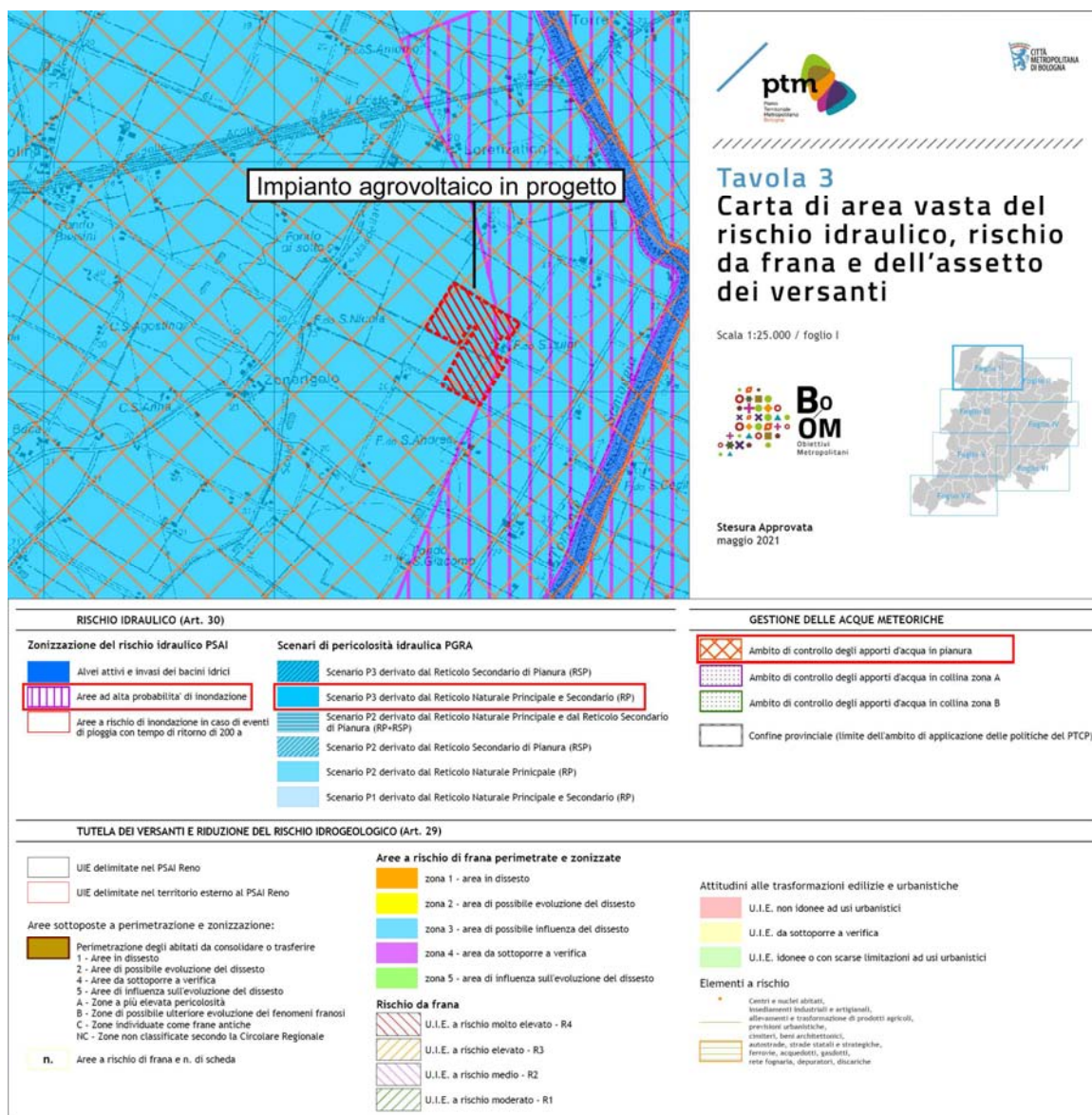


Fig. n° 15: Stralcio All. 3 a corredo del PTM

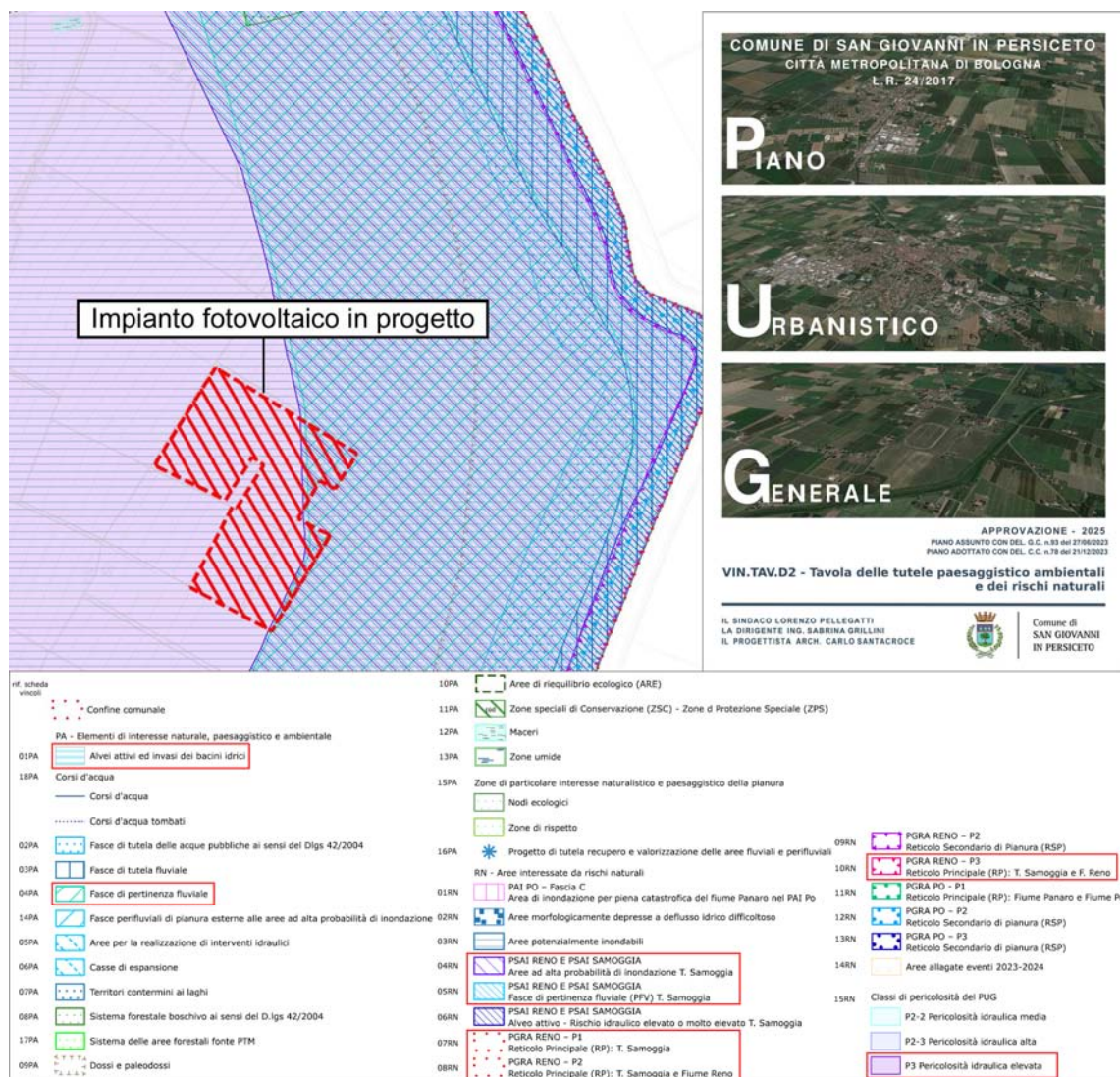


Fig. n°16: Stralcio Vin D2 a corredo del PUG



Fig. n°17: Stralcio aree allagate anni 2023 e 2024 - Geoportale 3D della RER

IL PTA

In coerenza con la Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60/CE (DQA) e il D.lgs. 152/2006, il Piano di Tutela delle Acque è un piano di settore di tipo "strategico" e uno strumento regionale volto a raggiungere gli obiettivi di qualità ambientale nelle acque interne e costiere del proprio territorio e a garantire un approvvigionamento idrico sostenibile nel lungo periodo e per le generazioni future.

A distanza di 18 anni dalla elaborazione del Piano di Tutela delle Acque (PTA 2005) la Regione Emilia-Romagna ha avviato il processo di elaborazione del nuovo Piano di Tutela delle Acque che avrà un orizzonte temporale al 2030 (PTA 2030)

Il nuovo Piano nasce in un contesto fortemente influenzato dai cambiamenti climatici in atto che generano una diversa distribuzione delle precipitazioni ed un aumento delle temperature, incidendo da un lato sul deficit idrico e dall'altro sul verificarsi di eventi alluvionali significativi..

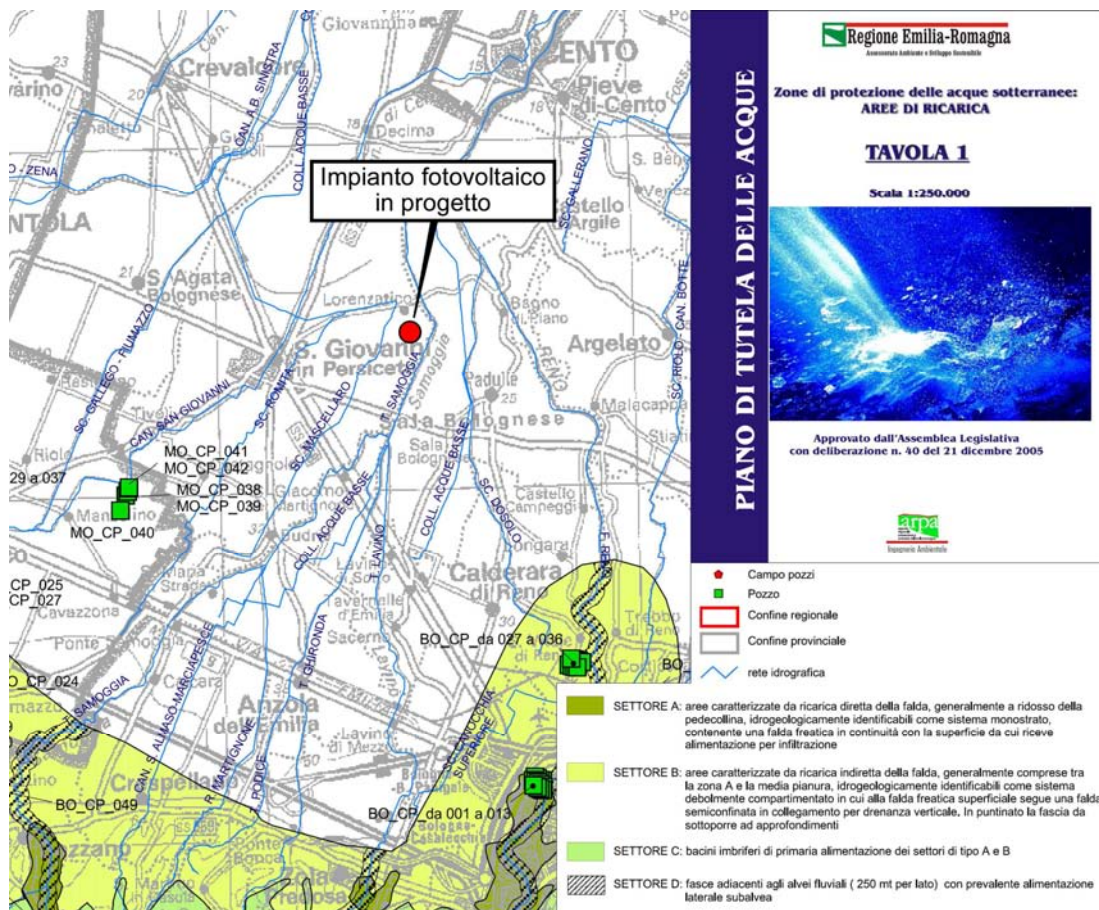


Fig. n°18: il PTA VIGENTE

Ciò premesso, l'impianto agrivoltaico ricade all'interno del complesso idrogeologico della "Pianura alluvionale appenninica"; in quest'area uno fra i principi obiettivi per le acque superficiali è quello di ridurre il carico inquinante.

Caratteristiche idrogeologiche

Dal punto di vista idrogeologico la zona in studio è caratterizzata da una falda freatica disposta in generale a profondità modesta dal piano di campagna. Tale falda, cosiddetta libera, è caratterizzata da bassi valori di trasmissività, da una variabilità del proprio livello in stretta relazione con gli apporti meteorici e con la rete di canalizzazione, essendo alimentata prevalentemente per infiltrazione superficiale. Nello specifico dell'area in esame, le verticali penetrometriche eseguite nel febbraio/marzo 2026 (periodo da considerarsi di alto piezometrico), si sono occlusi a circa 2 m metri dal p.c.; la bibliografia e gli studi a corredo del PSC segnalano che, in alcuni periodi dell'anno, il livello freaticometrico può attestarsi infatti da 2 m a circa 4,5 m dal piano campagna.

In base alla Tav QC.6 T10a "Vulnerabilità naturale acquifero" del PSC, l'area in esame è compresa nell'areale caratterizzato da "vulnerabilità media" dove risultano predominanti litologie superficiali prevalentemente fini, l'acquifero è confinato ed il tetto delle ghiaie si approfondisce ben oltre i 15 m.

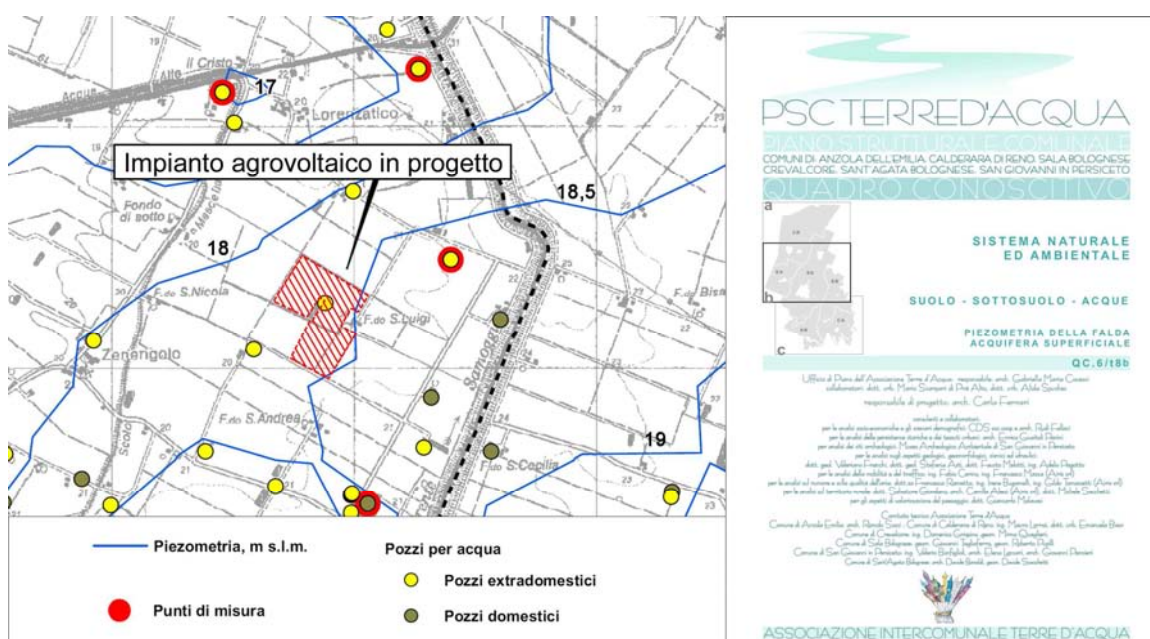


Fig. n°19: Stralcio TAV. QC.6 T8a "Piezometria della falda acquifera superficiale" del PSC dell'Associazione Terre d'Acqua

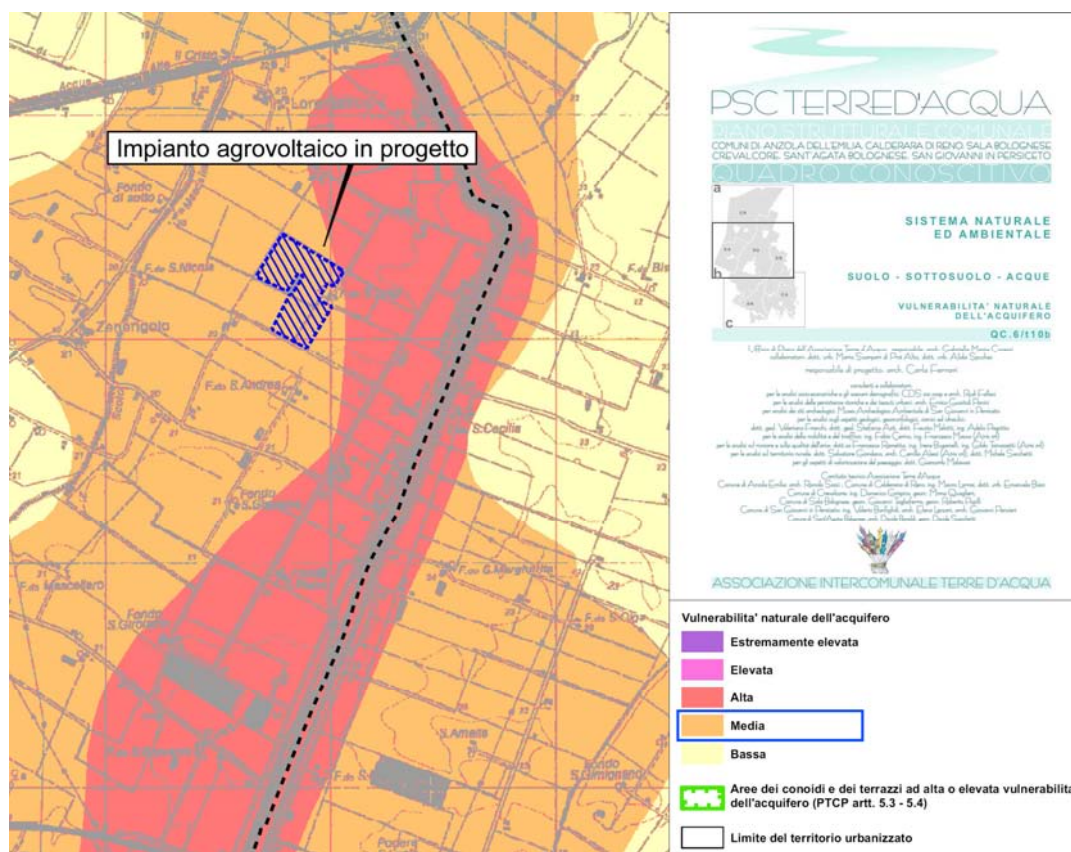


Fig. n°20: Stralcio TAV. QC.6 T10a "Vulnerabilità naturale acquifero" del PSC dell'Associazione Terre d'Acque



Foto n°2: Fasi dell'esecuzione della prova CPT1

Lineamenti e caratteristiche geolitologiche

La Carta Geologica d'Italia scala 1:100.000 (Foglio 75 "Mirandola"), indica per l'area in esame, un sottosuolo costituito da depositi fluvioglaciali e fluviali della piana alluvionale che hanno colmato il bacino padano tra il Pleistocene superiore e l'Olocene ove prevalgono i termini argilloso-limosi e limoso sabbiosi.

Ciò premesso la Carta Geologica in scala 1:10.000 redatta dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna, di cui si riporta stralcio, individua coperture quaternarie attribuite al Subsistema di Ravenna (AES8) e in particolare all'Unità di Modena (AES8a). I sedimenti alluvionali del Subsistema di Ravenna (AES8) sono costituiti da depositi fluviali intravallivi e di piana alluvionale, di piana di sabbia litorale e, nel settore a mare, di prodelta e transizione alla piattaforma. Il Subsistema contiene un'unità di rango gerarchico inferiore (AES8a) che, dove presente, ne costituisce il tetto stratigrafico. Spessore massimo di 20-25 metri. L'età è fatta corrispondere al Pleistocene superiore – Olocene. I depositi attribuiti all'Unità di Modena (AES8a) sono costituiti da ghiaie, sabbie, limi ed argille di canale fluviale, argine e piana inondabile; sabbie e ghiaie di cordone litorale e di barra di foce; argille e limi di prodelta e di transizione alla piattaforma. Il limite superiore è sempre affiorante e coincidente con il piano topografico dato da un suolo calcareo di colore bruno olivastro e bruno grigiastro. In particolare, la situazione litostratigrafica dell'area in studio, dedotta sulla base delle stratigrafie note di pozzi idrici e dalle numerose prove penetrometriche e sondaggi a carotaggio, contenuti nei recenti studi di "Microzonazione Sismica", può essere definita come costituita da un orizzonte superficiale limoso-sabbioso al di sotto del quale si sviluppa un complesso prevalentemente argilloso-limoso fino a circa 10-11 metri di profondità, cui seguono depositi sabbiosi, localmente ghiaiosi, molto addensati.

In base a quanto sopra descritto, per l'area in oggetto, si può ragionevolmente affermare che non sussistano potenziali controindicazioni di carattere geologico che possano impedire e/o condizionare la realizzazione dell'impianto; si consiglia, prima dell'inizio dei lavori, di approfondire la conoscenza delle reali caratteristiche del terreno anche con l'esecuzione di prove di pull-out .

