

TITLE. Relazione geologica

AVAILABLE LANGUAGE: IT

RELAZIONE GEOLOGICA

Impianto agrivoltaico avanzato denominato “Voghiera PV 001” di
potenza pari a 24,54 MW_p e relative opere di connessione alla RTN
nel Comune di Voghiera (FE) e Ferrara (FE)
“VOGHIERA PV 001”

Comune di Voghiera (FE) e Ferrara (FE)

File: VOG-PV001-R08_02_Relazione geologica

02	26/09/2025	Rev.02	D.Pipicelli	F.Trovati	L.Spaccino
					D.Pipicelli
REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	VERIFIED	APPROVED
CLIENT CODE					
VOG-PV001-R08					
PROJECT		TYPE	PROGR.		REV
VOG-PV001		R	08		02
CLASSIFICATION		UTILIZATION SCOPE			
Company		Emissione per procedura di PAUR ai sensi dell'art. 27bis D.Lgs. 152/2006			
Questo documento è di proprietà di iCube Development 16. È severamente vietato riprodurre questo documento, in tutto o in parte, e fornire ad altri qualsiasi informazione correlata senza il previo consenso scritto di iCube Development 16.					



iCube Development I6 s.r.l.



CODE: **VOG-PV001-R08_02**

PROJECT: **VOGHIERA PV001**

PAGE
2 di/of 54

INDICE

1.0	INTRODUZIONE.....	3
2.0	INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO	4
3.0	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E TETTONICO	10
4.0	ASSETTO GEOMORFOLOGICO	23
4.1	Stabilità dell'area e vincoli normativi.....	24
5.0	ASSETTO IDROGEOLOGICO	28
6.0	RILEVAMENTO GEOLOGICO TECNICO E DESCRIZIONE DELLE INDAGINI	33
7.0	DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI GEOTECNICI	39
8.0	MODELLAZIONE SISMICA	40
8.1	MODELLAZIONE SISMICA DI SITO	50
8.2	AZIONI SISMICHE DI PROGETTO	51
9.0	CONCLUSIONI.....	54



1.0 INTRODUZIONE

Il presente documento è parte integrante del progetto definitivo, proposto da iCube Development 16, che prevede la realizzazione di un impianto agrivoltaico avanzato denominato "Voghiera PV-001". Complessivamente, la potenza in immissione dell'impianto sarà pari a 23,10 MW e sarà caratterizzato da una potenza nominale di 24,54 MWp.

Le opere in progetto saranno site nei Comuni di Voghiera e Ferrara in Provincia di Ferrara in Emilia-Romagna.

La presente relazione è, dunque, il risultato di un'accurata indagine geologica, geomorfologica e idrogeologica finalizzata allo studio di compatibilità geologica delle aree interessate dalla realizzazione del nuovo impianto agrivoltaico. Oltre ai rilievi di superficie lo studio viene supportato dall'esecuzione di approfondimenti geotecnici e sismici di sito attraverso indagini e prove effettuate nelle aree di realizzazione delle opere.

Con il presente lavoro sono state valutate le condizioni di stabilità del sito e definite le caratteristiche stratigrafiche, geologiche e morfologiche dello stesso, per verificare se esso sia adatto ad ospitare gli interventi in progetto.

Quanto eseguito nella seguente relazione ha previsto, quindi, la raccolta di informazioni geologiche, geomorfologiche e progettuali preliminari, nonché l'esecuzione di un piano di indagini in sito finalizzato ad individuare eventuali problematiche geologico-tecniche del progetto in esame in relazione ai vincoli gravanti sull'area di intervento nonché alla definizione del modello sismostratigrafico della medesima.



iCube Development I6 s.r.l.



CODE: **VOG-PV001-R08_02**

PROJECT: **VOGHIERA PV001**

PAGE
4 di/of 54

2.0 INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO

Le aree di intervento ricadono nei comuni di Voghiera e Ferrara (FE).