CARTA GEOLOGICA (tratta da **Cartografia Geologica della Regione Emilia Romagna**) **scala 1:10.000**

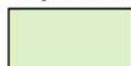


LEGENDA:



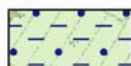
Impianto fotovoltaico in progetto

Coperture Quaternarie



AES8a - Unità di Modena

Ambienti deposiz. e litologie



Limo Sabbioso - Piana alluvionale



Limo Argilloso - Piana alluvionale



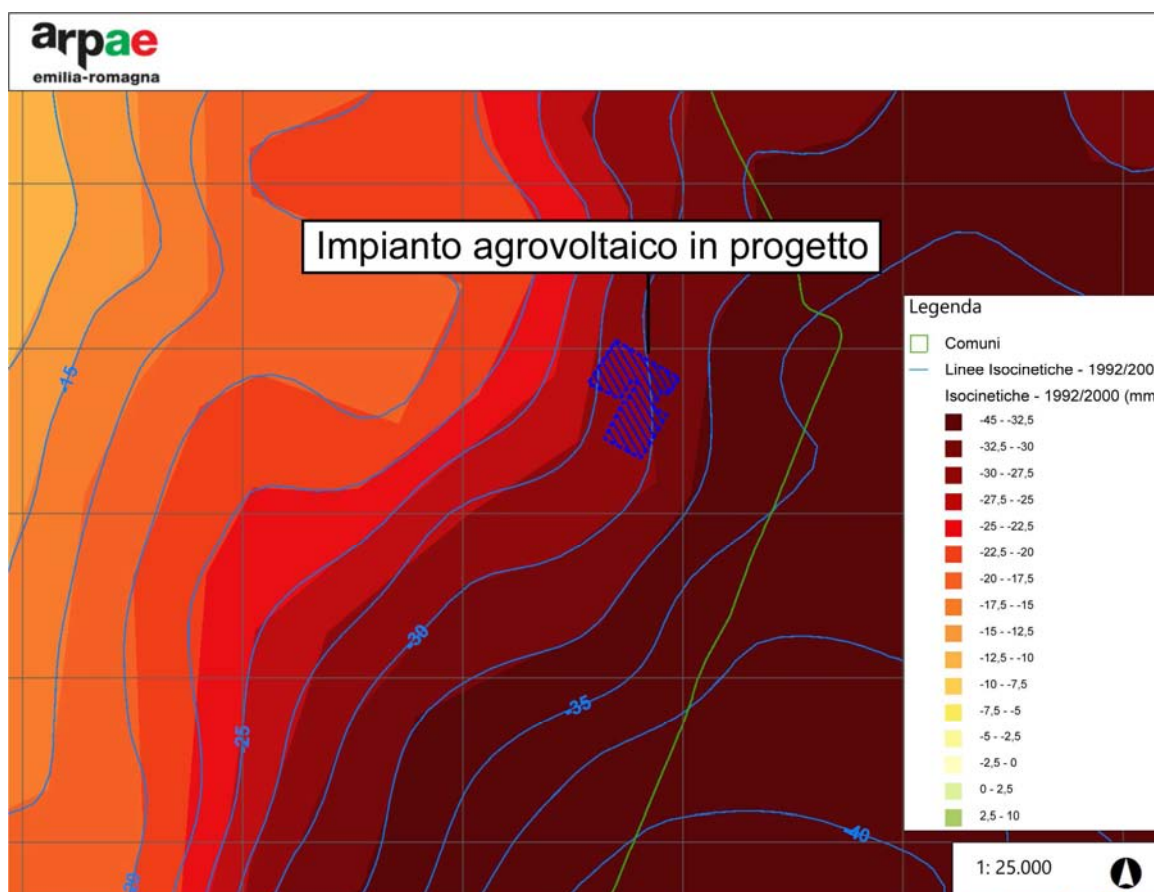
Fig. n°21: Carta geologica tratta dal webgis della RER

Il fenomeno della subsidenza

Nell'area in studio il fenomeno della subsidenza è nota da tempo, ed è fonte di problemi di una certa gravità. In un'area di pianura poco acclive quale quella in esame, anche deboli variazioni nella forma del piano campagna rischiano di generare problematiche al corretto funzionamento della rete scolante; questo inconveniente è già oggi segnalato dalle Autorità di Bacino Regionali, che si scontrano con frequenti difficoltà nel garantire il funzionamento di alcuni importanti canali della zona.

L'andamento recente del fenomeno (1992-2021) è stato analizzato attraverso le cartografie rese disponibili sul portale cartografico di ARPAE; possibile affermare che l'evoluzione del fenomeno nell'areale in studio sia relativamente limitato e caratterizzato da valori in lieve diminuzione, passando da un abbassamento di 27,5/30 mm/anno nel periodo 1992-2000 ad un valore di 15 mm/anno nel periodo 2016-2021.

Da quanto sopra è possibile concludere che, analizzato il trend (in costante diminuzione) e la sua entità, il fenomeno non potrà generare particolari criticità sull'utilizzo previsto dell'area.



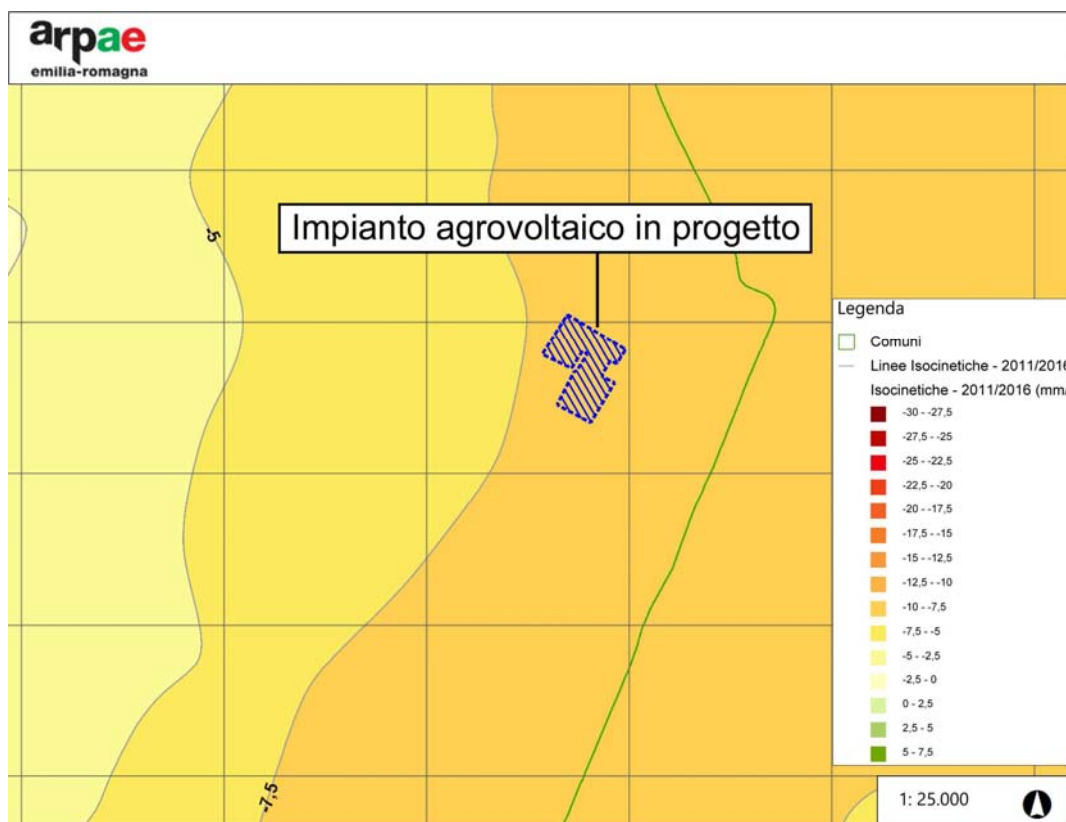


Fig. n°23: Carta delle velocità di movimento verticale del suolo – periodo 2011-2016 (mm/anno) (dal Portale cartografico ARPAE)

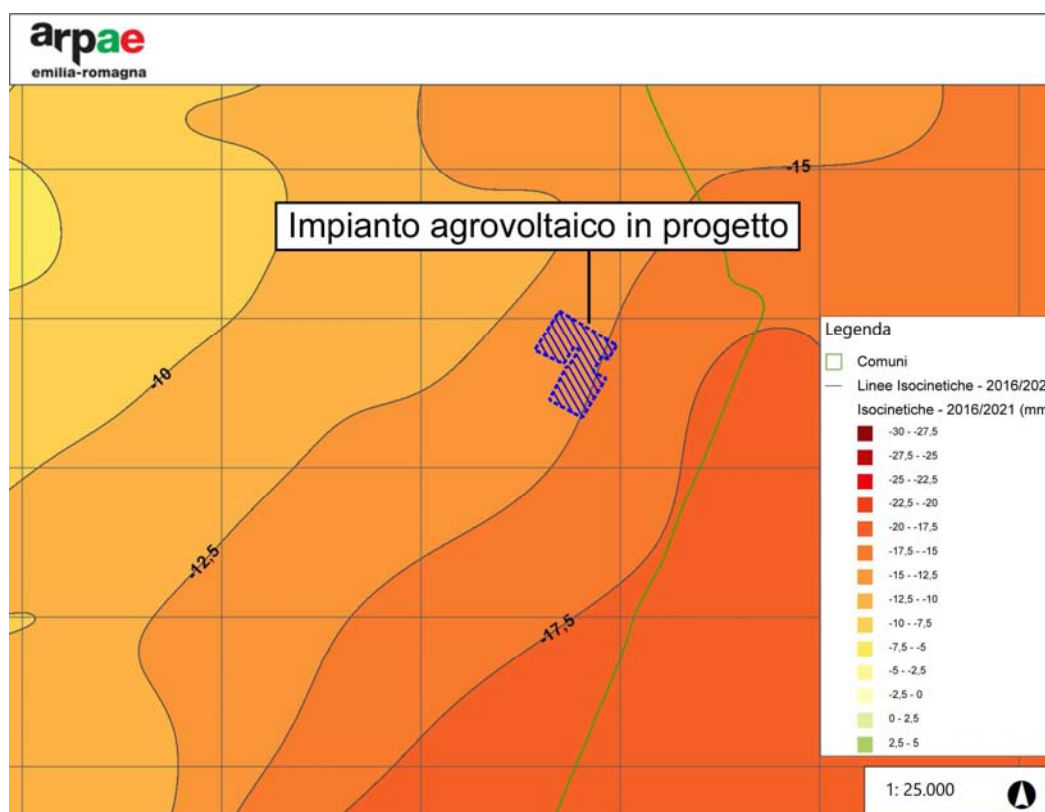


Fig. n°24: Carta delle velocità di movimento verticale del suolo – periodo 2016-2021 (mm/anno) (dal Portale cartografico ARPAE)

INDAGINI GEOGNOSTICHE

Ai fini della verifica della consistenza geotecnica e della natura litostratigrafica del sottosuolo, si sono eseguite n° 3 prove penetrometriche statiche CPT spinte a 20 metri di profondità dal p.c. In conformità alle NTC 2018, per accertare la velocità delle onde trasversali o di taglio entro i primi 30 m di profondità e la frequenza naturale o caratteristica di risonanza del terreno, si è eseguita n.1 prova geofisica di tipo "passivo" H.V.S.R. ubicata come da planimetria scala 1:6.000 allegata. Come segnalato in premessa, l'area in esame è contigua (Fondo S.Nicola – Fondo S.Sebastiano), ad un'altra area precedentemente indagata nel maggio 2023 per l'installazione di un impianto fotovoltaico della medesima proponente; tale indagine era del pari consistita in n.3 prove penetrometriche del tipo CPTe, che hanno evidenziato una sostanziale omogeneità litostratigrafica e geotecnica con quelle eseguite per il presente studio.

Prove penetrometriche statiche CPT

Le prove sono state condotte con penetrometro tipo GOUDA da 10 tonn attrezzato con punta meccanica, le cui caratteristiche standard (a Norme A.G.I.) sono:

- lunghezza aste 1 m
- peso fisso "esterno" 10 kg
- peso totale aste 6.5 kg/m
- peso aste interne 1.38 kg/m
- velocità di avanzamento costante $V=2$ cm/sec (± 0.5 cm/sec)

Le dimensioni punta/manicotto "Begemann"(ISSMFE 1974) sono:

- diametro di base del cono: $\varnothing = 35.7$ mm
- area della punta conica: $A_p = 10$ cmq
- angolo apertura del cono: $\beta = 60^\circ$
- superficie laterale manicotto: $A_m = 150$ cmq
- lunghezza manicotto: $h = 133$ mm
- diametro del manicotto: $\varnothing = 35.7$ mm

La prova penetrometrica statica CPT con punta meccanica consiste nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante ($v=2$ cm/s ± 0.5 cm/s); la penetrazione avviene con un dispositivo di spinta (martinetto idraulico) opportunamente ancorato al suolo, che agisce su una batteria doppia di aste (esterne cave e interne piene coassiali), alla cui estremità inferiore è collegata la punta. Lo sforzo necessario per l'infissione viene determinato a mezzo di un opportuno sistema di misura, collegato al martinetto idraulico: la punta conica (di tipo telescopico) è dotata di un manicotto laterale (punta/manicotto tipo "Begemann"). Nel corso della prova si sono rilevate ogni 20 cm le seguenti letture manometriche:

- L1 = resistenza richiesta per l'avanzamento della sola punta penetrometrica (di sezione conica standard pari a 10 cmq.);
- L2 = corrispondente alla resistenza dovuta al successivo avanzamento della punta e del manicotto (di superficie laterale standard pari a 150 cmq)

Risulta quindi:

- resistenza unitaria di punta: $q_c = L1 / 150 \text{ kg/cm}^2$

- resistenza unitaria laterale: $f_s = 10 \times (L1 - L2) / 150 \text{ kg/cm}^2$ I valori unitari della resistenza di punta q_c sono stati normalizzati ai valori q_{c1N} con la relazione (cfr. ROBERTSON & WRIDE, 1998):

$$q_{c1N} = CQ \times (q_c / Pa)$$

ove: $Pa = 1 \text{ atm}$

$CQ = (Pa \sigma'_{vo})^n$ essendo σ'_{vo} la pressione geostatica effettiva alla profondità di prova, ed n un coefficiente che varia (cfr. OLSEN, 1997) da 0,5 (per terreni granulari) a 1,0 (per terreni ricchi di fine argilloso).

Il valore di q_{c1n} viene quindi definito con procedimento iterativo, assumendo un valore iniziale $n=1,0$ in base al quale vengono calcolati i parametri:

$$Q = ((q_c - \sigma'_{vo}) / Pa) \times ((Pa / \sigma'_{vo})^n)$$

$$F = (f_s / (q_c - \sigma'_{vo})) \times 100\%$$

$$I_c = ((3,47 - \log(Q))^2 + (1,22 + \log(F))^2)^{0,5}$$

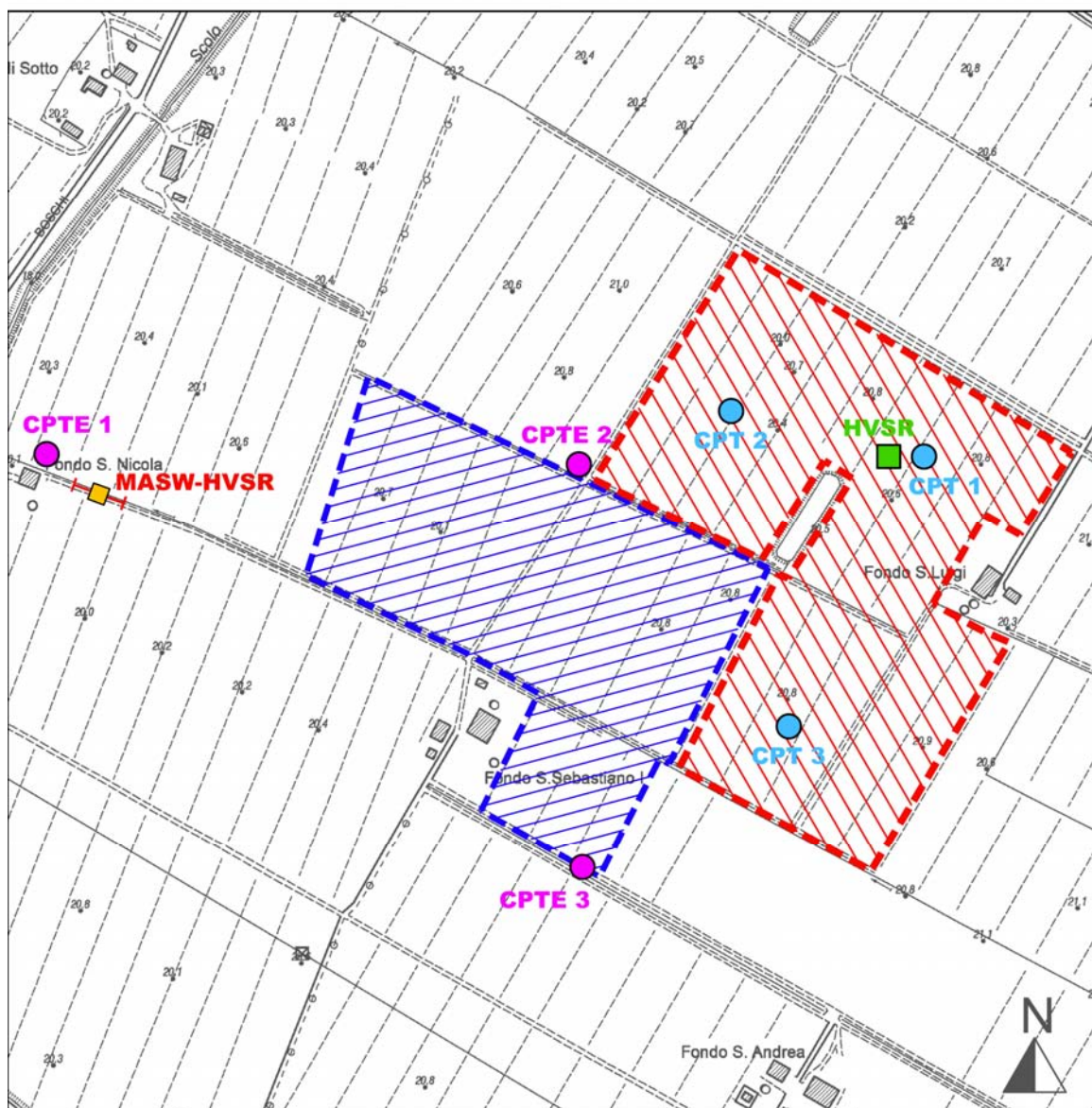
In base ai summenzionati parametri si determina quindi, con l'allegato abaco di ROBERTSON, la granulometria del terreno indagato (procedendo, se del caso, ad una successiva rivalutazione di q_{c1N} e dei parametri medesimi).

Risultanze

Al di sotto di circa 1m di coltre superficiale alterata e rimaneggiata dalle attività agricole, il sottosuolo è pressoché uniformemente costituito fino alla profondità di poco meno di 20 m da alternanze di strati e/o orizzonti limoso-sabbiosi, argillosi e argillo-limosi, caratterizzati da valori di resistenza q_c compresi tra 20 e 60kg/cm² circa; al di sotto la resistenza q_c aumenta raggiungendo valori >100kg/cm², in presenza di litologie sabbiose e sabbiose-ghiaiose.

I fori di prova si sono occlusi intorno a -2 m dal p.c., verosimilmente in corrispondenza di livelli incoerenti.

UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE scala 1:6.000



LEGENDA:



Impianto agrivoltaico
in progetto

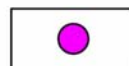


Impianto fotovoltaico "Zenerigolo 1"
(A.U. n°634 del 5/2/2024)

Indagini eseguite per il presente progetto:



Prova penetrometrica CPT



Prova penetrometrica CPTE



Indagine sismica HVSr



Traversa sismica MASW + Indagine
sismica HVSr

Fig. n°25: Ubicazione dell'indagini geognostiche eseguite

Indagine sismica passiva HVSR

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) consiste nel misurare direttamente, sfruttando il rumore di fondo ambientale (microtremori), le frequenze di risonanza dei terreni costituenti il sottosuolo, allo scopo di stimare gli effetti di sito e la vulnerabilità sismica dell'opera. Per rumore ambientale di fondo s'intende l'insieme delle vibrazioni che si propagano nel terreno dovute sia a fenomeni naturali⁴ sia all'azione antropica⁵.

E' stato utilizzato un tromografo "ECHO TROMO-3" (Ambrogeo®) dotato di geofono tridirezionale frequenza propria 4,5Hz; in particolare è stata eseguita n.1 misurazione con frequenza di campionamento pari a 157 Hz .

La rilevazione sismica è stata confrontata ed "ancorata" alla stratigrafia riscontrata in nella prova penetrometrica CPT1 eseguita, in modo tale da calibrare il profilo nei primi metri di suolo e poterne estrapolare le caratteristiche a profondità maggiori.

Successivamente i dati relativi alla misura sono stati elaborati tramite il software dedicato "Geo HVSR" ver. 1.3 prodotto da ProgramGeo di Carpenedolo (BS) con un processing che ha valutato l'affidabilità della curva ricavata, verificando se fossero rispettati i criteri riportati nelle linee guida del progetto europeo SESAME (Site EffectS assessment using Ambient Excitations, 2005).



Foto n°3: Tromografo in fase di misura

⁴ moto ondoso, perturbazioni atmosferiche ecc...

⁵ traffico veicolare, macchinari, ecc..

Nello spettro H/V sono stati individuati i picchi positivi che corrispondono ad altrettanti minimi locali nello spettro V, fatto questo che consente di riconoscere le frequenze associate ai picchi H/V come frequenze di risonanza del terreno.

Analizzando il risultato della prova emerge come la frequenza di vibrazione principale del terreno, nell'intervallo di frequenze compreso fra 1 Hz e 10Hz, si collochi a 0.8 Hz.

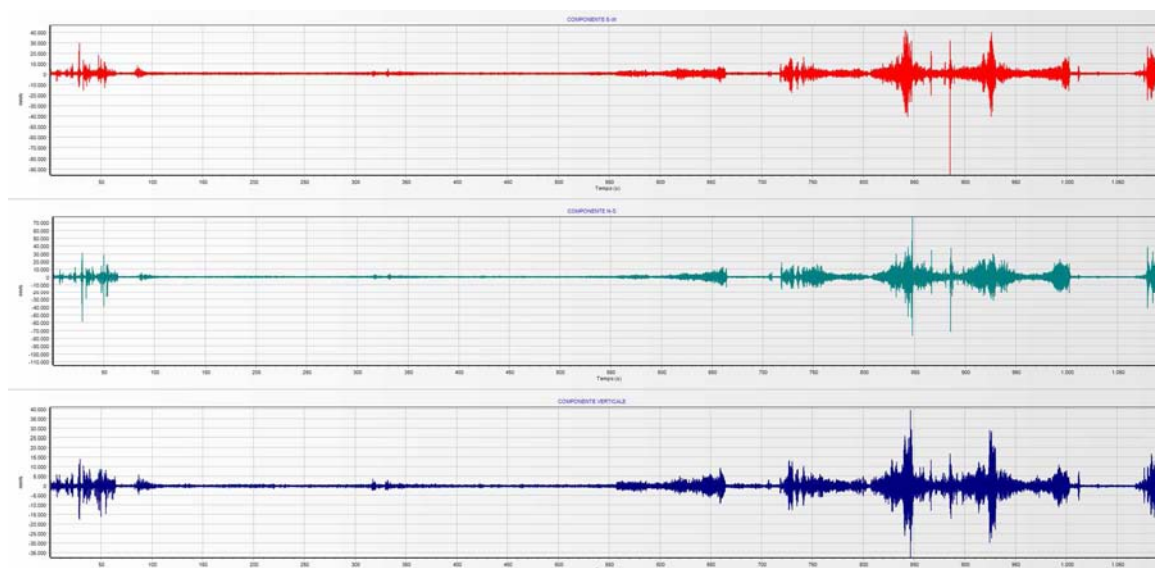


Fig. n°26: Record sismici nelle tre componenti spaziali

Frequenza (Hz)	Ampiezza	K_g
0.8	1.47	2.7
4.45	1.09	0.26
5.86	1.23	0.26
19.43	1.37	0.1
36.34	1.31	0.05
68.34	1.72	0.04
78.5	1.62	0.03

Tab n°1: Parametri picchi stratigrafici da spettro H/V

L'indice di vulnerabilità del sito (K_g) viene calcolato facendo riferimento ai soli picchi stratigrafici dello spettro H/V posti a frequenze inferiori o prossime a 10 Hz, in quanto quelli presenti a frequenze superiori non sono significativi dal punto di vista della vulnerabilità sismica.

Nel caso in esame i picchi H/V stratigrafici individuati hanno fornito un valore massimo di K_g uguale a 2.7. Il sito può essere perciò classificato come a medio alta vulnerabilità sismica locale. La curva H/V sintetica è stata modellata in modo da sovrapporsi ai picchi stratigrafici misurati.

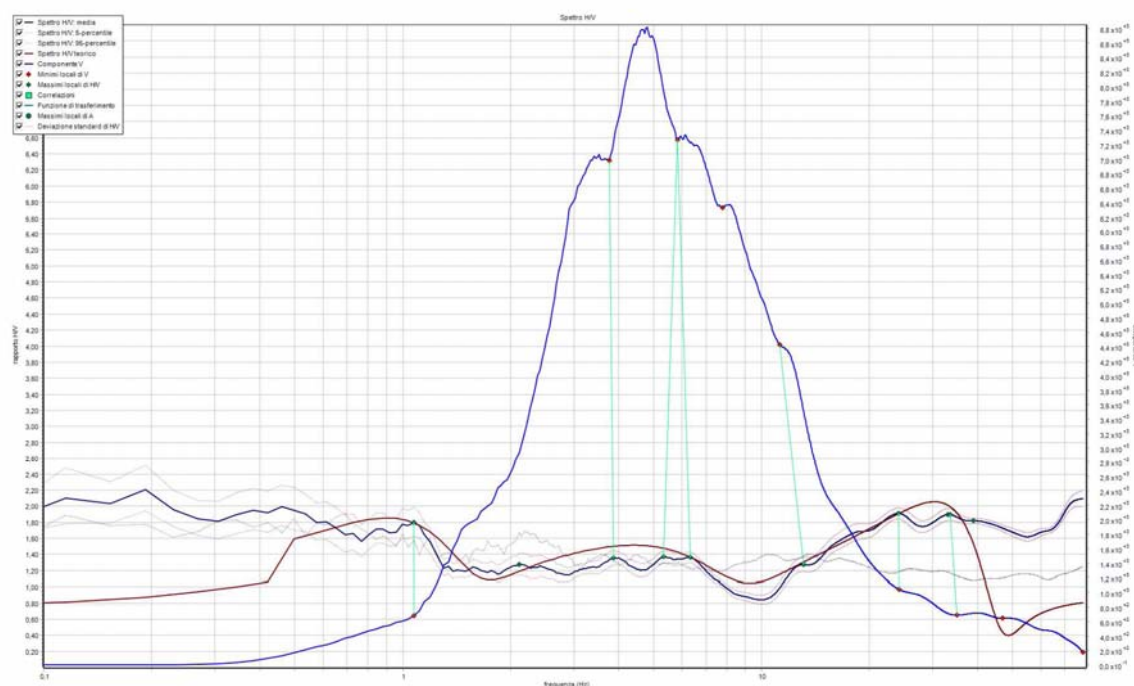


Fig. n°27: Confronto fra la curva H/V sperimentale e quella teorica

L'inversione vincolata dello spettro H/V ha consentito altresì di ricavare il profilo delle velocità delle onde S in funzione della profondità.

Profondità da (m) a (m)		Δz (m)	V_s (m/s)	Inversioni di velocità
0.0	0.22	0.22	70	-
0.22	1.08	0.86	157	-
1.08	2.05	0.97	159	-
2.05	10.93	8.88	300	-
10.93	14.5	3.57	400	-
14.5	81.26	66.78	460	-

Tab. n°2: Modello sismico del sottosuolo desunto dalla prova

La prova di tipo sismico passivo, in buon accordo con la prova MASW eseguita nell'ambito dello studio geologico eseguito per il confinante impianto "Zenerigolo 1", ha messo in luce che il valore di V_{s30} , riferito al p.c., è pari a 234,4 m/s, valore che pone il sito nella categoria di sottosuolo C secondo il D.M. 17.01.2018.

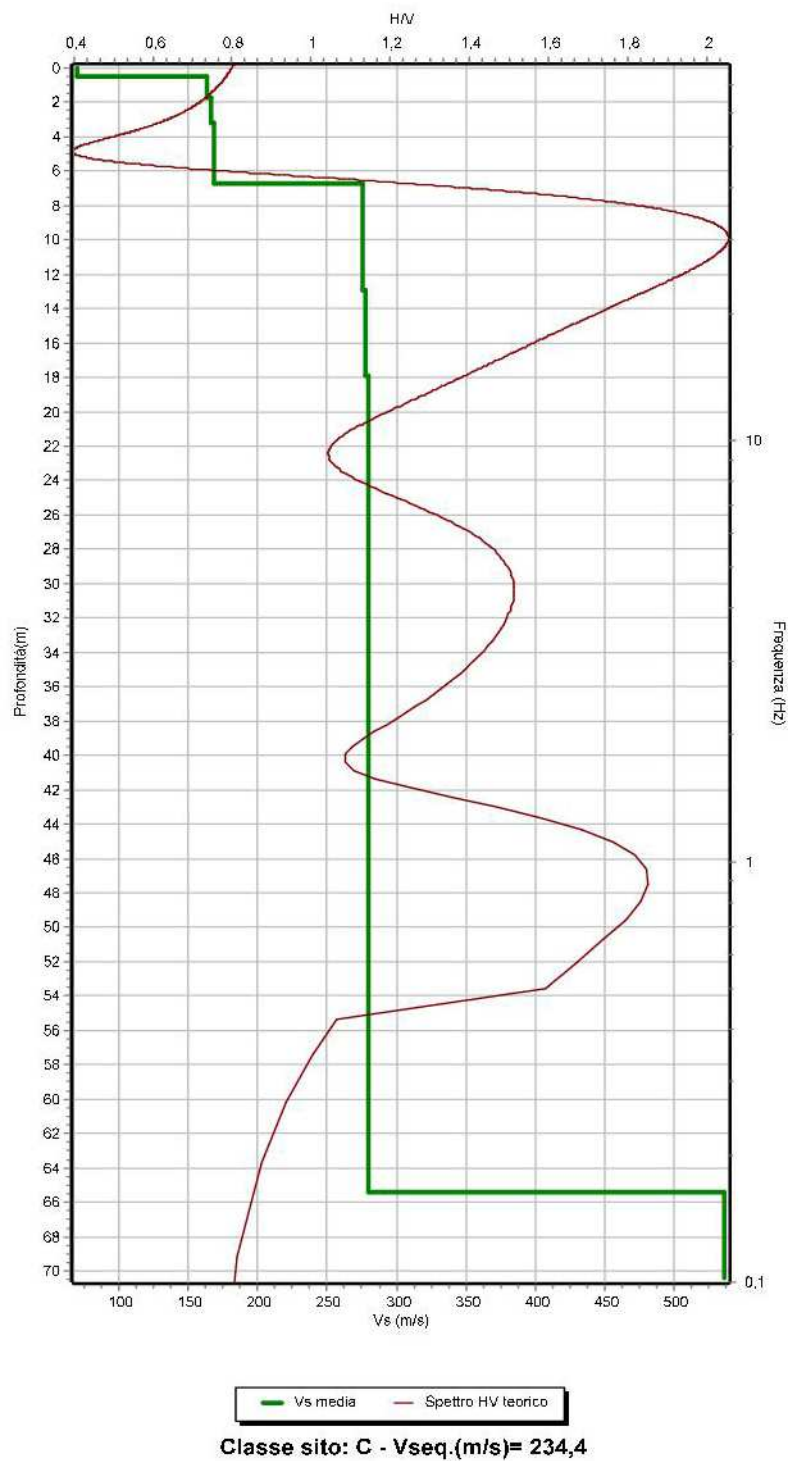


Fig. n°28: Distribuzione delle velocità S entro i primi 150m

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

Parametri geotecnici desunti dalle prove CPT: formule utilizzate

I valori della resistenza di punta q_c e della resistenza laterale unitaria f_s e quelli dei parametri da essi derivati con le relazioni di ROBERTSON 2012 possono essere empiricamente correlati, oltreché alla granulometria, anche ad alcune delle caratteristiche geotecniche del terreno indagato: i dati ricavati da tali correlazioni sono riportati nelle allegate schede redatte per ciascuna prova CPT, ove si sono altresì riportati i valori medi di q_c ed f_s relativi ad ogni strato omogeneo individuato.

Il peso di volume totale è stato stimato con la relazione (GREGG: "Guide to cone penetration testing" 2010):

$$\gamma = 0,27 \times \log(R_f) + 0,36 \times \log(q_c/P_a)$$

ove:

$R_f = 100 \times f_s / q_c$ e P_a = pressione atmosferica alla quota di prova.

Tale parametro corrisponde al peso di volume naturale sopra falda ed a quello saturo in falda; il peso di volume in falda va calcolato con la relazione:

$$\gamma = \gamma_{sat} - u_o$$

essendo u_o la pressione idrostatica alla profondità considerata, mentre il peso di volume immerso vale invece:

$$\gamma' = \gamma_{sat} - 1$$

Gli orizzonti sabbio-ghiaiosi e limo-sabbiosi (che in base a ROBERTSON, 2012 corrispondono ai terreni caratterizzati da $I_c < 2,6$) sono assimilabili a mezzi incoerenti od attritivi, quelli limo-argillosi a mezzi coesivi.

La densità relativa degli orizzonti incoerenti è stata valutata con la relazione empirica (GREGG, 2010):

$$D_r \% = 100 \times (Q_{tn}/350)^{0,5}$$

L'angolo d'attrito drenato di picco ϕ_p di tali terreni è stimato con la relazione (GREGG, 2010):

$$\phi_p = 17,6^\circ + 11 \times \log(Q_{tn})$$

mentre il loro angolo d'attrito drenato residuo (a volume costante) ϕ_{cv} , cui è opportuno riferirsi per il calcolo del carico limite di fondazioni dirette, è stato stimato in funzione di ϕ_p con la relazione (ROBERTSON 2012):

$$\phi_{cv} = \phi_p - 15,84 \times \log(Q_{tn}CS) + 26,88^\circ$$

Il modulo elastico dei terreni incoerenti è stato stimato con la relazione (ROBERTSON, 2012);

$$E' = 0,015 \times (q_c - \sigma_{vo}) \times 10^{(0,55 \times I_c + 0,68)}$$

Per quanto riguarda invece i terreni coesivi (cioè caratterizzati da $I_c > 2,6$), la coesione non drenata c_u è stata valutata con la relazione (ROBERTSON, 2012):

$$c_u = (q_c - \sigma_{vo})/Nk$$

ove:

$Nk=10,5+7 \times \log(Fr)$ essendo σ_{vo} il carico geostatico totale.

L'angolo d'attrito drenato di picco φ_{clay} dei terreni coesivi è stato stimato con la relazione empirica (MAYNE, 2001):

$$\varphi_{clay} = \arcsen[2 \times c_u / (\sigma_{vo'} \times OCR^{0,8})]$$

ove:

OCR è il grado di sovra consolidazione dei terreni coesivi calcolato con la relazione (CSSM in ROBERTSON, 2012):

$$OCR = 0,25 \times (Qt1)^{1,2}$$

La sensitività St degli orizzonti limo-argillosi (cui corrisponde il rapporto tra i valori iniziale e residuo della coesione non drenata), è stata approssimativamente stimata con la correlazione empirica (suggerita da GREGG, 2010):

$$St = 7/Fr$$

che nel caso in esame resta inferiore a 2; vi corrispondono (in base alla classificazione di DAS riportata in "Advanced soil mech.", ISE 1985) terreni di bassa sensitività.

Il modulo edometrico è stato stimato con la relazione:

$$E_{ed} = \alpha M \times (q_c - \sigma_{vo}) \text{ assumendo (cfr. ROBERTSON, 2012):}$$

- $\alpha M = 14$ se $Ic > 2,2$ e $Q_{tn} > 14$;
- $\alpha M = Q_{tn}$ se $Ic > 2,2$ e $Q_{tn} < 14$;
- $\alpha M = 0,03 \times 10^{(0,55 \times Ic + 1,68)}$ se $Ic < 2,2$

Il modulo di taglio a piccole deformazioni è calcolato con la relazione (ROBERTSON, 2012):

$$G_o = 0,0188 \times (q_c - \sigma_{vo}) \times 10^{(0,55 \times Ic + 1,68)}$$

Sempre in funzione di Ic si è stimato il coeff. di permeabilità dei terreni indagati con le correlazioni empiriche (GREGG, 2010):

$$k \text{ (m/s)} = 10^{(0,952 - 3,04 \times Ic)} \text{ se } 1 < Ic < 3,27;$$

$$k \text{ (m/s)} = 10^{(-4,52 - 1,37 \times Ic)} \text{ se } 3,27 < Ic < 4$$

Infine, la velocità di propagazione delle onde trasversali o di taglio V_s è stata calcolata con la relazione empirica (pure suggerita da ROBERTSON, 2012):

$$V_s \text{ (m/s)} = [10^{(1,68 + 0,55 \times Ic)} \times Q_{tn}]^{0,5}$$

che fornisce valori scadenti che solo in profondità raggiungono quasi i 300 m/s, che ben concordano con quelli forniti dalla prova sismica eseguita.

Risultanze delle prove

Come precedentemente descritto, al di sotto di una coltre superficiale limoso-sabbiosa, di assai mediocre consistenza (caratterizzata da un comportamento meccanico incoerente), il sottosuolo è costituito da alternanze di strati argillosi e/o argilloso-limosi a comportamento meccanico coesivo, con strati o orizzonti limoso-sabbiosi, a comportamento meccanico

incoerente.

Negli strati coesivi prevalentemente argillosi la resistenza al taglio, sul breve termine, è governata dalla coesione non drenata c_u che resta compresa generalmente compresa tra 1 e 2kg/cmq, con valori crescenti con la profondità fino a 3-5kg/cmq; sul lungo termine bisogna fare riferimento all'angolo di attrito drenato ϕ_{clay} che non è mai inferiore a 25°.

Negli strati incoerenti limo-sabbiosi e sabbiosi, la resistenza al taglio è governata dall'angolo di attrito, il cui valore residuo (o a volume costante) ϕ_{cv} resta mediamente intorno ai 30° con sparsi valori inferiori 27°/28° entro intercalazioni pluridecimetriche limoso-sabbiose.

Il modulo edometrico E_{ed} resta compreso tra circa 200kg/cmq presso la superficie e circa 5-600kg/cmq fino a 15,6 m di profondità: al di sotto il suo valore aumenta fin'oltre 1000kg/cmq.

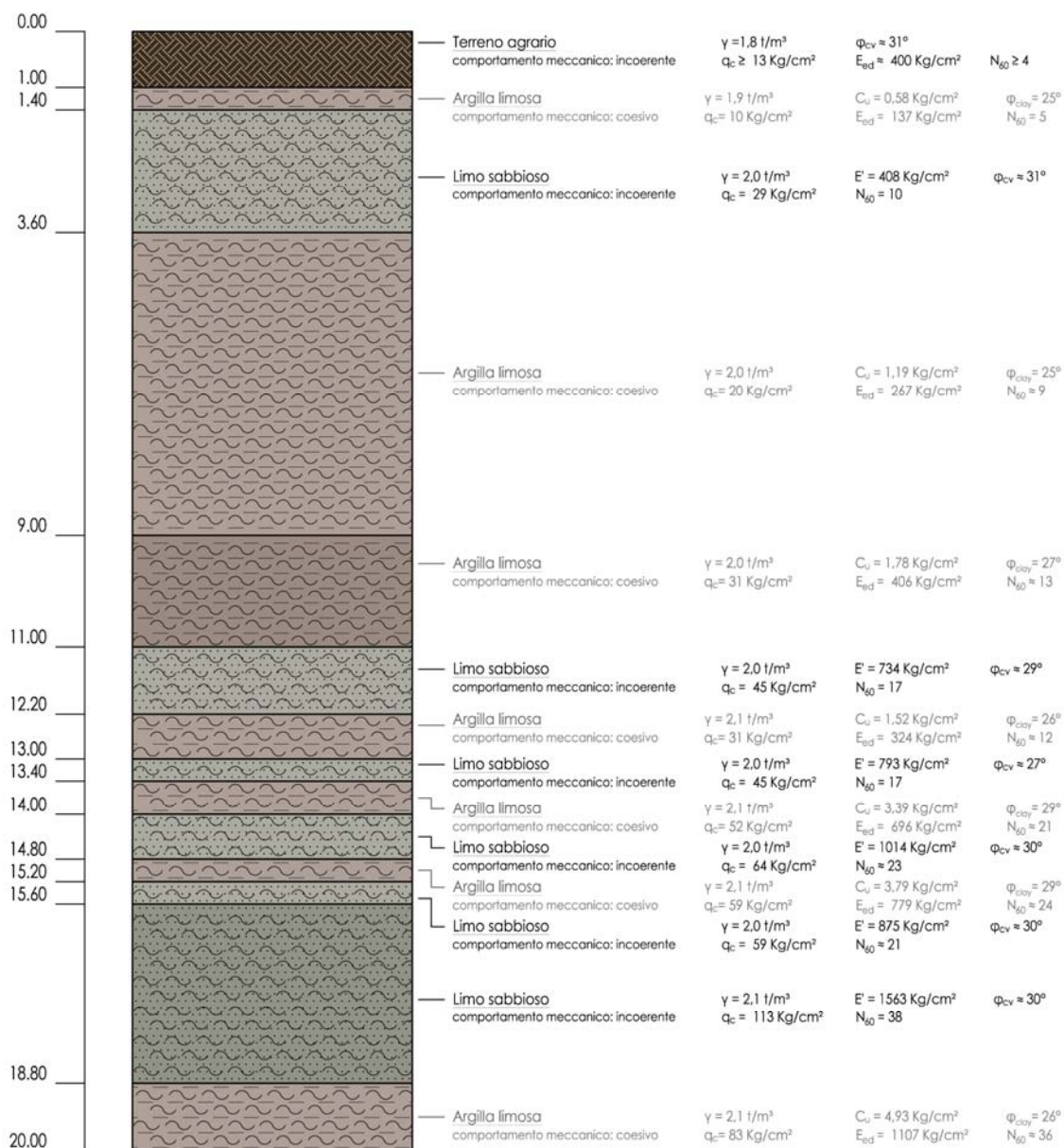
Anche il modulo Elastico E' aumenta con la profondità, passando da circa 400kg/cmq presso la superficie a oltre 800kg/cmq a 15,6m di profondità; al di sotto aumenta fino a 1563kg/cmq.