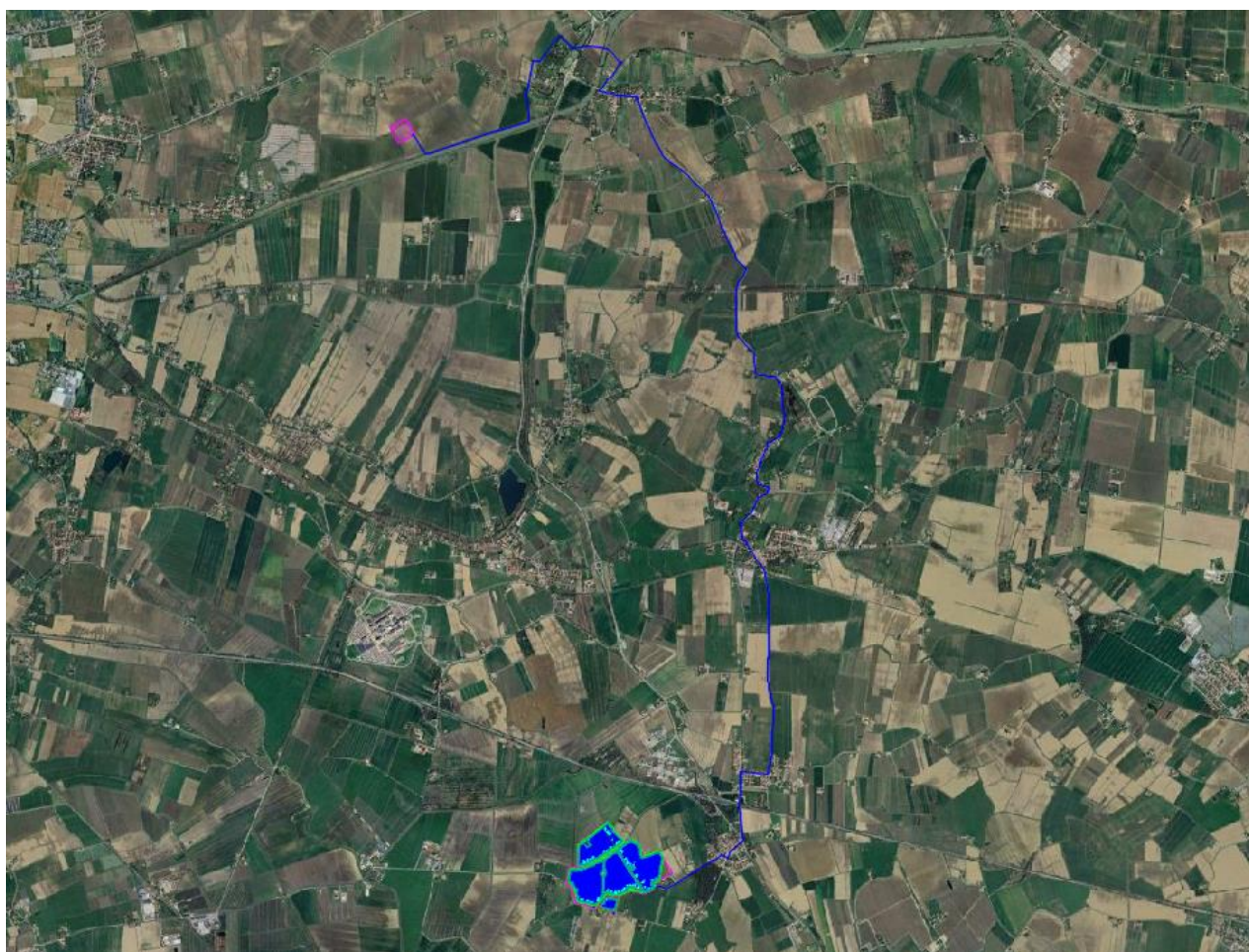


Figura 1 – stralcio ortofoto con layout di Progetto



Il progetto prevede la realizzazione di un impianto “agrivoltaico avanzato”, di potenza di picco pari a 24,54 MW_p, come riportato nella figura seguente:

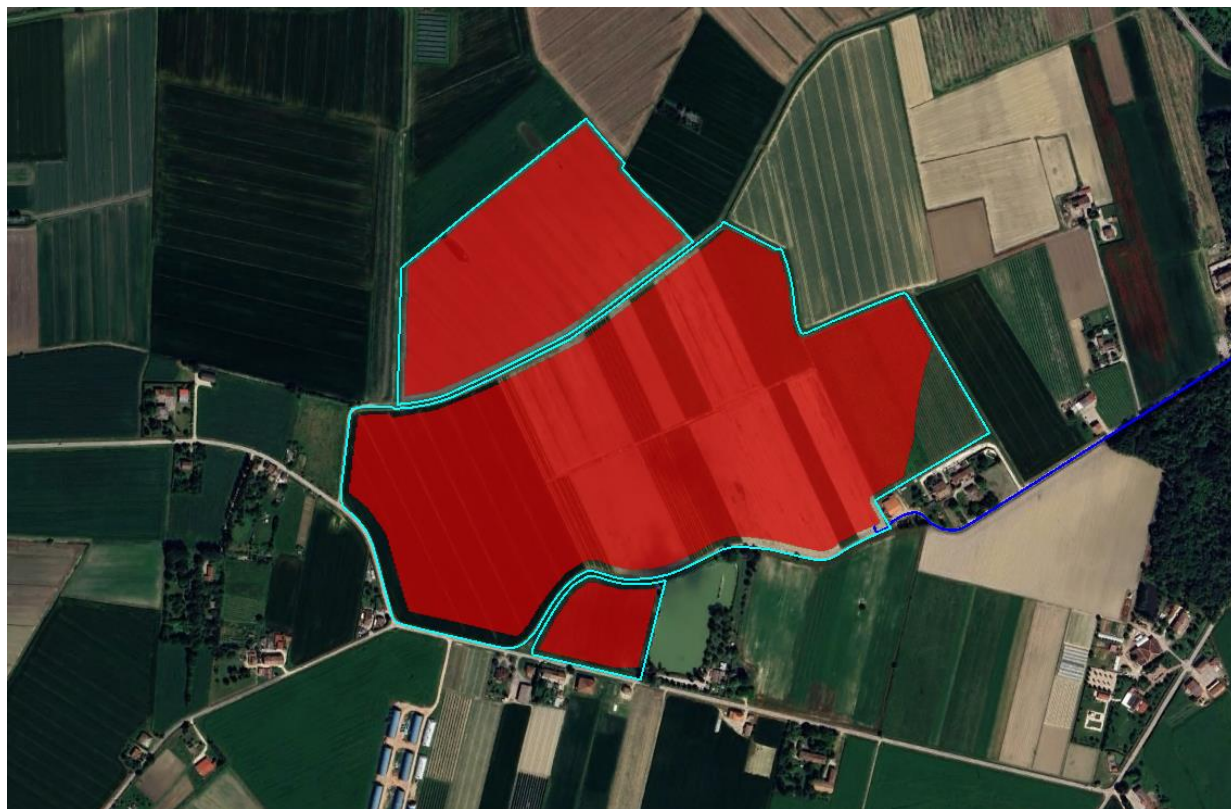


Figura 2 - Inquadramento su base ortofoto dell'area di impianto (in rosso) e dell'area di progetto (in ciano). In blu il cavidotto di connessione



-  Area lorda di impianto
-  Recinzione
-  Accesso
-  Fascia di mitigazione (5 m)
-  Strutture 1x24
-  Strutture 1x12
-  T.U. 3300 kVA
-  T.U. 3000 kVA
-  T.U. 2400 kVA
-  Cabina SCADA
-  Cabina di Consegna
-  Area O&M
-  Viabilità interna
-  Viabilità interna di servizio
-  Area di sezionamento
-  Container ISO 20' per deposito materiale

Figura 3 - Inquadramento su base ortofoto del layout di impianto



Di seguito si riporta un inquadramento delle opere in progetto su cartografia IGM.



Figura 4: Inquadramento su cartografia IGM dell'area di impianto (in rosso) e delle opere di connessione (in blu)



iCube Development I6 s.r.l.