Foto n°4: Fasi dell'esecuzione della prova CPT2

MODELLO GEOTECNICO E VALORI CARATTERISTICI

Di seguito si riassumono i parametri geotecnici caratteristici del sottosuolo con riferimento alle tabelle riassuntive delle prove CPT P1, P2 e P3 eseguite.



Legenda

γ = peso di volume naturale sopra falda
 q_c = resistenza unitaria alla punta
 ϕ_{cv} = angolo di attrito a volume costante
 ϕ_{clay} = angolo di attrito drenato di picco
 C_u = coesione non drenata
 E_{ed} = modulo edometrico
 E' = modulo elastico
 N_{60} = valore normalizzato per rendimento $Er=60\%$

Fig. n°29: Modello getecnico dell'area d'intervento

CLASSIFICAZIONE SISMICA DELL'AREA

Sollecitazioni sismiche

Il territorio comunale di san Giovanni in Persiceto a seguito dell'Ordinanza P.C.M. n.3274/2003, aggiornata con la Deliberazione di Giunta Regionale N.1435 del 21 luglio 2003 e successivamente con la N.1164 del 21 luglio 2018, è ascritto a zona sismica di "classe 3".

Nella tabella allegata si sono riportati i valori (desunti dal foglio di calcolo "Spettri NTC-ver.1.0.3." del C.S.L.P. in funzione delle coordinate geografiche del sito in esame), dei parametri a_g (accelerazione orizzontale massima), F_0 (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale), T_c^* (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale) per tempi di ritorno T_r riferiti agli stati limite variabili da 30, 35, 332 e 682 anni, cui corrispondono probabilità di superamento ($P_{vr}\%$) rispettivamente 81%, 63%, 10%, 5% in 100 anni.

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

☒ Ricerca per coordinate
 LONGITUDINE: 11,24225
 LATITUDINE: 44,64549

☐ Ricerca per comune
 REGIONE: Emilia-Romagna
 PROVINCIA: Bologna
 COMUNE: San Giovanni in Persiceto

Elaborazioni grafiche
 Grafici spettri di risposta
 Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche
 Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo
☒ Sito esterno al reticolo
☐ Interpolazione su 3 nodi
☐ Interpolazione corretta

Interpolazione
 superficie rigata

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO **FASE 1** FASE 2 FASE 3

Fig. n°30: Foglio di calcolo "Spettri NTC-ver.1.0.3." del C.S.L.P. per individuazione pericolosità del sito

Ciò premesso la tipologia delle opere in progetto è ascrivibile alla classe d'uso I, cui va applicato un coeff. $CU=0,7$ e la cui vita di riferimento VR vale, per una vita nominale $VN=50$ anni:

$$VR = VN \times CU = 50 \times 0,7 = 35 \text{ anni}$$

Nel caso in esame considerando lo "Stato limite di salvaguardia della vita" (SLV) e quindi una probabilità di superamento nel periodo di riferimento della vita dell'opera (35 anni) pari al 10%, ovvero $T_R=332$ anni, risulta $a_g=0,139g$.

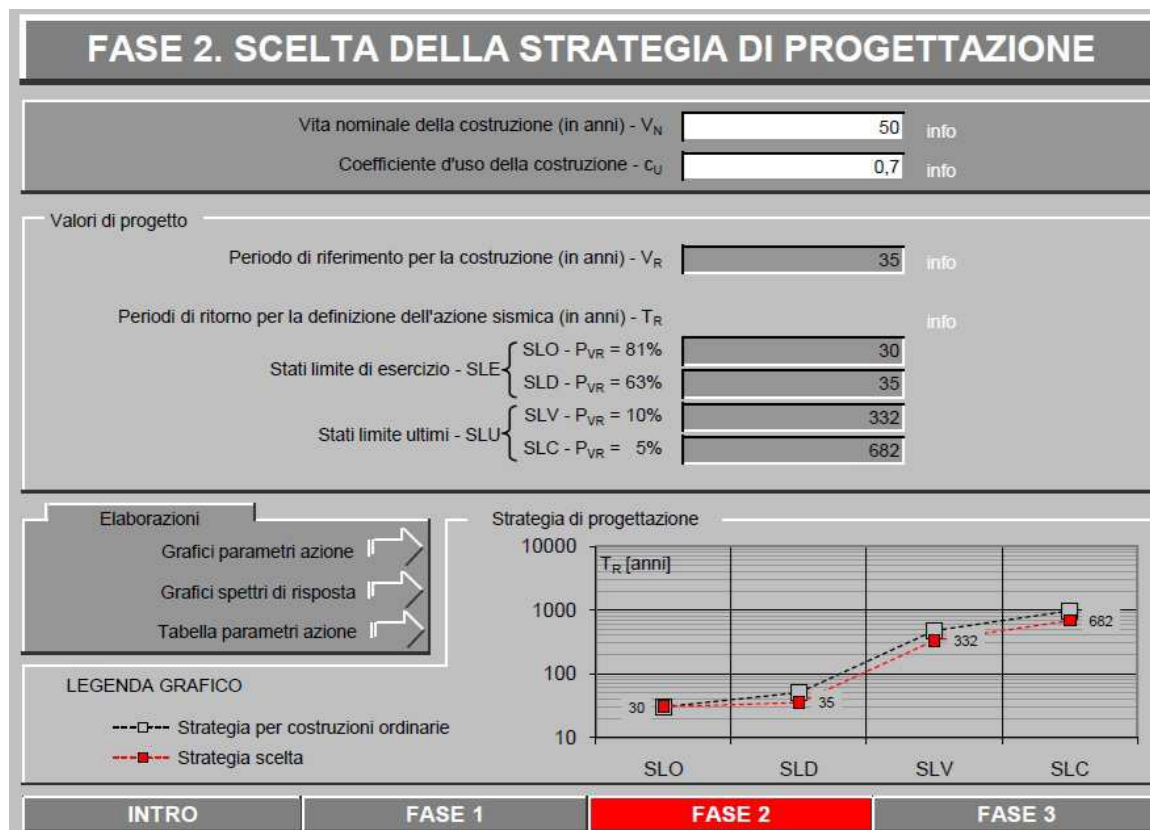


Fig. n°31: Schema per la determinazione dei valori di progetto

Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	30	0,048	2,476	0,256
SLD	35	0,051	2,489	0,261
SLV	332	0,139	2,551	0,275
SLC	682	0,185	2,541	0,279

Fig. n°32: Valori dei parametri sismici in riferimento al tempo di ritorno considerato

Da ricordare che le azioni sismiche desunte dal foglio di calcolo del C.S.L.P. sono valide per sito di riferimento rigido orizzontale; diversamente esse vanno incrementate in funzione della categoria topografica dell'area e della categoria del sottosuolo sotteso dalle eventualmente opere in progetto.

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite

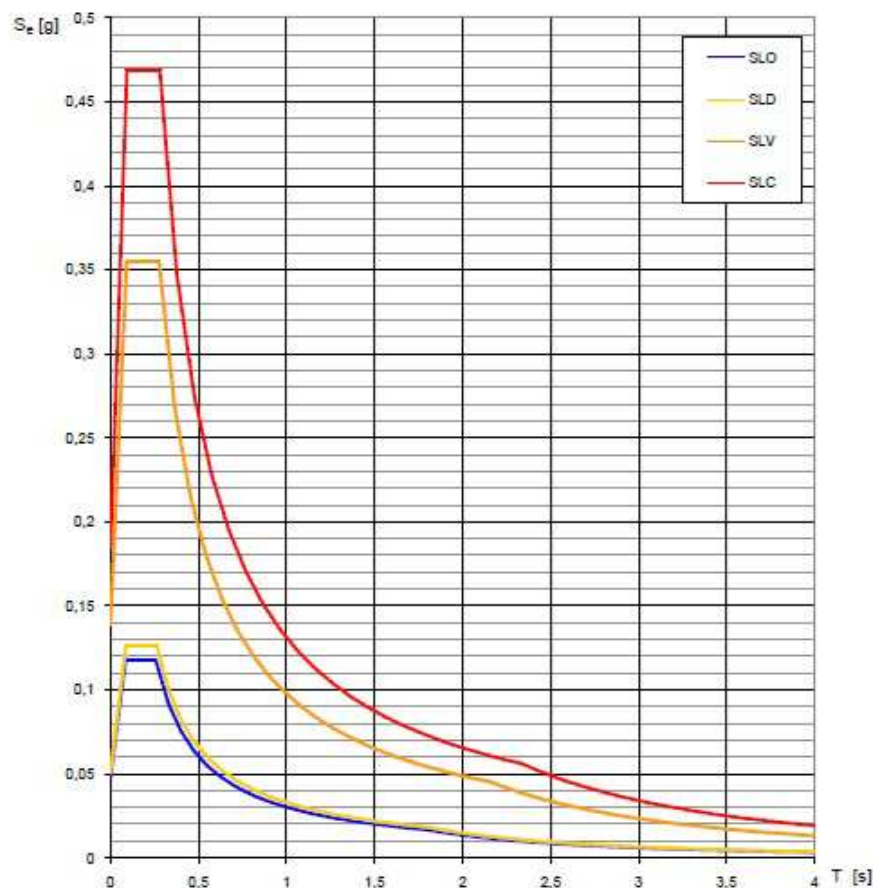


Fig. n°33: Spettri di risposta elastici

Amplificazione topografica

Ciò premesso l'areale in studio è situato in zona del tutto pianeggiante e priva di particolarità morfologiche di rilievo: in conformità alla Tab.3.2.IV delle NTC 2018, il sito è quindi ascrivibile alla categoria topografica T1 cui corrisponde, ai sensi della Tab.3.2.VI delle NTC 2018, un coefficiente di amplificazione topografica:

$$St = 1,0$$

Categoria di sottosuolo e coeff. di amplificazione stratigrafica

Come segnalato in precedenza le indagini hanno evidenziato un sottosuolo dell'intorno indagato costituito da prevalenti depositi sabbiosi e ghiaiosi; la prova HVSR ha rilevato che la velocità di propagazione delle onde sismiche trasversali o di taglio nei primi 30 m di profondità su tali tipi di terreno, calcolata con l'eq.3.2.1. delle NTC 2018, vale $V_{s30} = 234,4$ m/s.

In tale situazione, il sottosuolo va ascritto alla categoria C definita al c.3.2.2. delle NTC 2018 sicché in base alla Tab.3.2.IV delle NTC medesime si assume:

- coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s :

$$1,00 \leq (1,7 - 0,6 \times F_o \times a_g/g) \leq 1,50$$

- coefficiente C_c :

$$1,05 \times (T_c^*)^{-0,33}$$

in particolare, per $T_r = 332$ anni risulta $S_s = 1,50$.

Di conseguenza, in conformità al comma 3.2.3.2. delle NTC 2018, il coeff. di amplificazione che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche vale:

$$S = S_s \times S_t = 1,5 \times 1,0 = 1,5$$

Accelerazione orizzontale massima attesa al sito

L'accelerazione orizzontale massima al suolo sulla verticale del sito in esame per lo stato limite SLV e $P_{vr}=10\%$ e $T_r=332$ anni è pari a:

$$a_{max} = a_g \times S = a_g \times S_s = 0,139 \times 1,5 = 0,208 \text{ g}$$

Analisi di disaggregazione

Dalla pagina del sito dell'INGV (Istituto di Geofisica e Vulcanologia di Milano), sono stati inoltre desunti i parametri di disaggregazione del sito ovvero i valori di magnitudo-distanza con relativa probabilità di superamento del 10% in 50 anni⁶.

Lo studio di disaggregazione di a_g , con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, permette di individuare per l'area in esame, il *range* della coppia magnitudo-distanza che incide maggiormente sulla sismicità dell'area.

Tra i differenti metodi da utilizzare, si è optato per l'impiego delle mappe interattive di pericolosità sismica, presenti sul sito dell'*Istituto di Geofisica e Vulcanologia di Milano* (<http://esse1-gis.mi.ingv.it>); nelle figure successive vengono riprodotti i risultati del procedimento di disaggregazione di a_g e le coppie magnitudo/distanza dei terremoti che apportano i maggiori danni nell'area, in funzione della percentuale della pericolosità.

Tale elaborazione indica che gli eventi che contribuiscono alla sismicità dell'area sono contraddistinti da una magnitudo compresa tra 4,0 e 6,0, con valori medi di circa 4,98 e distanze epicentrali inferiori a 30 km, con valori medi di 9,6 km.

Si tratta pertanto di un'area contraddistinta da una sismicità medio-bassa, confermata anche dall'attribuzione del territorio comunale alla zona sismica 3.

Il valore di magnitudo ottenuto dalla disaggregazione è stato confrontato quello attribuito dalla zonazione sismogenetica 912 all'areale oggetto di intervento, che risulta essere pari a 6,14; adottando un approccio di tipo cautelativo, per eventuali approfondimenti di terzo livello si consiglia di assumere come valore di riferimento della magnitudo quello massimo previsto dalla zonazione sismogenetica 912

⁶ in base ai dati di pericolosità sismica nazionale

Modello di pericolosità sismica MPS04-S1

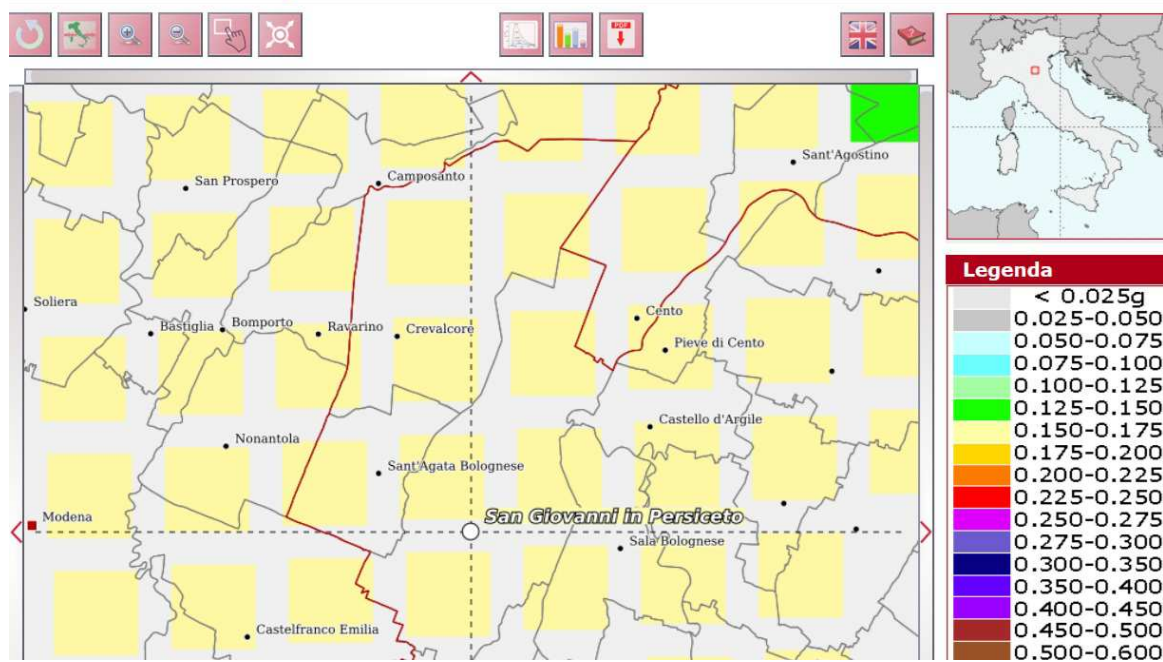


Fig. n°34: Mappa pericolosità sismica tratta da Progetto DCP – INGV – S1

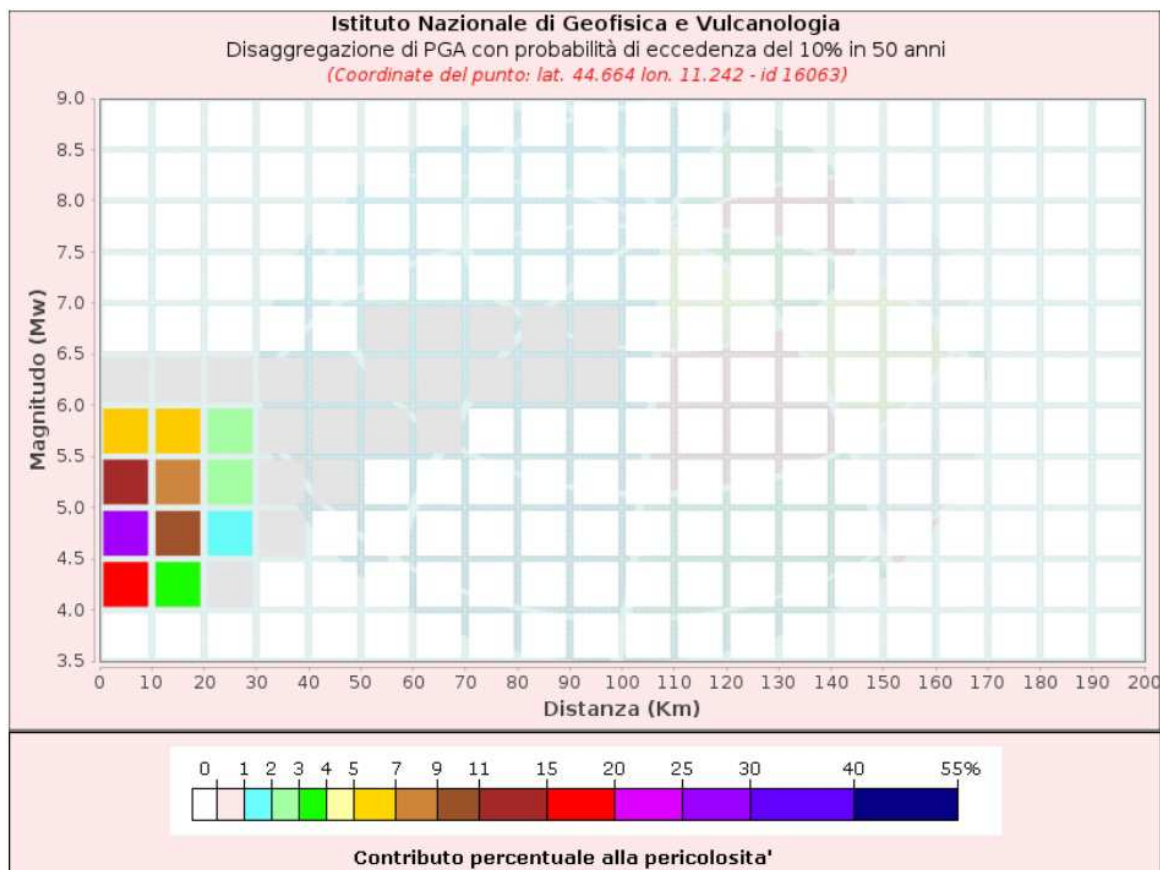


Fig. n°35: Dati di disaggregazione (variabilità in termini di magnitudo e distanza)

Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto: lat. 44.664 lon. 11.242 - id 16063)											
Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.0000	15.1000	26.5000	13.9000	6.2900	0.7110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	3.6900	9.9500	8.7500	5.9600	0.8060	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.1510	1.4000	2.4600	2.3400	0.3310	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0329	0.4320	0.7140	0.1050	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0252	0.1810	0.0311	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0220	0.0096	0.0009	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0018	0.0063	0.0032	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0027	0.0023	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0018	0.0014	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003	0.0007	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.98	9.6	0.74

Fig. n°36: Valori di magnitudo-distanza con relativa probabilità di accadimento del 10% in 50 anni

Microzonazione sismica

Il Comune di San Giovanni in Persiceto dispone di MS di "livello 2" e analisi della CLE con approfondimenti di "livello 3", aggiornati e adeguati ai contenuti richiesti sensi dalla DGR. 476/2021 e DGR integrativa 564/2021.

I risultati degli studi summenzionati sono fondamentalmente riconducibili alla carta delle "microzone omogenee in prospettiva sismica" MOPS (equivalente alla carta delle "aree suscettibili di effetti locali" indicata dagli Indirizzi RER) e alla cartografia di microzonazione sismica (MS), riferita unicamente al "livello 1".

La cartografia di MS comunale, comprende sia zone con approfondimenti di "livello 2", sia zone con approfondimenti di "livello 3" (queste ultime nelle zone urbanizzate e alcune limitrofe).

Gli studi svolti di MS hanno inoltre evidenziato come estese porzioni di territorio extra urbanizzato ricadano nelle "zone di attenzione" per liquefazioni.

L'area in esame ricade nelle "zone di attenzione per instabilità" definite per San Giovanni in Persiceto e riconducibili alla possibilità di fenomeni di liquefazione per la presenza di intervalli granulari saturi nei primi 20 metri. Le zone di attenzione sono state differenziate in relazione alla differente età deposizionale dei sedimenti più superficiali.

L'area in esame ricade nella "zona 4" (ZONA 2004 – ZALQ – zona di attenzione per liquefazione), costituita da depositi granulari recenti più o meno addensati di origine fluviale a tessitura prevalentemente limo-sabbiosa, per uno spessore indicativo di 100m. Questa zona è caratterizzata dalla presenza di orizzonti importanti di sedimenti granulari saturi).

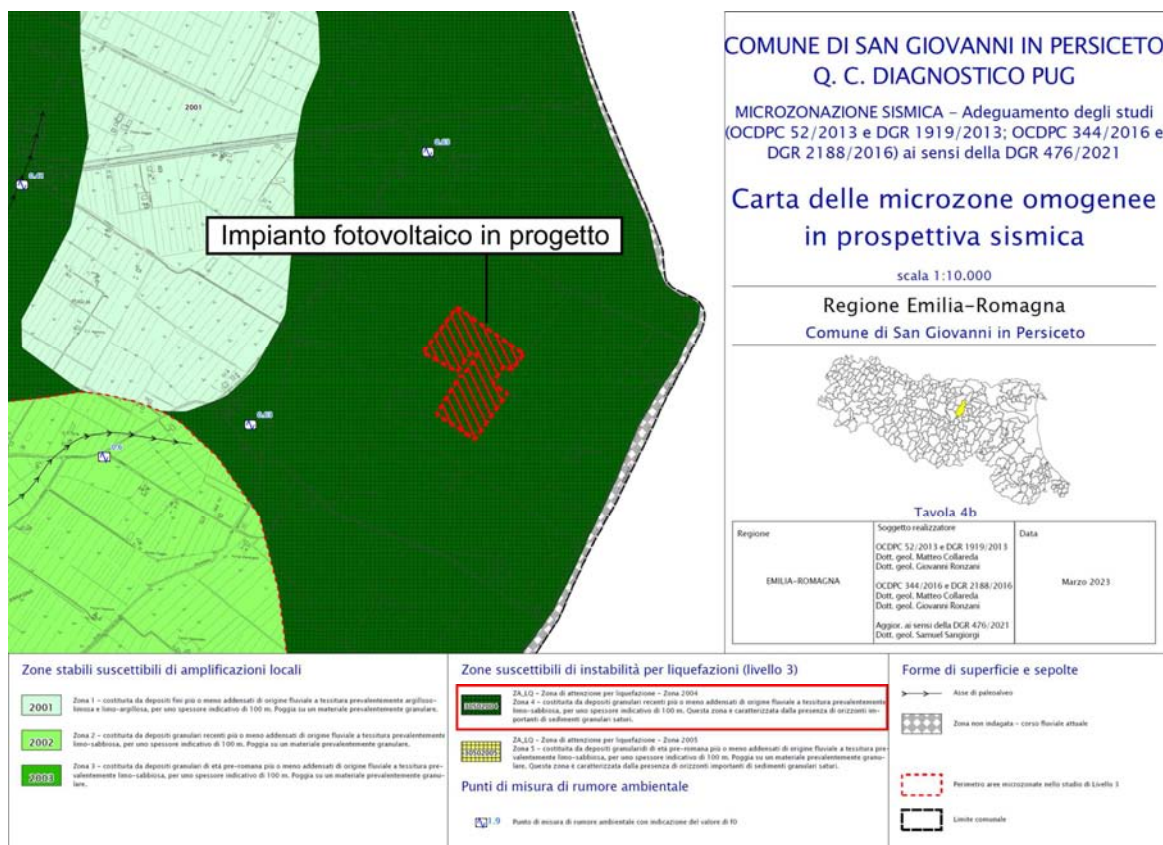


Fig. n°37: Stralcio "Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica" a corredo del PUG

Valutazione della suscettibilità alla liquefazione

Il comune di San Giovanni in Persiceto nonché l'area in esame, appartengono alla Zona Sismogenetica n° 912 denominata "Dorsale Ferrarese" che rappresenta la zona più esterna della fascia in compressione dell'arco appenninico settentrionale. Il Catalogo parametrico dei terremoti italiani Edizione 2004 denominato CPT104 registra valori massimi di magnitudo momento M_w per la zona sismogenetica n° 912 pari a 6.14. Già negli studi eseguiti dalla Regione Emilia-Romagna durante la fase di emergenza sismica erano stati mappati, in maniera speditiva, limiti ed estensioni delle aree potenzialmente suscettibili di liquefazione (Martelli e Romani, 2013).

L'elevato quantitativo di indagini di sottosuolo acquisite durante lo studio di microzonazione ha consentito di meglio discriminare spessore e geometrie dei corpi liquefacibili soprattutto nelle aree prive di dati pregressi o con dati di scarsa affidabilità. Ciò ha portato alla revisione delle zone potenzialmente soggette a tali fenomeni, che

sono state indicate nella Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica come Zone di Attenzione per Liquefazione.

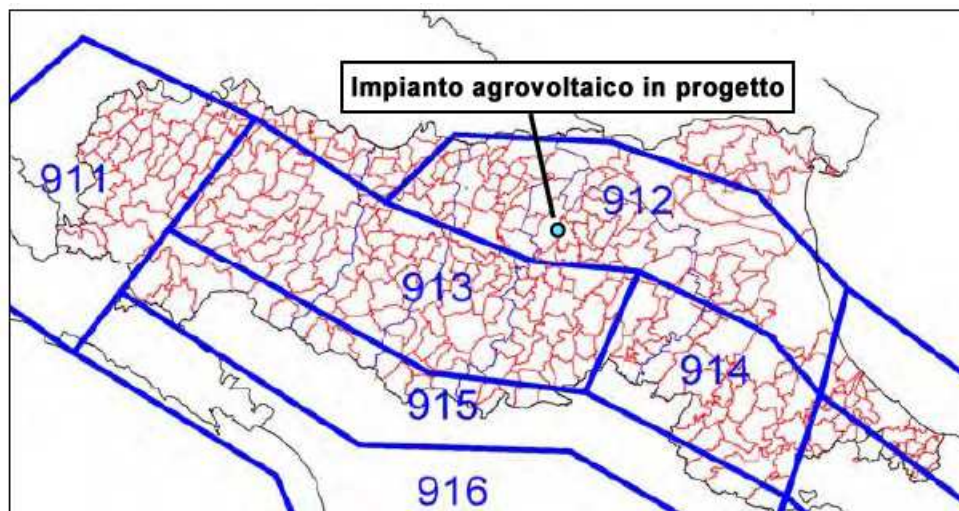


Fig. n°38: La Zona sismogenteica ove ricade l'impianto agrivoltaico in progetto

Nel territorio comunale di San Giovanni in Persiceto l'estensione delle zone suscettibile a liquefazione è risultata abbastanza rilevante. La Città Metropolitana di Bologna, nel 2021, ha provveduto all'aggiornamento degli studi di pericolosità sismica preliminare dell'intero territorio amministrativo.

Secondo la cartografia del PTM di seguito riportata, un ampio settore di territorio comunale, fra cui l'area oggetto della presente istanza, ricade in un contesto di potenziale propensione alla liquefazione per la presenza di intervalli granulari saturi nei primi 20 metri.

Per tali motivi è stata eseguita la verifica della suscettibilità alla liquefazione per le prove penetrometriche CPT realizzate in quanto i livelli sabbiosi e limo-sabbiosi incontrati durante le prove risultano essere in falda e quindi potenzialmente liquefacibili. L'analisi del rischio liquefazione⁷ è stata condotta con il metodo di Robertson e Wride (1997) utilizzando i valori di q_c e f_s desunti dall'elaborazione delle prove CPT eseguite. Di seguito vengono riassunti i risultati ottenuti mentre in appendice vengono riportati i fondamenti teorici del metodo applicato.

⁷ per liquefacibilità di un terreno si intende il processo che porta al pressochè totale annullamento della sua resistenza al taglio con l'assunzione del comportamento caratteristico dei liquidi.

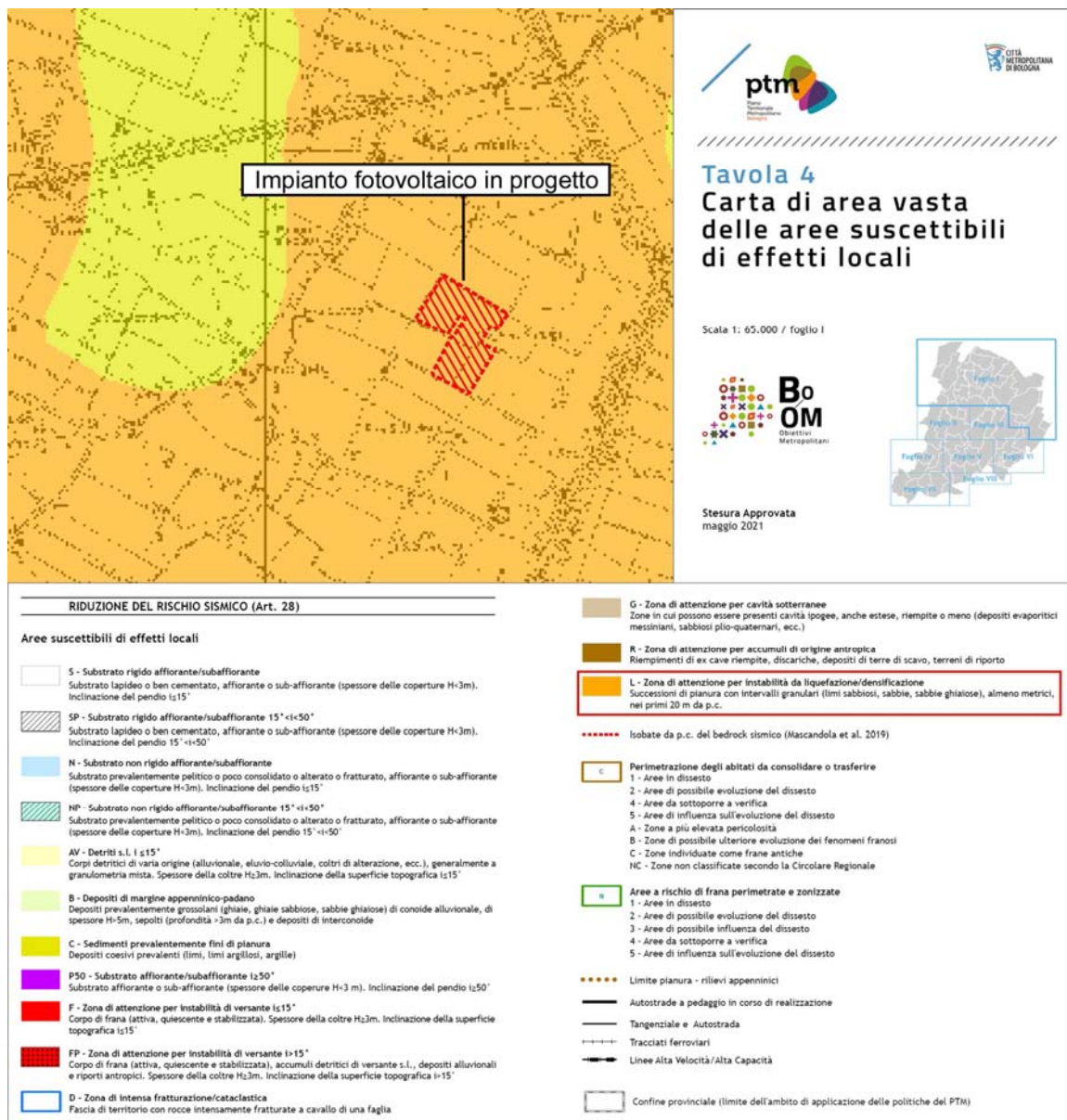


Fig. n°39: Stralcio TAV 4 a corredo del PTM

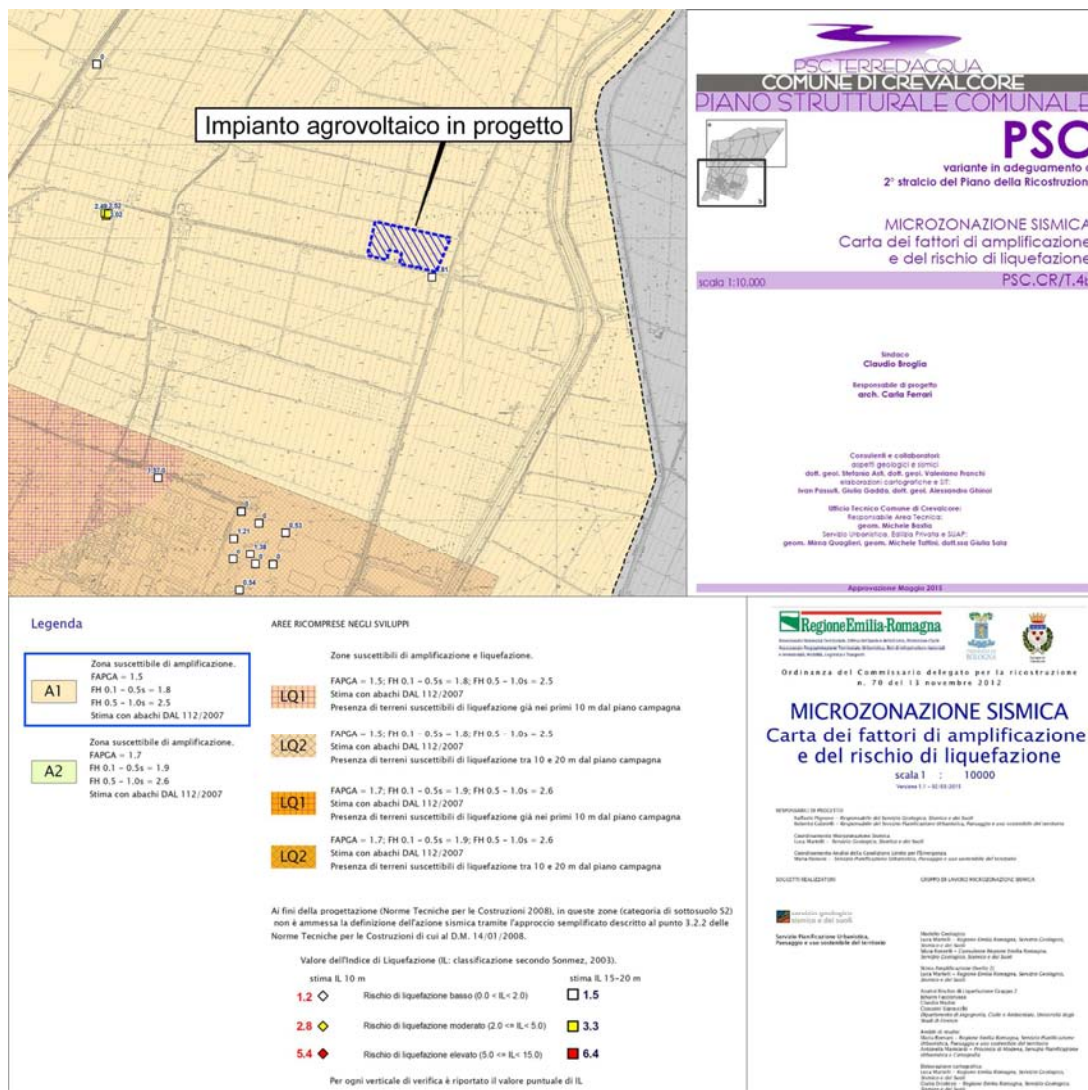


Fig. n°40: Stralcio Microzonazione Sismica



Foto n°5: Particolare delle fasi di realizzazione della prova CPT3

CPT1Dati considerati

Profondità raggiunta dalla prova = 20 m dal p.c.

Numero di strati in cui è stato suddiviso il sottosuolo = 15

Profondità della falda = 2,0 m

Magnitudo del sisma = 6.14

Accelerazione massima al suolo = 0,208

Tab. n°3

Strato	Litologia	Spessore (m)	γ_d (KN/mc)	γ_{sat} (KN/mc)	q_c (KP _a)	f_s (KP _a)	Suscettibilità liquefazione
1	Limi	0.8	16.5	18	1600	52	nessuna
2	Limi sabbiosi	1.4	18	20	2000	106	Non suscettibile
3	Argille limose	0.4	17	21	1900	127	nessuna
4	Limi sabbiosi	4.0	16	20	2700	95	Non suscettibile
5	Argille limose	0.6	16.5	18	2400	76	nessuna
6	Limi sabbiosi	1.2	16	20	3300	89	Non suscettibile
7	Argille	4.8	17	21	3300	154	nessuna
8	Limi sabbiosi	0.2	16.5	18	5800	670	Non suscettibile
9	Argille	0.8	18	20	4400	217	nessuna
10	Limi sabbiosi	0.4	16.5	18	5400	160	Non suscettibile
11	Argille limose	0.4	17	21	5900	220	nessuna
12	Limi sabbiosi	0.4	16	20	5900	110	Non suscettibile
13	Limi sabbiosi	3.2	16.5	18	11300	322	Non suscettibile
14	Argille limose	1.0	17	21	8300	517	nessuna
15	Limi sabbiosi	0.2	16	20	18000	467	Non suscettibile

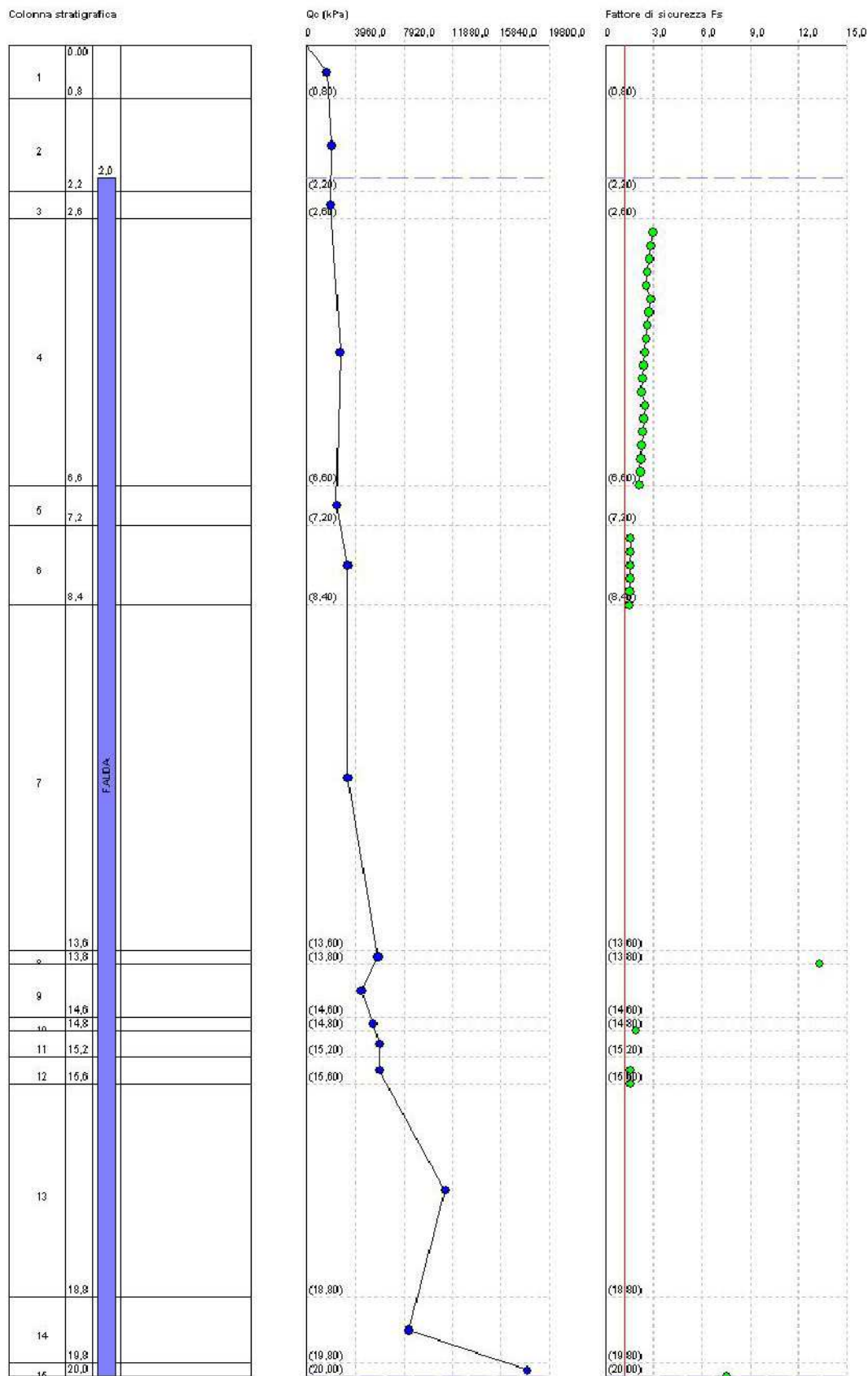


Fig. n°41:Diagramma verifica liquefacibilità del suolo riferita alla prova CPT1

CPT2Dati considerati

Profondità raggiunta dalla prova = 20 m dal p.c.