CODE: VOG-PV001-R08_02

PROJECT: VOGHIERA PV001

PAGE
8 di/of 54

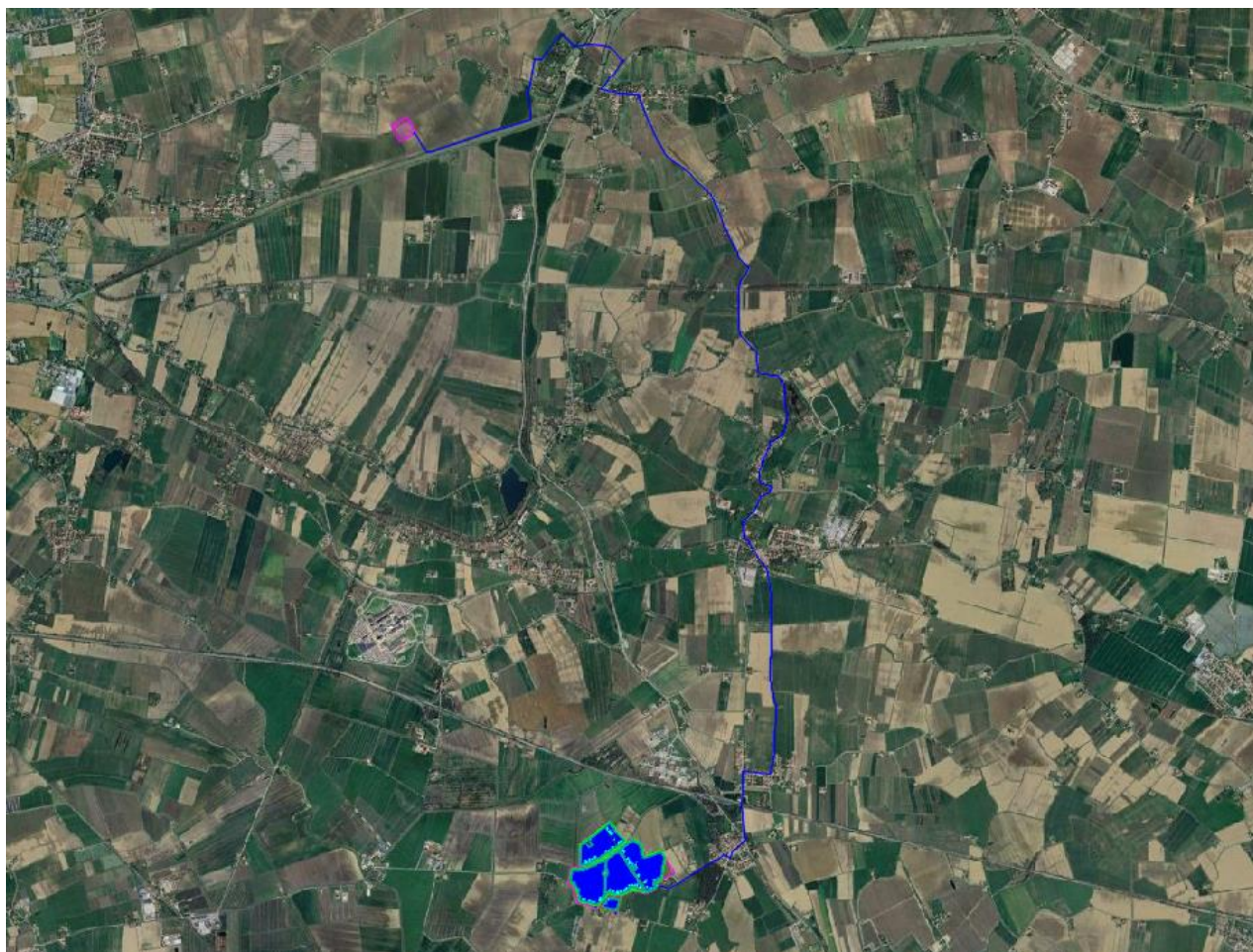


Figura 5 - Inquadramento su base ortofoto delle opere in progetto. Si noti il layout di impianto; in blu il cavidotto 36 kV; in magenta il futuro ampliamento della SE Terna.

Di seguito si riporta un inquadramento delle opere su mappa catastale secondo servizio WMS messo a disposizione dall'Agenzia delle Entrate.

(Fonte: <https://wms.cartografia.agenziaentrate.gov.it/inspire/wms/ows01.php>)

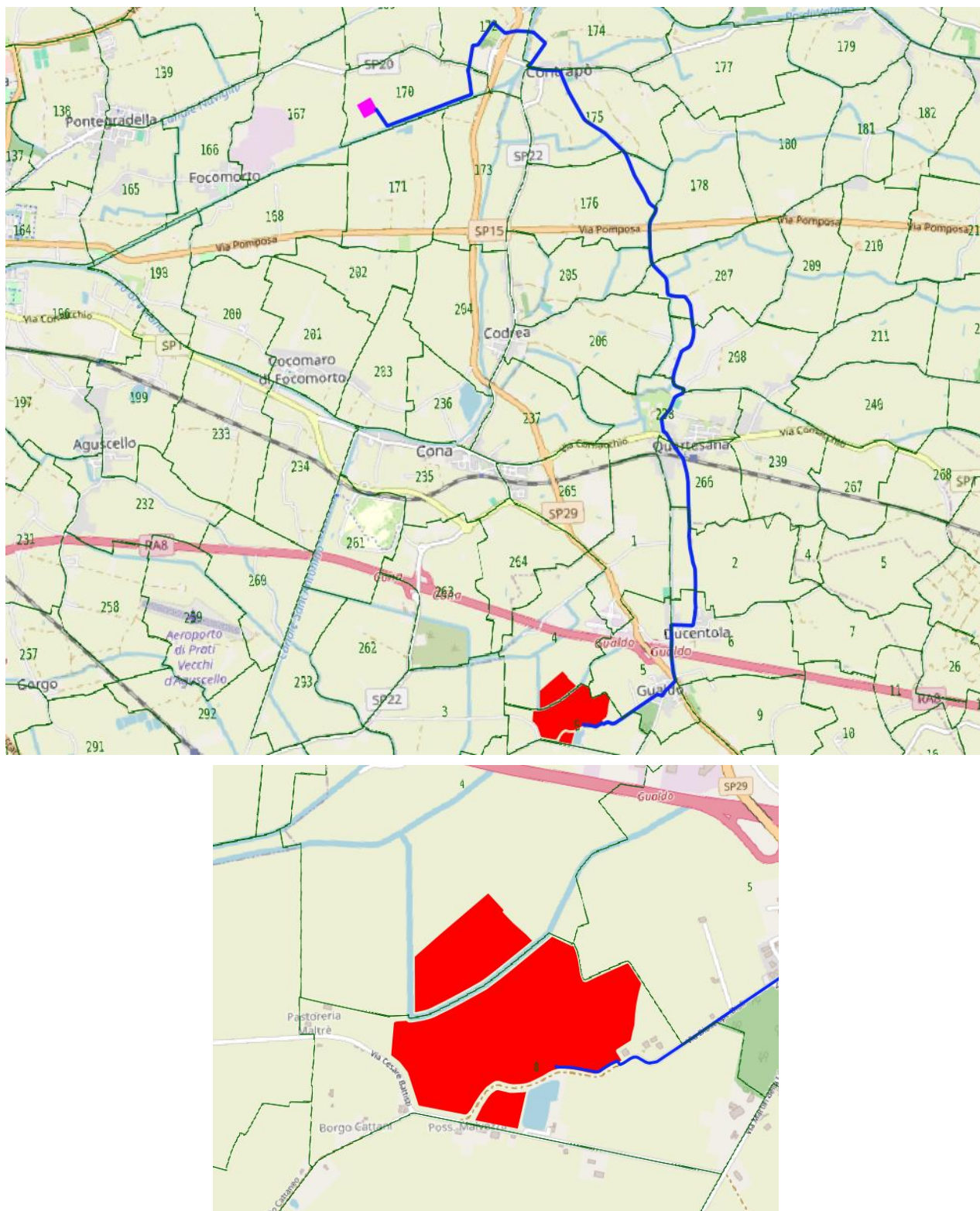


Figura 6 – Inquadramento dell'area di impianto (in rosso), del cavidotto di connessione (in blu) e del futuro ampliamento della SE Terna (in magenta), su confine fogli catastali (in verde). (Fonte: Wms Agenzia delle Entrate).