Numero di strati in cui è stato suddiviso il sottosuolo = 19

Profondità della falda = 2,1 m

Magnitudo del sisma = 6.14

Accelerazione massima al suolo = 0,208

Tab. n°4

Strato	Litologia	Spessore (m)	γ_d (KN/mc)	γ_{sat} (KN/mc)	q_c (KP _a)	f_s (KP _a)	Suscettibilità liquefazione
1	Limi	1.0	16,5	18	1300	50	nessuna
2	Argille limose	0.4	16	20	1000	110	nessuna
3	Argille limose	2.8	17	21	2300	201	nessuna
4	Limi sabbiosi	0.7	16,5	20	3100	210	Non suscettibile
5	Argille limose	1.6	18	20	2200	108	nessuna
6	Limi sabbiosi	2.2	16	20	3300	87	Non suscettibile
7	Argille limose	0.6	19	21	2700	182	nessuna
8	Argille limose	2.0	4,2	20	3100	187	nessuna
9	Limi sabbiosi	0.8	16	20	4500	108	Non suscettibile
10	Argille limose	2.0	19	21	3900	169	nessuna
11	Limi sabbiosi	0.4	16	20	6200	107	Non suscettibile
12	Argille limose	0.8	19	21	2300	125	nessuna
13	Limi sabbiosi	0.4	16	20	6300	123	Non suscettibile
14	Argille	2.2	19	21	3700	207	nessuna
15	Limi sabbiosi	0.4	16	20	11500	130	Non suscettibile
16	Argille limose	0.6	19	21	5800	338	nessuna
17	Limi sabbiosi	0.4	16	20	9900	340	Non suscettibile
18	Argille limose	1.0	19	21	8000	439	nessuna
19	Limi sabbiosi	0.2	16	20	15000	467	Non suscettibile

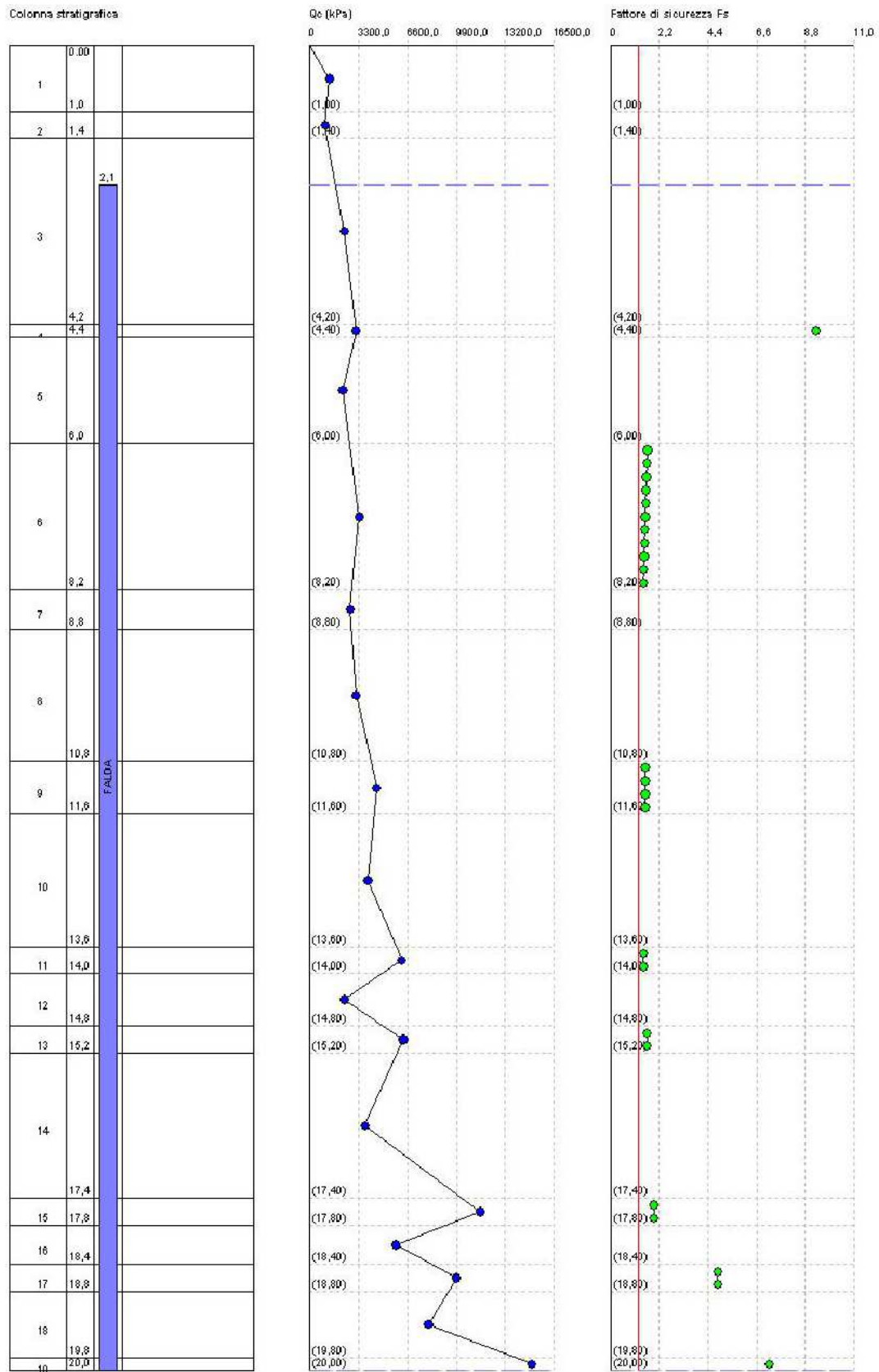


Fig. n°42:Diagramma verifica liquefacibilità del suolo riferita alla prova CPT2

CPT3Dati considerati

Profondità raggiunta dalla prova = 20 m dal p.c.

Numero di strati in cui è stato suddiviso il sottosuolo = 15

Profondità della falda = 2,2 m

Magnitudo del sisma = 6.14

Accelerazione massima al suolo = 0,208

Tab. n°5

Strato	Litologia	Spessore (m)	γ_d (KN/mc)	γ_{sat} (KN/mc)	q_c (KP _a)	f_s (KP _a)	Suscettibilità liquefazione
1	Sabbie limose	0.6	17	18,5	2800	53	
2	Limi sabbiosi	2.0	16,5	18	2800	143	Non suscettibile
3	Argille limose	0.4	17	21	1800	107	nessuna
4	Limi sabbiosi	0.4	16,5	18	2700	110	Non suscettibile
5	Argille limose	5.6	17	21	2100	126	nessuna
6	Argille limose	2	17	21	3100	129	nessuna
7	Limi sabbiosi	1.2	16,5	18	4500	113	Non suscettibile
8	Argille limose	0.8	19	21	2600	137	nessuna
9	Limi sabbiosi	0.4	16,5	18	4500	120	Non suscettibile
10	Argille limose	0.6	18,3	20	5200	198	nessuna
11	Limi sabbiosi	0.8	16	20	6400	172	Non suscettibile
12	Argille limose	0.4	17	21	5900	220	nessuna
13	Limi sabbiosi	0.4	16,5	18	5900	110	Non suscettibile
14	Limi sabbiosi	3.2	17	20	11300	322	Non suscettibile
15	Argille limose	1.0	19	21	8300	517	nessuna

Dalle risultanze ottenute è possibile confermare, in accordo con quanto emerso dagli approfondimenti eseguiti in occasione della redazione della Microzonazione Sismica comunale nonché dai risultati dalle verifiche puntuali eseguite contenute nella Relazione geologica a cura dei dott. Geol. F. Barbieri e R. Ropa, come il suolo non sia liquefacibile ed il rischio da considerarsi molto basso e quindi, in riferimento all'opera in progetto, del tutto accettabile.

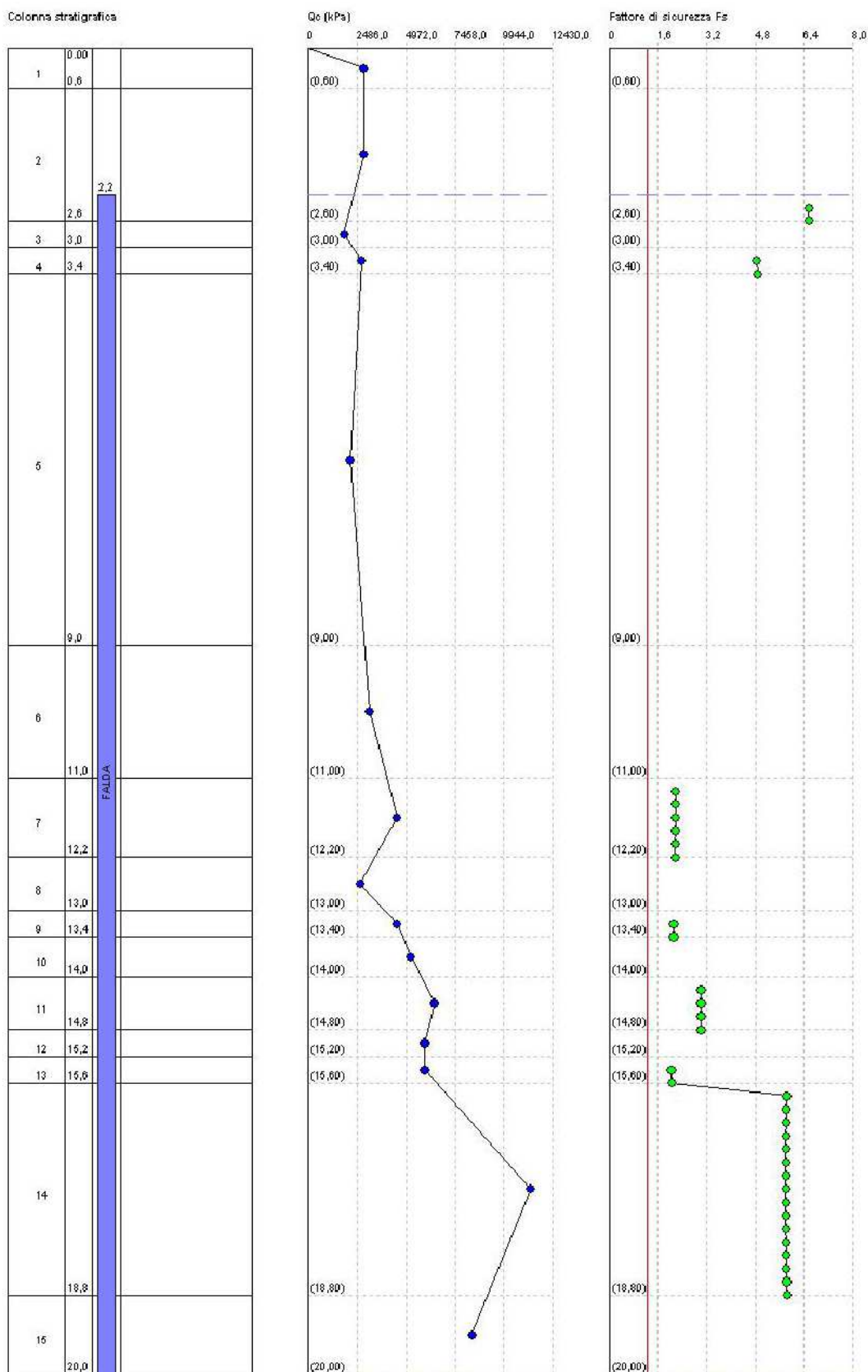


Fig. n°43:Diagramma verifica liquefacibilità del suolo riferita alla prova CPT3

Fattori di pericolosità geologica e rischio sismico

In base ai dati desunti dagli studi a corredo del PSC, del PUG e del PTM, dalle prove penetrometriche e dalla prova sismica eseguite per il presente studio, è possibile confermare come il sottosuolo sia costituito da prevalenti litologie argilloso-limose e limoso-sabbiose, con più sottili intercalazioni di limi sabbiosi passanti a sabbie.

La zona è inoltre inondabile per tempi di ritorno di 20 – 50 anni.

Secondo la *"Carta della pericolosità sismica locale – effetti sito"*, Tav. QC.6 T7a del PSC dell'Associazione Terre d'Acqua, l'area in oggetto rientra nei *"depositi alluvionali"* con $V_{s30} < 800$ m/s, caratterizzati da un *"effetto di sito"* corrispondente alla *"amplificazione litologica"*; il rischio di liquefacibilità dei suoli, anche se ritenuto basso (1.5) come riportato dalla *"Microzonazione sismica – Carta dei fattori di amplificazione e del rischio liquefazione"* a corredo del PSC, non è da escludere. Le verifiche effettuate sulle verticali penetrometriche eseguite per il presente lavoro, nonché dalle risultanze dello studio geologico redatto a cura dei dott. Geol. F. Barbieri e R. Ropa a corredo della richiesta di A.U. per il confinamento impianto fotovoltaico Zenerigolo 1, hanno determinato che il terreno non risulta suscettibile di liquefazione ed il rischio può essere ritenuto molto basso.

L'accelerazione sismica orizzontale massima, sulla verticale del sito, tenendo conto dei coefficienti di amplificazione imposti dalle NTC medesime in merito alle condizioni stratigrafiche (categoria C) e topografiche (categoria T1) dell'area, per il summenzionato $T_r=332$ anni raggiunge il valore:

$$a_{\max} = a_g \times S = a_g \times S_s = 0,139 \times 1,5 = 0,208 \text{ g}$$

CONCLUSIONI

Lo studio geologico, geotecnico e sismico condotto, anche sulla scorta dell'ampia bibliografica disponibile, ha permesso di stabilire che da un punto di vista geologico-geotecnico e sismico, l'area oggetto di intervento non presenta particolari controindicazioni alla realizzazione di un impianto agrovoltico quale quello in progetto.

L'area ove è prevista la realizzazione dell'impianto fotovoltaico è posta a quote topografiche dell'ordine di 21 m s.l.m.: l'andamento planimetrico della superficie è piatto e regolare con una debole pendenza verso NNE pari a circa 1%.

Le prove eseguite hanno consentito di definire un preliminare⁸ modello litostratigrafico e geotecnico dei terreni presenti nel primo sottosuolo, evidenziando la presenza di materiali limo-argillosi e limo-sabbiosi con discrete caratteristiche geotecniche presenti fino alla profondità massima investigata (20 metri di profondità).

I rilevamenti effettuati hanno messo in evidenza che l'area non è interessata da processi geomorfologici attivi e che la prima falda si attestava, alla data delle indagini, ad una profondità di circa 2 metri dal p.c..

Per quanto riguarda la vulnerabilità degli acquiferi, si evidenzia che, l'acquifero più superficiale presenta indici propri di una vulnerabilità intrinseca bassa (condizione più diffusa in presenza di terreni di copertura poco permeabili).

E' stato verificato come relativamente al "**Reticolo Principale**" (RP) l'area ricada in area allagabile, dal F. Reno e T. Samoggia, a cui è associato un "*livello di probabilità elevato*" (alluvioni frequenti TR 20 - 50anni) e di rischio medio.

Per quanto concerne il "**Reticolo secondario di pianura**" (RSP) l'area in studio è invece interessata da uno scenario di "*media probabilità*" per alluvioni meno frequenti (TR 100/200anni) a cui è associato un grado di rischio moderato o nullo.

Ciò premesso il progetto ha tenuto conto dei dettami del PGRA per le aree ricadenti nelle "aree di pericolosità alta P3" (azione M2 Prevenzione con – M23 Riduzione della vulnerabilità degli elementi esposti) prevedendo il piano di calpestio dei locali cabine elettriche ad una quota rialzata di 60 cm rispetto al piano campagna, sufficiente a ridurre la vulnerabilità e adeguata al livello di pericolosità ed esposizione; si conferma che non sono previsti piani interrati e/o seminterrati. Il progetto ha altresì previsto la realizzazione di impianti elettrici con accorgimenti tali da assicurare la continuità del funzionamento dell'impianto fotovoltaico anche in caso di alluvionamento.

Nella zona in esame e soprattutto in quelle circostanti, sono presenti strutture tettoniche (sinclinali, monoclinali e anticlinali), che testimoniano una attività delle sollecitazioni tettoniche medesime, tali da indurre un pericolo sismico non trascurabile.

⁸ le indicazioni tratte dalle tre prove penetrometriche eseguite hanno carattere ed indicativo e non possono in alcun modo sostituire gli opportuni approfondimenti necessari alle fasi esecutive.

Le indagini eseguite hanno permesso di classificare il sito, in base a quanto previsto dal D.M. 14.01.2018 nella categoria di sottosuolo C; l'accelerazione sismica orizzontale attesa è risultata pari a $a_{max} = 0,208 g$

La frequenza di vibrazione principale del terreno si colloca a 0,8 Hz.

il rischio di liquefacibilità dei suoli, anche se ritenuto basso (1.5) come riportato dalla "Microzonazione sismica – Carta dei fattori di amplificazione e del rischio liquefazione" a corredo del PSC, non è da escludere. Le verifiche effettuate sulle verticali penetrometriche eseguite per il presente lavoro, nonché dalle risultanze dello studio geologico redatto a cura dei dott. Geol. F. Barbieri e R. Ropa a corredo della richiesta di A.U. per il confinamento impianto fotovoltaico Zenerigolo 1, hanno determinato che il terreno non risulta suscettibile di liquefazione ed il rischio può essere ritenuto molto basso.

Nei termini indicati si ritiene l'intervento in esame possa essere idoneo e compatibile nei confronti degli aspetti geologici, idrogeologici, geotecnici e di pericolosità sismica locale rilevati.

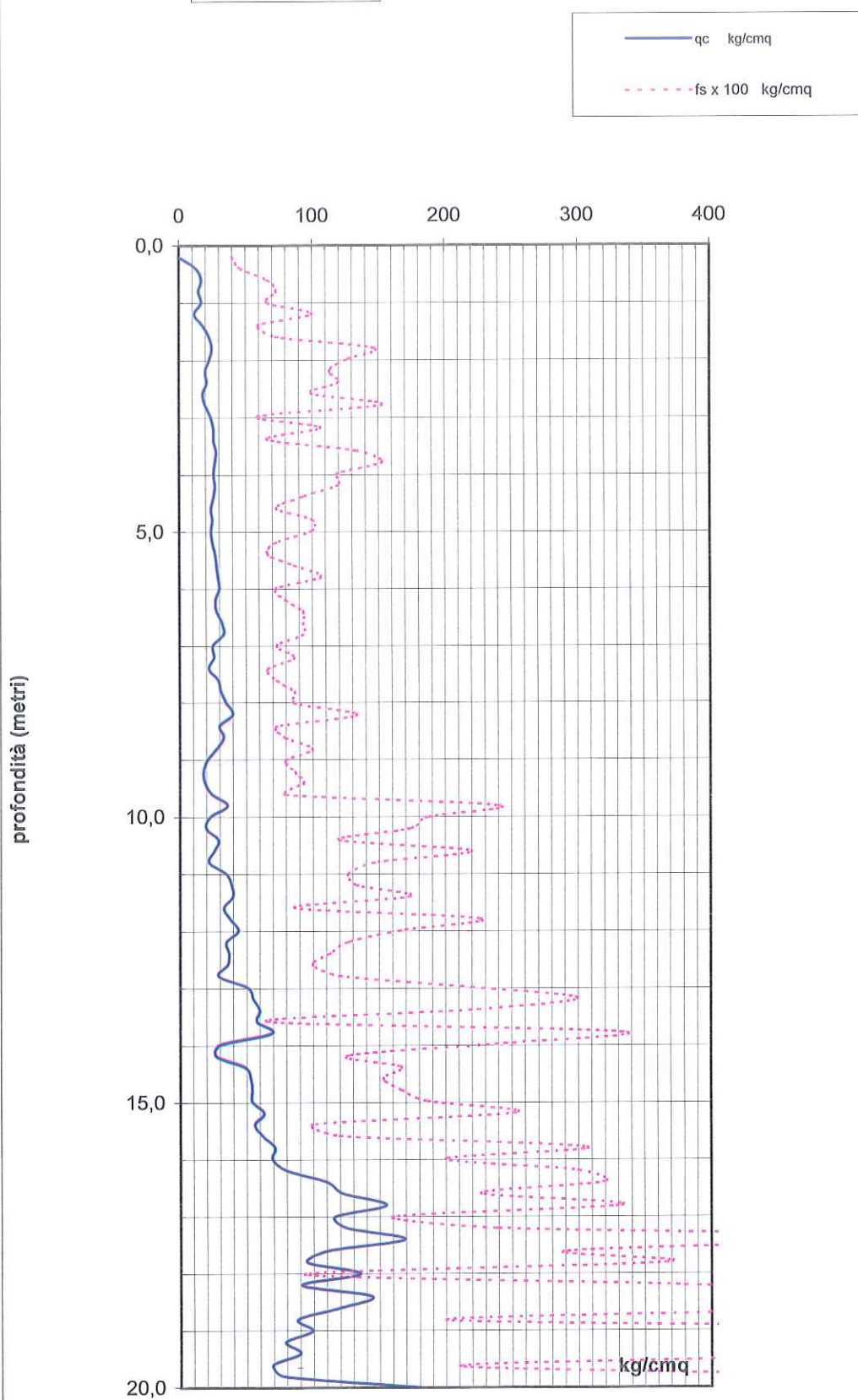
Si consiglia in fase di realizzazione dell'impianto, di approfondire le conoscenze litostratigrafiche dell'area al fine di scongiurare la presenza di eventuali porzioni ove il sottosuolo sia caratterizzato da matrici maggiormente cedevoli che potrebbero generare cedimenti tali da pregiudicare il buon funzionamento dell'impianto.