3.0 INQUADRAMENTO GEOLOGICO e TETTONICO

I caratteri geologici e litologici generali dell'area oggetto delle opere saranno di seguito riportati, allo scopo di mettere in evidenza gli aspetti di maggiore importanza quali la natura, la giacitura e la struttura dei litotipi presenti.

Il territorio dell'Emilia-Romagna è costituito dal versante padano dell'Appennino settentrionale e dalla Pianura Padana a sud del Po; il limite regionale, infatti, coincide per lunghi tratti con lo spartiacque appenninico verso sud e con il corso del Po verso nord.

Pur essendo due ambienti geomorfologici e sedimentari diversi, l'Appennino e la Pianura Padana sono strettamente correlati fra loro. Il fronte della catena appenninica non coincide con il limite morfologico catena-pianura (margine appenninico-padano) ma è individuabile negli archi esterni delle Pieghe Emiliane e Ferraresi (Pieri & Groppi, 1981) sepolte dai sedimenti quaternari padani. Quindi, il vero fronte appenninico, circa all'altezza del Po, sovrascorre verso nord sulla piattaforma padanoveneta.

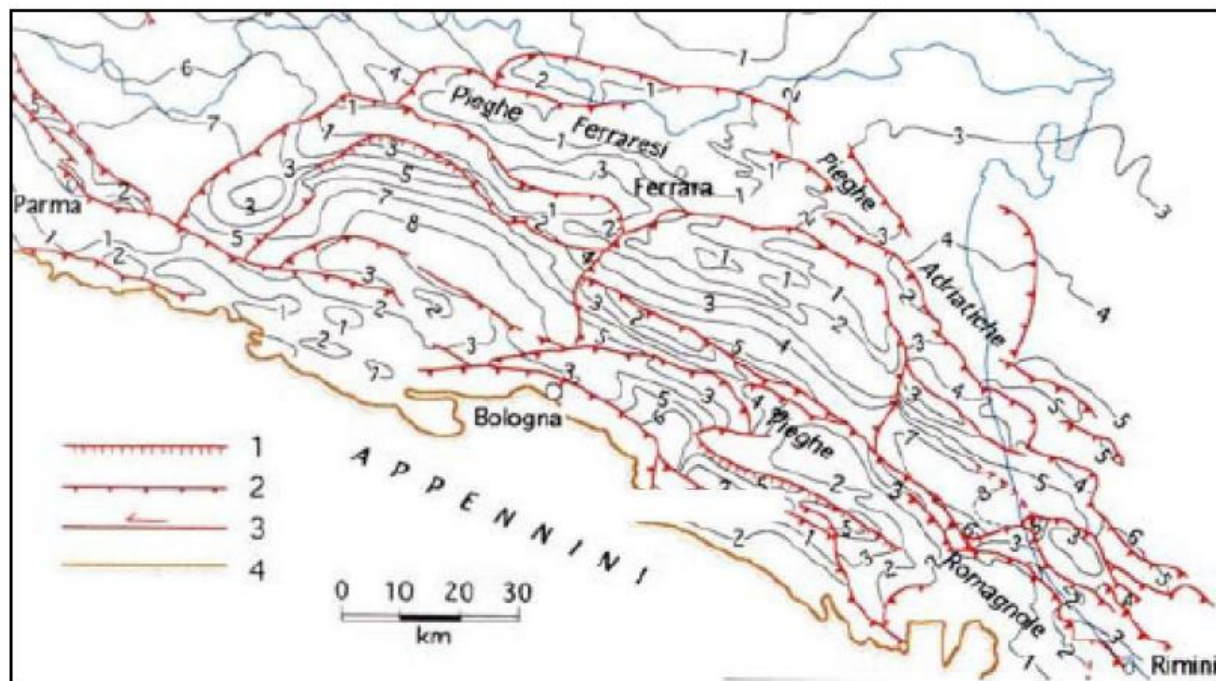
La sismicità rappresenta uno strumento indispensabile per le analisi sismotettoniche e un utile supporto alla geologia strutturale, in quanto varie tipologie di dati sismici, ottenuti attraverso differenti metodologie, garantiscono l'identificazione e la caratterizzazione delle strutture geologicamente attive. L'analisi della sismotettonica dell'Emilia-Romagna è costituita da strutture caratterizzate da attività da molto recenti ad attuali. In particolare, risultano attivi i sovrascorrimenti sepolti che danno luogo agli archi di Piacenza-Parma, Reggio Emilia e di Ferrara.

Centinaia di milioni di anni fa, in corrispondenza dell'attuale Pianura Padana, si estendeva un vasto bacino oceanico denominato Tetide, in cui trovavano sviluppo profonde fosse, la cui origine era riconducibile ai meccanismi tettonici della subduzione tra la placca africana e quella euroasiatica. Nel complesso meccanismo della deriva delle placche litosferiche accadde che la placca africana e quella europea si avvicinarono fino a collidere. In questa collisione il bacino della Tetide, con tutti i sedimenti che aveva accumulato sui suoi fondali, fu corrugato, inarcato e trascinato nella morsa delle due placche in collisione. Ebbero così origine le catene montuose delle regioni europee. Le Alpi e gli Appennini furono, in tempi diversi, gli effetti più evidenti dello scontro tra le due placche africana ed europea. L'innalzamento di questi enormi ammassi di roccia ha provocato la loro erosione, e la produzione di grandi quantità di sedimenti sciolti che si sono accumulati nella fossa che costituiva il triangolo della Pianura Padana. Il progressivo sprofondamento dell'area padana, dovuto all'orogenesi appenninica, che spinge le grandi falde appenniniche verso nord-est, e crea una avanfossa sul fronte di avanzamento, ha consentito la deposizione di spessori di sedimenti derivati dall'erosione, per diverse migliaia di metri. Su questi sedimenti che caratterizzano la Pianura Padana, l'uomo ha trovato un vasto e pianeggiante territorio, fertile, attraversato da numerosi corsi d'acqua, su cui insediarsi con le proprie attività. L'evoluzione strutturale dell'ampio bacino subsidente padano è connessa con la dinamica degli eventi che, in sequenze spazio-temporali diverse, hanno interessato sia il Sudalpino che l'Appennino, ed hanno prodotto una tettonica compressiva con accorciamento crostale per convergenza e collisione. Si è avuta così la formazione di gruppi di pieghe e di un fitto sistema di faglie con direzione NNW-SSE; WNW-ESE e N-S, e la suddivisione dell'area padana in settori dislocati da paleofaglie che hanno determinato situazioni di bacino e di alto locale, caratterizzati da una diversa evoluzione. L'area padana orientale ad est di Modena-Nogara è caratterizzata dalle seguenti zone geologicamente distinte, in



successione da nord a sud: - il fronte delle pieghe sudalpine; - la isoclinale padano-veneta, a stile rigido; - la dorsale Cavone-Ferrara, che rappresenta il margine esterno della Padana meridionale, ripiegato e sovrascorso su sé stesso; - il fronte delle pieghe appenniniche, dove i termini mesozoici non paiono coinvolti nel nucleo delle pieghe prospicienti la Padana. In Emilia Romagna si distinguono nell'Appennino sepolto, le Pieghe Ferraresi, le Pieghe Adriatiche e le Pieghe Romagnole (FIGURA 6). La zona in esame rappresenta la parte più orientale dell'arco delle pieghe appenniniche, le quali a settentrione, si accavallano in stretta successione alla monoclinale padano-veneta nella zona del Gallare e Varano (FIGURA 7). All'arco ferrarese si affianca, nella parte a mare, l'arco delle pieghe adriatiche che si accavallano invece sulla monoclinale adriatica. Nella parte interna, e cioè meridionale, delle pieghe ferraresi e adriatiche si addossa a sua volta l'arco delle pieghe romagnole. Tutte e tre le strutture sopraindicate sono delimitate esternamente da fasce di faglie inverse, testimoni di diversi fronti compressivi in avanzamento; internamente, cioè nelle fasce retrostanti ai fronti compressivi, si rilevano sistemi di faglie dirette ad indicare un carattere distensivo.

Le fasi tettoniche si sono succedute dal Burdigaliano al Pleistocene ed hanno portato a successive riprese dei piegamenti ed alla formazione di lineamenti paleogeografici variabili in successione spazio-temporale e quindi all'instaurarsi in sequenza alterna di ambienti deposizionali marini, costieri, deltizi e lagunari in relazione a locali processi di sollevamento e di subsidenza. Durante il Pliocene medio inizia un periodo di forte subsidenza che continua sino a tutto il Quaternario basale. Nel Quaternario recente la sedimentazione prevale sulla subsidenza, ed in connessione con le regressioni marine provocate dalle glaciazioni, depositi continentali si sovrappongono ai sedimenti marini. Segue poi una nuova fase trasgressiva con arretramento della linea di costa di oltre venti chilometri rispetto alla posizione attuale. Infine, durante l'ultima regressione marina postflandriana, sviluppatasi in più fasi, si ebbe un progressivo spostamento verso oriente della linea di costa sino a raggiungere l'odierno assetto geomorfologico. A causa della pluralità degli ambienti deposizionali in successione spazio-temporale, il complesso plio-quaternario nel territorio del Basso Ferrarese è costituito da una alternanza di livelli sabbiosi, limosi ed argillosi o da miscele binarie o ternarie di tali litotipi. L'assetto strutturale dei sedimenti plio-quaternari è caratterizzato da blande anticlinali e sinclinali, più accentuate nella parte basale della serie, ove sono presenti anche strutture a trappola sedimentaria o tettonica, e sempre più deboli man mano che ci si avvicina alla superficie attuale. L'andamento anticlinalico e sinclinalico fa variare lo spessore dei sedimenti plio-quaternari; per esempio, nella zona SW del foglio Comacchio esso va dai 2800 metri ai circa 800 metri sotto il piano campagna. Tra il Mezzano e Casal Borsetti il tetto del prepliocene è a 2800 metri, tra Longastrino ed il Mezzano meridionale c'è un alto strutturale ed il tetto è a 800 metri circa, tra Comacchio e Porto Garibaldi una forte subsidenza di origine tettonica ha permesso la deposizione di uno spessore variabile fra i 3200 ed i 4800 metri circa di sedimenti (D. Vincenzi, E. Valpreda, G. Lenzi et al., 1989). Da diversi anni si calcola che il valore di subsidenza naturale attribuibile a cause geologiche (compattazione dei sedimenti quaternari, eustatismo ed il basculamento della parte nord-orientale della pianura Padana) raggiunga valori di 0,2-0,3 cm/anno. Il movimento di basculamento della Pianura Padana vede la parte occidentale alzarsi lentamente, mentre quella orientale si sta abbassando; questo movimento avviene secondo l'asse Brescia-Genova, orientato NE-SW. Di seguito si riporta lo "Schema Tettonico" della nostra regione tratto dalle Note Illustrative della "Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna" a cura di Mario Boccaletti e Luca Martelli (2004).