Impianto agrivoltaico "San Giovanni in Persiceto 2"
Comune di San Giovanni in Persiceto (BO)
RELAZIONE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA, SISMICA
CON PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA DEL SOTTOSUOLO

**PROVE
PENETROMETRICHE
CPT**

Prova CPT n.1

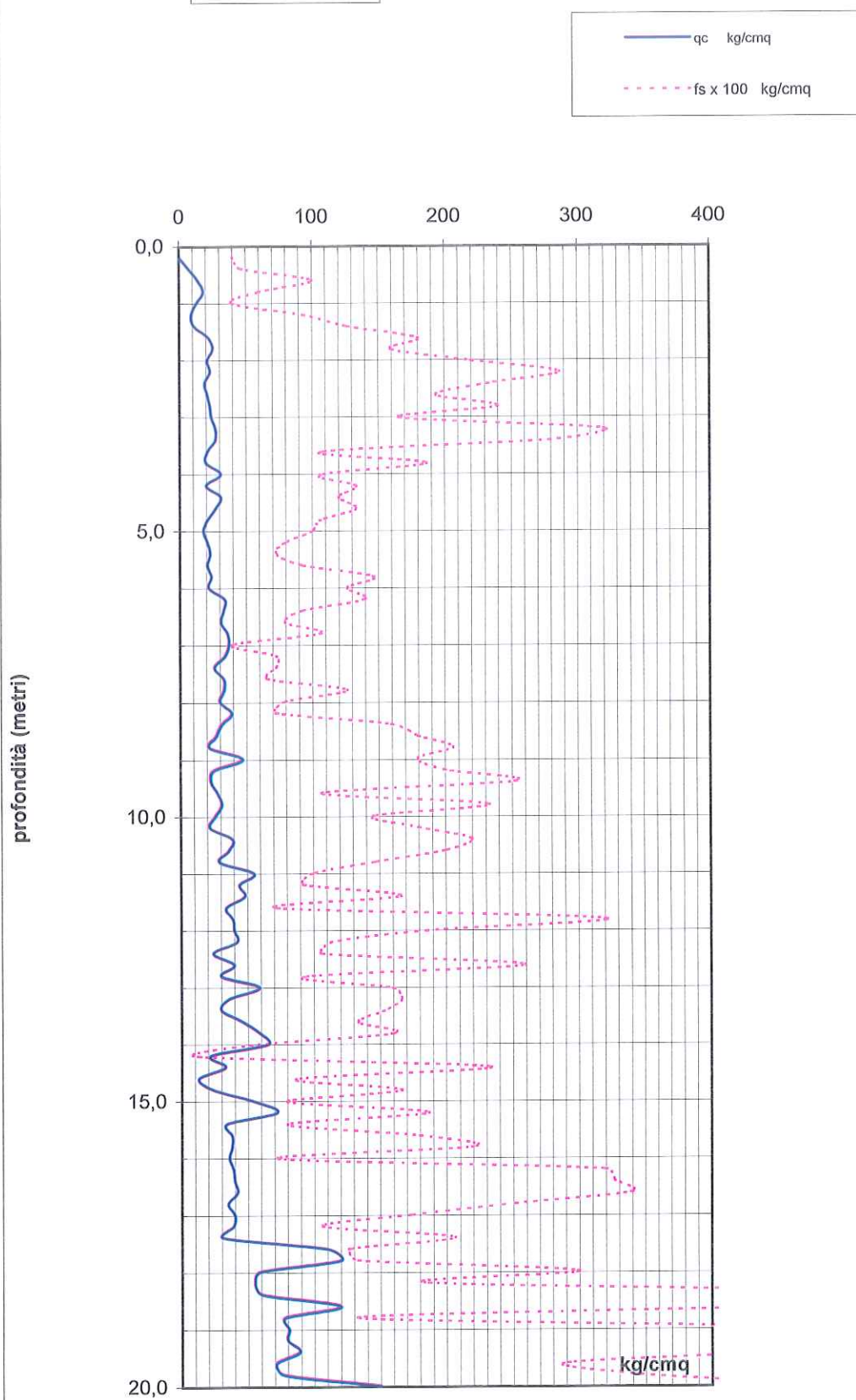


[illegible]

PROVA CPT **n.1**

[illegible]

Prova CPT n.2



studio Lugnani

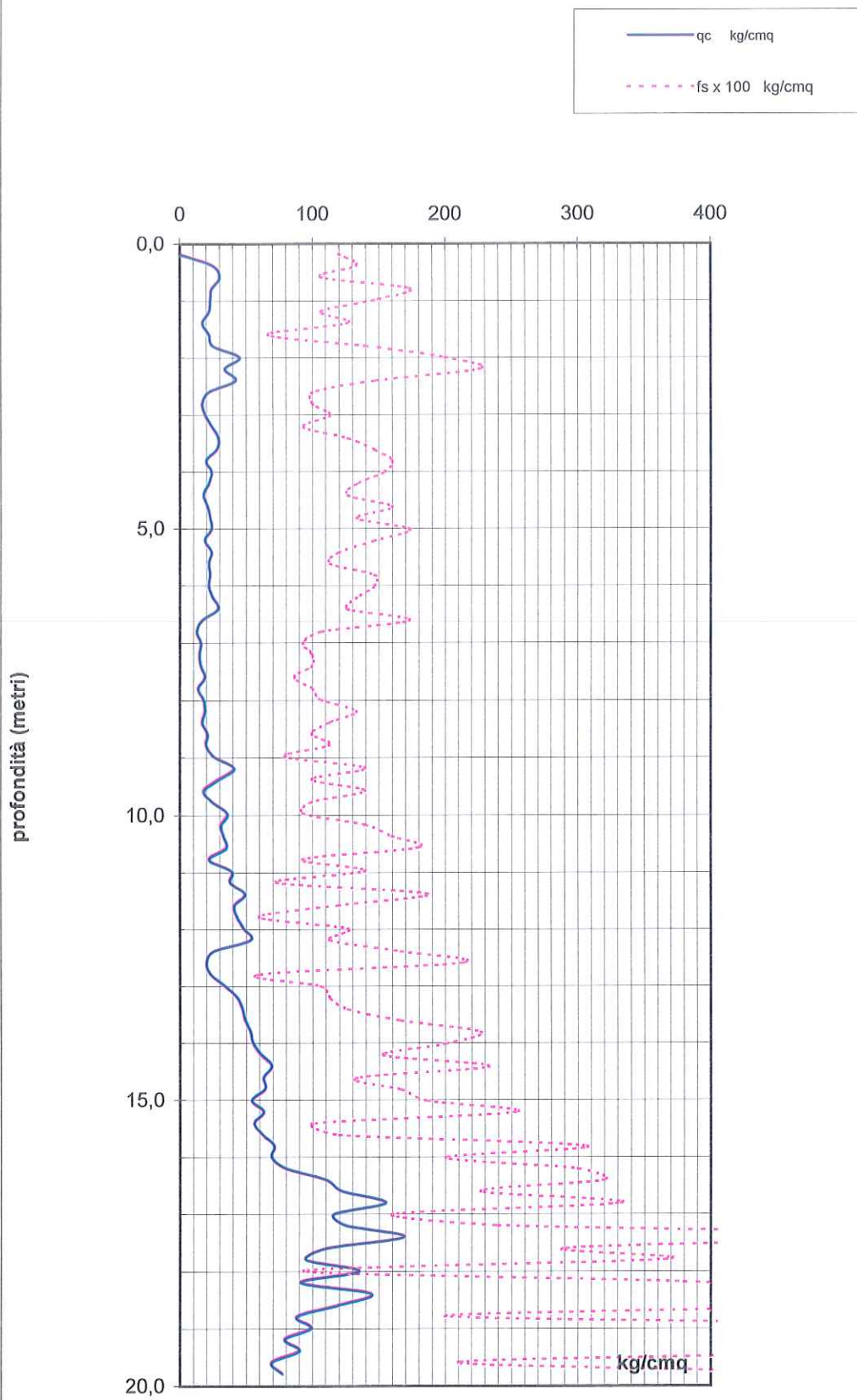
PROVA CPT 0.2

profondità superficie pazzanovica metri 24.1

parametri geotecnici medi

profondità da m	q ₀	f ₀	f ₁	f ₂	f ₃	f ₄	f ₅	f ₆	f ₇	f ₈	f ₉	f ₁₀	f ₁₁	f ₁₂	f ₁₃	f ₁₄	f ₁₅	f ₁₆	f ₁₇	f ₁₈	f ₁₉	f ₂₀	f ₂₁	f ₂₂	f ₂₃	f ₂₄	f ₂₅	f ₂₆	f ₂₇	f ₂₈	f ₂₉	f ₃₀	f ₃₁	f ₃₂	f ₃₃	f ₃₄	f ₃₅	f ₃₆	f ₃₇	f ₃₈	f ₃₉	f ₄₀	f ₄₁	f ₄₂	f ₄₃	f ₄₄	f ₄₅	f ₄₆	f ₄₇	f ₄₈	f ₄₉	f ₅₀	f ₅₁	f ₅₂	f ₅₃	f ₅₄	f ₅₅	f ₅₆	f ₅₇	f ₅₈	f ₅₉	f ₆₀	f ₆₁	f ₆₂	f ₆₃	f ₆₄	f ₆₅	f ₆₆	f ₆₇	f ₆₈	f ₆₉	f ₇₀	f ₇₁	f ₇₂	f ₇₃	f ₇₄	f ₇₅	f ₇₆	f ₇₇	f ₇₈	f ₇₉	f ₈₀	f ₈₁	f ₈₂	f ₈₃	f ₈₄	f ₈₅	f ₈₆	f ₈₇	f ₈₈	f ₈₉	f ₉₀	f ₉₁	f ₉₂	f ₉₃	f ₉₄	f ₉₅	f ₉₆	f ₉₇	f ₉₈	f ₉₉	f ₁₀₀	f ₁₀₁	f ₁₀₂	f ₁₀₃	f ₁₀₄	f ₁₀₅	f ₁₀₆	f ₁₀₇	f ₁₀₈	f ₁₀₉	f ₁₁₀	f ₁₁₁	f ₁₁₂	f ₁₁₃	f ₁₁₄	f ₁₁₅	f ₁₁₆	f ₁₁₇	f ₁₁₈	f ₁₁₉	f ₁₂₀	f ₁₂₁	f ₁₂₂	f ₁₂₃	f ₁₂₄	f ₁₂₅	f ₁₂₆	f ₁₂₇	f ₁₂₈	f ₁₂₉	f ₁₃₀	f ₁₃₁	f ₁₃₂	f ₁₃₃	f ₁₃₄	f ₁₃₅	f ₁₃₆	f ₁₃₇	f ₁₃₈	f ₁₃₉	f ₁₄₀	f ₁₄₁	f ₁₄₂	f ₁₄₃	f ₁₄₄	f ₁₄₅	f ₁₄₆	f ₁₄₇	f ₁₄₈	f ₁₄₉	f ₁₅₀	f ₁₅₁	f ₁₅₂	f ₁₅₃	f ₁₅₄	f ₁₅₅	f ₁₅₆	f ₁₅₇	f ₁₅₈	f ₁₅₉	f ₁₆₀	f ₁₆₁	f ₁₆₂	f ₁₆₃	f ₁₆₄	f ₁₆₅	f ₁₆₆	f ₁₆₇	f ₁₆₈	f ₁₆₉	f ₁₇₀	f ₁₇₁	f ₁₇₂	f ₁₇₃	f ₁₇₄	f ₁₇₅	f ₁₇₆	f ₁₇₇	f ₁₇₈	f ₁₇₉	f ₁₈₀	f ₁₈₁	f ₁₈₂	f ₁₈₃	f ₁₈₄	f ₁₈₅	f ₁₈₆	f ₁₈₇	f ₁₈₈	f ₁₈₉	f ₁₉₀	f ₁₉₁	f ₁₉₂	f ₁₉₃	f ₁₉₄	f ₁₉₅	f ₁₉₆	f ₁₉₇	f ₁₉₈	f ₁₉₉	f ₂₀₀	f ₂₀₁	f ₂₀₂	f ₂₀₃	f ₂₀₄	f ₂₀₅	f ₂₀₆	f ₂₀₇	f ₂₀₈	f ₂₀₉	f ₂₁₀	f ₂₁₁	f ₂₁₂	f ₂₁₃	f ₂₁₄	f ₂₁₅	f ₂₁₆	f ₂₁₇	f ₂₁₈	f ₂₁₉	f ₂₂₀	f ₂₂₁	f ₂₂₂	f ₂₂₃	f ₂₂₄	f ₂₂₅	f ₂₂₆	f ₂₂₇	f ₂₂₈	f ₂₂₉	f ₂₃₀	f ₂₃₁	f ₂₃₂	f ₂₃₃	f ₂₃₄	f ₂₃₅	f ₂₃₆	f ₂₃₇	f ₂₃₈	f ₂₃₉	f ₂₄₀	f ₂₄₁	f ₂₄₂	f ₂₄₃	f ₂₄₄	f ₂₄₅	f ₂₄₆	f ₂₄₇	f ₂₄₈	f ₂₄₉	f ₂₅₀	f ₂₅₁	f ₂₅₂	f ₂₅₃	f ₂₅₄	f ₂₅₅	f ₂₅₆	f ₂₅₇	f ₂₅₈	f ₂₅₉	f ₂₆₀	f ₂₆₁	f ₂₆₂	f ₂₆₃	f ₂₆₄	f ₂₆₅	f ₂₆₆	f ₂₆₇	f ₂₆₈	f ₂₆₉	f ₂₇₀	f ₂₇₁	f ₂₇₂	f ₂₇₃	f ₂₇₄	f ₂₇₅	f ₂₇₆	f ₂₇₇	f ₂₇₈	f ₂₇₉	f ₂₈₀	f ₂₈₁	f ₂₈₂	f ₂₈₃	f ₂₈₄	f ₂₈₅	f ₂₈₆	f ₂₈₇	f ₂₈₈	f ₂₈₉	f ₂₉₀	f ₂₉₁	f ₂₉₂	f ₂₉₃	f ₂₉₄	f ₂₉₅	f ₂₉₆	f ₂₉₇	f ₂₉₈	f ₂₉₉	f ₃₀₀	f ₃₀₁	f ₃₀₂	f ₃₀₃	f ₃₀₄	f ₃₀₅	f ₃₀₆	f ₃₀₇	f ₃₀₈	f ₃₀₉	f ₃₁₀	f ₃₁₁	f ₃₁₂	f ₃₁₃	f ₃₁₄	f ₃₁₅	f ₃₁₆	f ₃₁₇	f ₃₁₈	f ₃₁₉	f ₃₂₀	f ₃₂₁	f ₃₂₂	f ₃₂₃	f ₃₂₄	f ₃₂₅	f ₃₂₆	f ₃₂₇	f ₃₂₈	f ₃₂₉	f ₃₃₀	f ₃₃₁	f ₃₃₂	f ₃₃₃	f ₃₃₄	f ₃₃₅	f ₃₃₆	f ₃₃₇	f ₃₃₈	f ₃₃₉	f ₃₄₀	f ₃₄₁	f ₃₄₂	f ₃₄₃	f ₃₄₄	f ₃₄₅	f ₃₄₆	f ₃₄₇	f ₃₄₈	f ₃₄₉	f ₃₅₀	f ₃₅₁	f ₃₅₂	f ₃₅₃	f ₃₅₄	f ₃₅₅	f ₃₅₆	f ₃₅₇	f ₃₅₈	f ₃₅₉	f ₃₆₀	f ₃₆₁	f ₃₆₂	f ₃₆₃	f ₃₆₄	f ₃₆₅	f ₃₆₆	f ₃₆₇	f ₃₆₈	f ₃₆₉	f ₃₇₀	f ₃₇₁	f ₃₇₂	f ₃₇₃	f ₃₇₄	f ₃₇₅	f ₃₇₆	f ₃₇₇	f ₃₇₈	f ₃₇₉	f ₃₈₀	f ₃₈₁	f ₃₈₂	f ₃₈₃	f ₃₈₄	f ₃₈₅	f ₃₈₆	f ₃₈₇	f ₃₈₈	f ₃₈₉	f ₃₉₀	f ₃₉₁	f ₃₉₂	f ₃₉₃	f ₃₉₄	f ₃₉₅	f ₃₉₆	f ₃₉₇	f ₃₉₈	f ₃₉₉	f ₄₀₀	f ₄₀₁	f ₄₀₂	f ₄₀₃	f ₄₀₄	f ₄₀₅	f ₄₀₆	f ₄₀₇	f ₄₀₈	f ₄₀₉	f ₄₁₀	f ₄₁₁	f ₄₁₂	f ₄₁₃	f ₄₁₄	f ₄₁₅	f ₄₁₆	f ₄₁₇	f ₄₁₈	f ₄₁₉	f ₄₂₀	f ₄₂₁	f ₄₂₂	f ₄₂₃	f ₄₂₄	f ₄₂₅	f ₄₂₆	f ₄₂₇	f ₄₂₈	f ₄₂₉	f ₄₃₀	f ₄₃₁	f ₄₃₂	f ₄₃₃	f ₄₃₄	f ₄₃₅	f ₄₃₆	f ₄₃₇	f ₄₃₈	f ₄₃₉	f ₄₄₀	f ₄₄₁	f ₄₄₂	f ₄₄₃	f ₄₄₄	f ₄₄₅	f ₄₄₆	f ₄₄₇	f ₄₄₈	f ₄₄₉	f ₄₅₀	f ₄₅₁	f ₄₅₂	f ₄₅₃	f ₄₅₄	f ₄₅₅	f ₄₅₆	f ₄₅₇	f ₄₅₈	f ₄₅₉	f ₄₆₀	f ₄₆₁	f ₄₆₂	f ₄₆₃	f ₄₆₄	f ₄₆₅	f ₄₆₆	f ₄₆₇	f ₄₆₈	f ₄₆₉	f ₄₇₀	f ₄₇₁	f ₄₇₂	f ₄₇₃	f ₄₇₄	f ₄₇₅	f ₄₇₆	f ₄₇₇	f ₄₇₈	f ₄₇₉	f ₄₈₀	f ₄₈₁	f ₄₈₂	f ₄₈₃	f ₄₈₄	f ₄₈₅	f ₄₈₆	f ₄₈₇	f ₄₈₈	f ₄₈₉	f ₄₉₀	f ₄₉₁	f ₄₉₂	f ₄₉₃	f ₄₉₄	f ₄₉₅	f ₄₉₆	f ₄₉₇	f ₄₉₈	f ₄₉₉	f ₅₀₀	f ₅₀₁	f ₅₀₂	f ₅₀₃	f ₅₀₄	f ₅₀₅	f ₅₀₆	f ₅₀₇	f ₅₀₈	f ₅₀₉	f ₅₁₀	f ₅₁₁	f ₅₁₂	f ₅₁₃	f ₅₁₄	f ₅₁₅	f ₅₁₆	f ₅₁₇	f ₅₁₈	f ₅₁₉	f ₅₂₀	f ₅₂₁	f ₅₂₂	f ₅₂₃	f ₅₂₄	f ₅₂₅	f ₅₂₆	f ₅₂₇	f ₅₂₈	f ₅₂₉	f ₅₃₀	f ₅₃₁	f ₅₃₂	f ₅₃₃	f ₅₃₄	f ₅₃₅	f ₅₃₆	f ₅₃₇	f ₅₃₈	f ₅₃₉	f ₅₄₀	f ₅₄₁	f ₅₄₂	f ₅₄₃	f ₅₄₄	f ₅₄₅	f ₅₄₆	f ₅₄₇	f ₅₄₈	f ₅₄₉	f ₅₅₀	f ₅₅₁	f ₅₅₂	f ₅₅₃	f ₅₅₄	f ₅₅₅	f ₅₅₆	f ₅₅₇	f ₅₅₈	f ₅₅₉	f ₅₆₀	f ₅₆₁	f ₅₆₂	f ₅₆₃	f ₅₆₄	f ₅₆₅	f ₅₆₆	f ₅₆₇	f ₅₆₈	f ₅₆₉	f ₅₇₀	f ₅₇₁	f ₅₇₂	f ₅₇₃	f ₅₇₄	f ₅₇₅	f ₅₇₆	f ₅₇₇	f ₅₇₈	f ₅₇₉	f ₅₈₀	f ₅₈₁	f ₅₈₂	f ₅₈₃	f ₅₈₄	f ₅₈₅	f ₅₈₆	f ₅₈₇	f ₅₈₈	f ₅₈₉	f ₅₉₀	f ₅₉₁	f ₅₉₂	f ₅₉₃	f ₅₉₄	f ₅₉₅	f ₅₉₆	f ₅₉₇	f ₅₉₈	f ₅₉₉	f ₆₀₀	f ₆₀₁	f ₆₀₂	f ₆₀₃	f ₆₀₄	f ₆₀₅	f ₆₀₆	f ₆₀₇	f ₆₀₈	f ₆₀₉	f ₆₁₀	f ₆₁₁	f ₆₁₂	f ₆₁₃	f ₆₁₄	f ₆₁₅	f ₆₁₆	f ₆₁₇	f ₆₁₈	f ₆₁₉	f ₆₂₀	f ₆₂₁	f ₆₂₂	f ₆₂₃	f ₆₂₄	f ₆₂₅	f ₆₂₆	f ₆₂₇	f ₆₂₈	f ₆₂₉	f ₆₃₀	f ₆₃₁	f ₆₃₂	f ₆₃₃	f ₆₃₄	f ₆₃₅	f ₆₃₆	f ₆₃₇	f ₆₃₈	f ₆₃₉	f ₆₄₀	f ₆₄₁	f ₆₄₂	f ₆₄₃	f ₆₄₄	f ₆₄₅	f ₆₄₆	f ₆₄₇	f ₆₄₈	f ₆₄₉	f ₆₅₀	f ₆₅₁	f ₆₅₂	f ₆₅₃	f ₆₅₄	f ₆₅₅	f ₆₅₆	f ₆₅₇	f ₆₅₈	f ₆₅₉	f ₆₆₀	f ₆₆₁	f ₆₆₂	f ₆₆₃	f ₆₆₄	f ₆₆₅	f ₆₆₆	f ₆₆₇	f ₆₆₈	f ₆₆₉	f ₆₇₀	f ₆₇₁	f ₆₇₂	f ₆₇₃	f ₆₇₄	f ₆₇₅	f ₆₇₆	f ₆₇₇	f ₆₇₈	f ₆₇₉	f ₆₈₀	f ₆₈₁	f ₆₈₂	f ₆₈₃	f ₆₈₄	f ₆₈₅	f ₆₈₆	f ₆₈₇	f ₆₈₈	f ₆₈₉	f ₆₉₀	f ₆₉₁	f ₆₉₂	f ₆₉₃	f ₆₉₄	f ₆₉₅	f ₆₉₆	f ₆₉₇	f ₆₉₈	f ₆₉₉	f ₇₀₀	f ₇₀₁	f ₇₀₂	f ₇₀₃	f ₇₀₄	f ₇₀₅	f ₇₀₆	f ₇₀₇	f ₇₀₈	f ₇₀₉	f ₇₁₀	f ₇₁₁	f ₇₁₂	f ₇₁₃	f ₇₁₄	f ₇₁₅	f ₇₁₆	f ₇₁₇	f ₇₁₈	f ₇₁₉	f ₇₂₀	f ₇₂₁	f ₇₂₂	f ₇₂₃	f ₇₂₄	f ₇₂₅	f ₇₂₆	f ₇₂₇	f ₇₂₈	f ₇₂₉	f ₇₃₀	f ₇₃₁	f ₇₃₂	f ₇₃₃	f ₇₃₄	f ₇₃₅	f ₇₃₆	f ₇₃₇	f ₇₃₈	f ₇₃₉	f ₇₄₀	f ₇₄₁	f ₇₄₂	f ₇₄₃	f ₇₄₄	f ₇₄₅	f ₇₄₆	f ₇₄₇	f ₇₄₈	f ₇₄₉	f ₇₅₀	f ₇₅₁	f ₇₅₂	f ₇₅₃	f ₇₅₄	f ₇₅₅	f ₇₅₆	f ₇₅₇	f ₇₅₈	f ₇₅₉	f ₇₆₀	f ₇₆₁	f ₇₆₂	f ₇₆₃	f ₇₆₄	f ₇₆₅	f ₇₆₆	f ₇₆₇	f ₇₆₈	f ₇₆₉	f ₇₇₀	f ₇₇₁	f ₇₇₂	f ₇₇₃	f ₇₇₄	f ₇₇₅	f ₇₇₆	f ₇₇₇	f ₇₇₈	f ₇₇₉	f ₇₈₀	f ₇₈₁	f ₇₈₂	f ₇₈₃	f ₇₈₄	f ₇₈₅	f ₇₈₆	f ₇₈₇	f ₇₈₈	f ₇₈₉	f ₇₉₀	f ₇₉₁	f ₇₉₂	f ₇₉₃	f ₇₉₄	f ₇₉₅	f ₇₉₆	f ₇₉₇	f ₇₉₈	f ₇₉₉	f ₈₀₀	f ₈₀₁	f ₈₀₂	f ₈₀₃	f ₈₀₄	f ₈₀₅	f ₈₀₆	f ₈₀₇	f ₈₀₈	f ₈₀₉	f ₈₁₀	f ₈₁₁	f ₈₁₂	f ₈₁₃	f ₈₁₄	f ₈₁₅	f ₈₁₆	f ₈₁₇	f ₈₁₈	f ₈₁₉	f ₈₂₀	f ₈₂₁	f ₈₂₂	f ₈₂₃	f ₈₂₄	f ₈₂₅	f ₈₂₆	f ₈₂₇	f ₈₂₈	f ₈₂₉	f ₈₃₀	f ₈₃₁	f ₈₃₂	f ₈₃₃	f ₈₃₄	f ₈₃₅	f ₈₃₆	f ₈₃₇	f ₈₃₈	f ₈₃₉	f ₈₄₀	f ₈₄₁	f ₈₄₂	f ₈₄₃	f ₈₄₄	f ₈₄₅	f ₈₄₆	f ₈₄₇	f ₈₄₈	f ₈₄₉	f ₈₅₀	f ₈₅₁	f ₈₅₂	f ₈₅₃	f ₈₅₄	f ₈₅₅	f ₈₅₆	f ₈₅₇	f ₈₅₈	f ₈₅₉	f ₈₆₀	f ₈₆₁	f ₈₆₂	f ₈₆₃	f ₈₆₄	f ₈₆₅	f ₈₆₆	f ₈₆₇	f ₈₆₈	f ₈₆₉	f ₈₇₀	f ₈₇₁	f ₈₇₂	f ₈₇₃	f ₈₇₄	f ₈₇₅	f ₈₇₆	f ₈₇₇	f ₈₇₈	f ₈₇₉	f ₈₈₀	f ₈₈₁	f ₈₈₂	f ₈₈₃	f ₈₈₄	f ₈₈₅	f ₈₈₆	f ₈₈₇	f ₈₈₈	f ₈₈₉	f ₈₉₀	f ₈₉₁	f ₈₉₂	f ₈₉₃	f ₈₉₄	f ₈₉₅	f ₈₉₆	f ₈₉₇	f ₈₉₈	f ₈₉₉	f ₉₀₀	f ₉₀₁	f ₉₀₂	f ₉₀₃	f ₉₀₄	f ₉₀₅	f ₉₀₆	f ₉₀₇	f ₉₀₈	f ₉₀₉	f ₉₁₀	f ₉₁₁	f ₉₁₂	f ₉₁₃	f ₉₁₄	f ₉₁₅	f ₉₁₆	f ₉₁₇	f ₉₁₈	f ₉₁₉	f ₉₂₀	f ₉₂₁	f ₉₂₂	f ₉₂₃	f ₉₂₄	f ₉₂₅	f ₉₂₆	f ₉₂₇	f ₉₂₈	f ₉₂₉	f ₉₃₀	f ₉₃₁	f ₉₃₂	f ₉₃₃	f ₉₃₄	f ₉₃₅	f ₉₃₆	f ₉₃₇	f ₉₃₈	f ₉₃₉	f ₉₄₀	f ₉₄₁	f ₉₄₂	f ₉₄₃	f ₉₄₄	f ₉₄₅	f
-----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	---------------