LEGENDA

- 1) faglie dirette
- 2) sovrascorrimenti e faglie inverse
- 3) grandi faglie verticali
- 4) limite fra la Pianura Padana e i rilievi alpini e appenninici

Figura 7 - Mappa delle strutture profonde con caratterizzazione dei vari tipi di fatturazioni presenti (Pieri & Groppi, 1981, CNR, 1992)

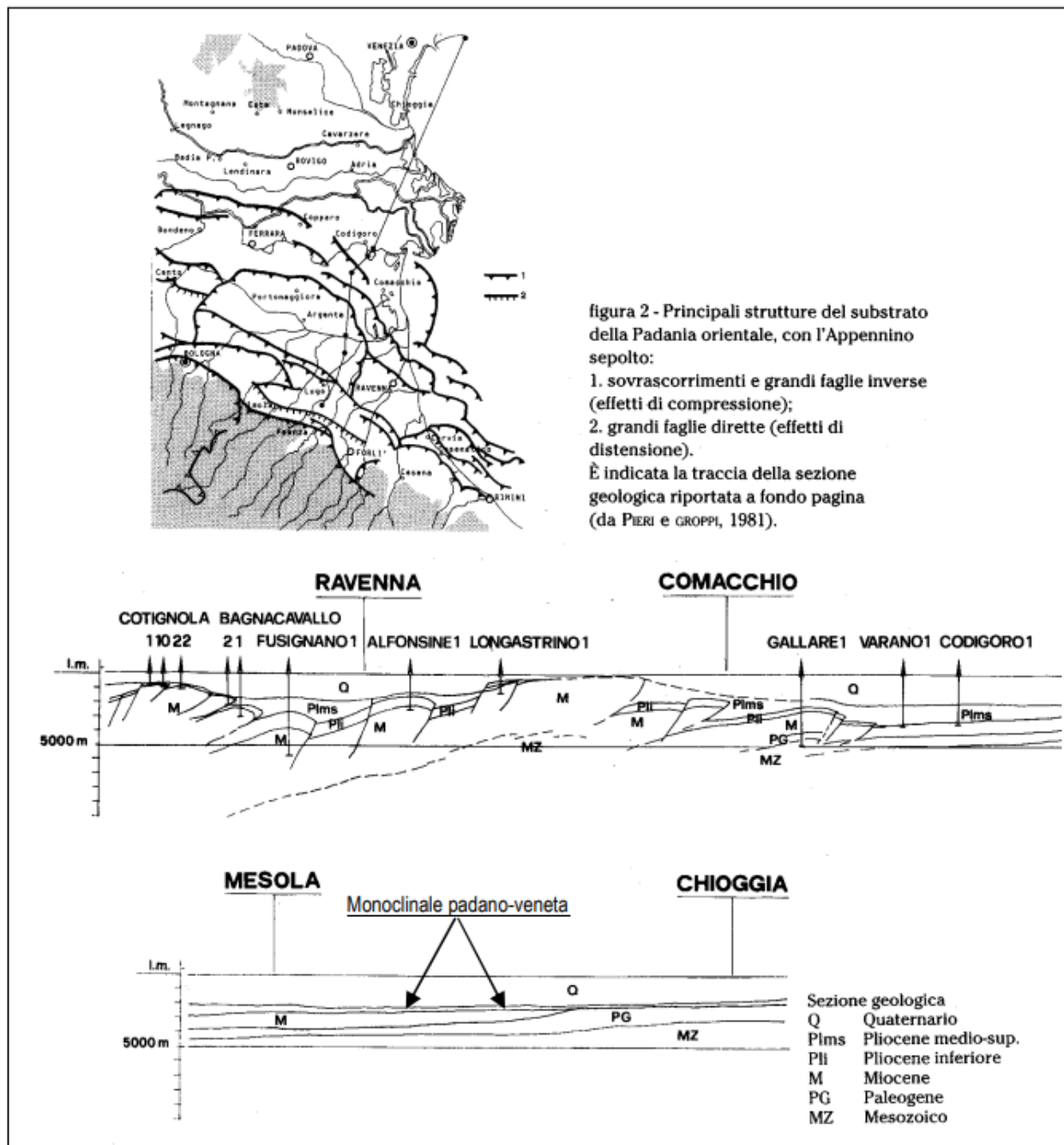


Figura 8 - Inquadramento geologico strutturale dell'area deltizia

Nella FIGURA 9 viene riportata una versione più dettagliata della Carta Strutturale della Pianura Padana, con le Pieghe Ferraresi dell'Appennino sepolto (Pieri & Groppi, 1981, CNR, 1992) con visibili le varie strutture sepolte e le faglie e sistemi trascorrenti attivi e non attivi. Le isoipse sono quelle della profondità della base del Pliocene (espressa in km).