Prova CPT n.3



PROVA CPT **n.3**

profundità superficie plasmatica, metri

- parametri geotecnici medi -

[illegible]

Impianto agrivoltaico "San Giovanni in Persiceto 2"
Comune di San Giovanni in Persiceto (BO)
RELAZIONE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA, SISMICA
CON PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA DEL SOTTOSUOLO

PROVA HVSR
validazione curva H/V secondo
criteri SESAME

Riassunto interpretazione HVSR HVSR 1

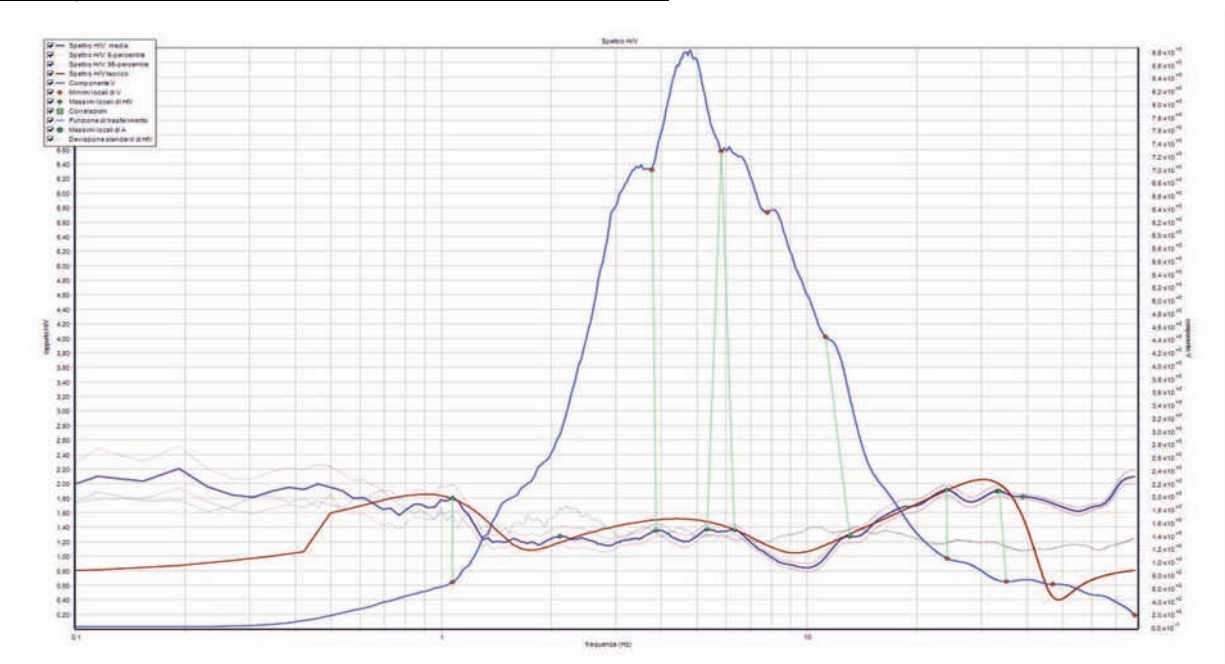
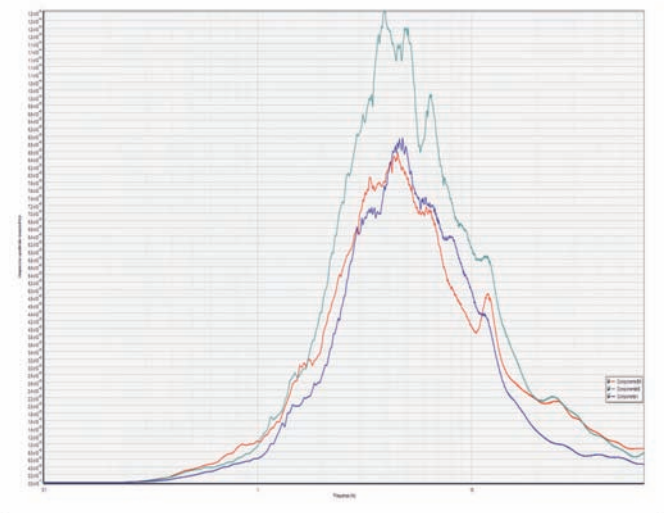
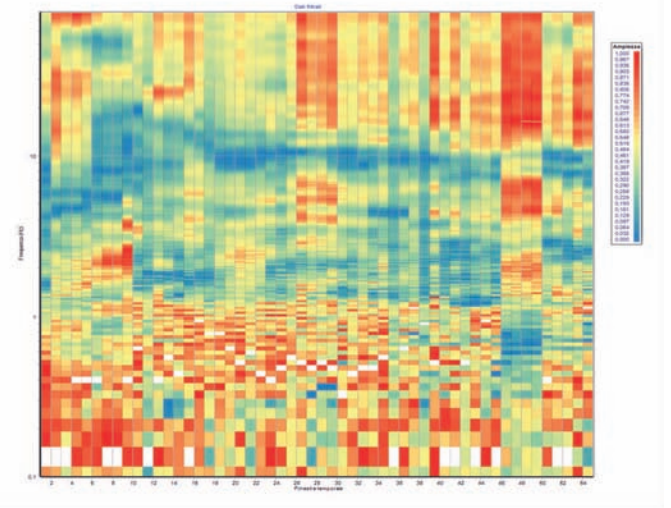
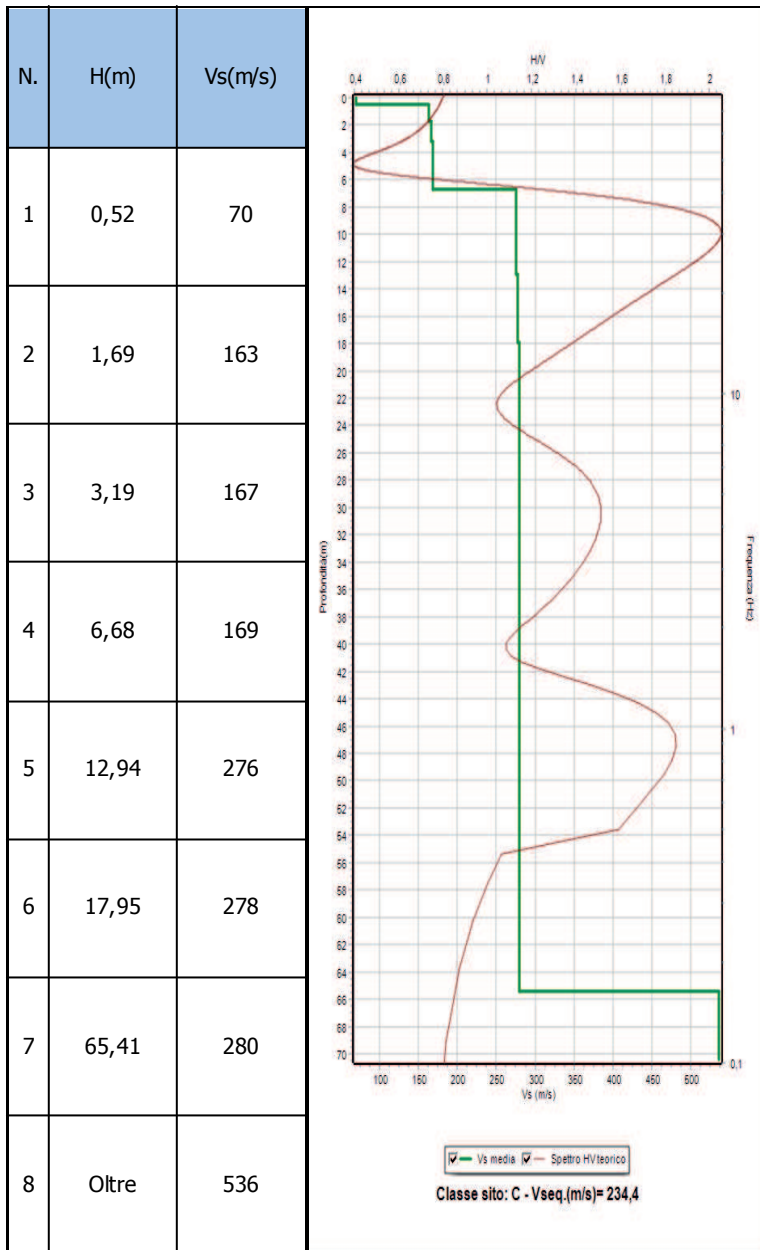


Tabella parametri picchi stratigrafici da spettro H/V delle onde di Rayleigh e Love HVSR 1

Criteri SESAME (2005) per una curva H/V attendibile S1: $f_p > 10/L_w$ - S2: $L_w \times N_w \times f_p > 200$ - S3: $s_a < 2$ per $0.5f_p < f < 2f_p$

LEGENDA: L_w =lunghezza della finestra (s) - N_w =n. finestre - f_p (Hz)=frequenza del picco stratigrafico - s_a =deviazione standard

N.	f_z (Hz)	H/V	Kg	H1(m)	H2(m)	H3(m)	S1	S2	S3
1	1,07	1,79	3,0	49,36	28,75	24,33	Sì	Sì	Sì
2	3,87	1,36	0,48	8,93	5,2	4,4	Sì	Sì	Sì
3	5,33	1,37	0,35	5,83	3,4	2,87	Sì	Sì	Sì
4	6,32	1,36	0,29	4,64	2,7	2,29	Sì	Sì	Sì
5	13,07	1,27	0,12	1,76	1,03	0,87	Sì	Sì	Sì
6	24,03	1,91	0,15	0,78	0,46	0,39	Sì	Sì	Sì
7	33,46	1,9	0,11	0,5	0,29	0,25	Sì	Sì	Sì

*Impianto agrivoltaico “San Giovanni in Persiceto 2”
Comune di San Giovanni in Persiceto (BO)
RELAZIONE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA, SISMICA
CON PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA DEL SOTTOSUOLO*

**Fondamenti teorici
Metodo
Robertson e Wride
per la verifica alla liquefacibilità dei suoli**

Metodo di Robertson e Wride (1997)

Il 'metodo di Robertson e Wride' è basato sui risultati di prove CPT (*Cone Penetration Test*) ed utilizza l'indice di comportamento per il tipo di suolo I_C che viene calcolato mediante l'utilizzo della seguente formula:

$$I_c = \left[(3,47 - \log_{10} Q)^2 + (\log_{10} R_f + 1,22)^2 \right]^{0,5} \quad (5.0a)$$

$$Q = \frac{q_c - \sigma_{vo}}{Pa} \left(\frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^n \quad (5.0b)$$

$$R_f = \frac{f_s}{q_c - \sigma_{vo}} 100 \quad (5.0c)$$

dove:

q_c è la resistenza alla punta misurata

Pa è la tensione di riferimento (1 atmosfera) nelle stesse unità di σ'_{vo}

f_s è l'attrito del manicotto

n è un'esponente che dipende dal tipo di suolo.

Inizialmente si assume $n = 1$, come per un suolo argilloso e si procede al calcolo di I_C con la (5.0a).

Se $I_C > 2,6$ il suolo è probabilmente di tipo argilloso e l'analisi si ferma. Il terreno non si considera a rischio di liquefazione.

Se $I_C \leq 2,6$, vuol dire che l'ipotesi assunta è errata, il suolo è di natura granulare, Q verrà ricalcolato utilizzando la (5.0a) usando come esponente $n = 0,5$.

Se è ancora $I_C \leq 2,6$, significa che l'ipotesi è giusta e il suolo è probabilmente non plastico e granulare.

Se invece $I_C > 2,6$, vuol dire che l'ipotesi è di nuovo errata e il suolo è probabilmente limoso. Q deve essere nuovamente ricalcolato dalla (2.8b) ponendo $n = 0,75$.

Calcolato I_C , si procede con la correzione della resistenza alla punta misurata q_c mediante la seguente espressione:

$$q_{c1N} = \frac{q_c}{Pa} \left(\frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^n \quad (5.1)$$

Dove l'esponente di sforzo n è lo stesso utilizzato nel calcolo di I_C .

La correzione alla resistenza alla punta dovuta al contenuto di materiale fine viene determinata dalla seguente procedura:

Robertson e Wride classico

$$(q_{c1N})_{cs} = K_c q_{c1N} \quad (5.2a)$$

$$K_c = -0,403 I_c^4 + 5,581 I_c^3 - 21,63 I_c^2 + 33,75 I_c - 17,88 \quad (5.2b)$$

Robertson e Wride modificato

$$(q_{c1N})_{cs} = q_{c1N} + \Delta q_{c1N} \quad (5.3a)$$

$$\Delta q_{c1N} = \frac{K_c}{1 - K_c} q_{c1N} \quad (5.3b)$$

dove K_c dipende dal contenuto di fine, FC (%):

$$\begin{aligned} K_c &= 0 && \text{per } FC \leq 5 \\ K_c &= 0,0267(FC - 5) && \text{per } 5 < FC \leq 35 \\ K_c &= 0,8 && \text{per } FC > 35 \end{aligned}$$

FC (%) viene calcolato mediante l'espressione seguente:

$$FC (\%) = 1,75 (I_C)^{3,25} - 3,7 \quad (5.4)$$

La resistenza alla liquefazione per una magnitudo pari a 7,5 (**CRR_{7,5}**) si calcola con le espressioni seguenti:
se $(q_{c1N})_{cs} < 50$

$$CRR = 0,833 \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right] + 0,05 \quad (5.5)$$

se $50 \leq (q_{c1N})_{cs} < 160$

$$CRR = 93 \left[\frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right]^3 + 0,08 \quad (5.6)$$

Il Rapporto di Tensione Ciclica per eventi sismici di magnitudo 7,5 (**CSR_{7,5}**) si determina dalla seguente espressione:

$$\frac{\tau_{av}}{\sigma_{vo}} = CSR_{7,5} = 0,65 \frac{a_g}{g} \frac{\sigma_{vo}}{\sigma_{vo}} r_d \quad (5.7)$$

Per magnitudo diverse occorre introdurre il fattore correttivo **MSF** (*Magnitude Scaling Factor*) come raccomandato dal **NCEER** (vedi Tabella 1)

$$CSR = \frac{CSR_{7,5}}{MSF} \quad (5.8)$$

Tabella 1- Fattore di scala della magnitudo derivato da diversi ricercatori

Magnitudo	Seed H.B. & Idriss I.M. (1982)	Ambraseys N.N (1988).	NCEER (Seed R. B. et alii) (1997; 2003)
5,5	1,43	2,86	2,21
6,0	1,32	2,20	1,77
6,5	1,19	1,69	1,44
7,0	1,08	1,30	1,19
7,5	1,00	1,00	1,00
8,0	0,94	0,67	0,84

8,5

0,89

0,44

0,73

Per determinare il valore del coefficiente riduttivo **r_d** vengono utilizzate le formule raccomandate da un gruppo di esperti del **NCEER** (*National Center for Earthquake Engineering Research*):

per $z < 9,15$ m

$$r_d = 1,0 - 0,00765 z \quad (5.9)$$

per $9,15 \leq z < 23$ m

$$r_d = 1,174 - 0,00267 z \quad (5.10)$$

Il fattore di sicurezza alla liquefazione **FS** viene determinato dalla relazione:

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \quad (5.11)$$

mentre l'**indice e il rischio di liquefazione** vengono calcolati con il metodo di **Iwasaki et alii** (1978; 1984).