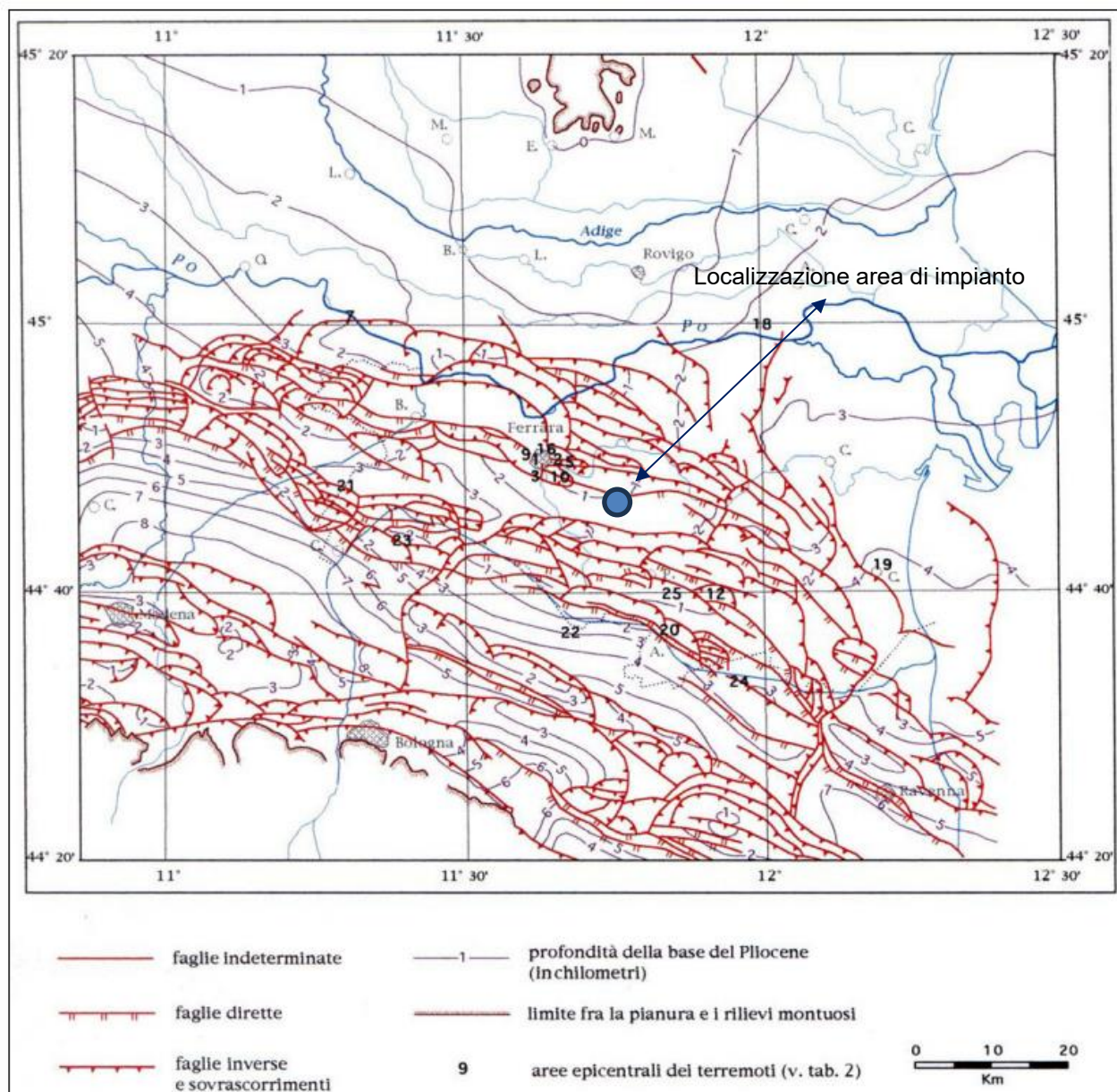


Figura 9 - Carta strutturale della Pianura Padana orientale (Pieri e Groppi, 1981, CNR,1992)

Nella FIGURA 10 viene riportato lo schema tettonico tratto dalla carta sismotettonica dell'Emilia-Romagna; in FIGURA 11 è riportato uno stralcio centrato sull'area allo studio della mappa sismotettonica dell'Emilia Romagna (anno 2004) e una sezione passante ad Est del comune di Voghiera (FIGURA 12).

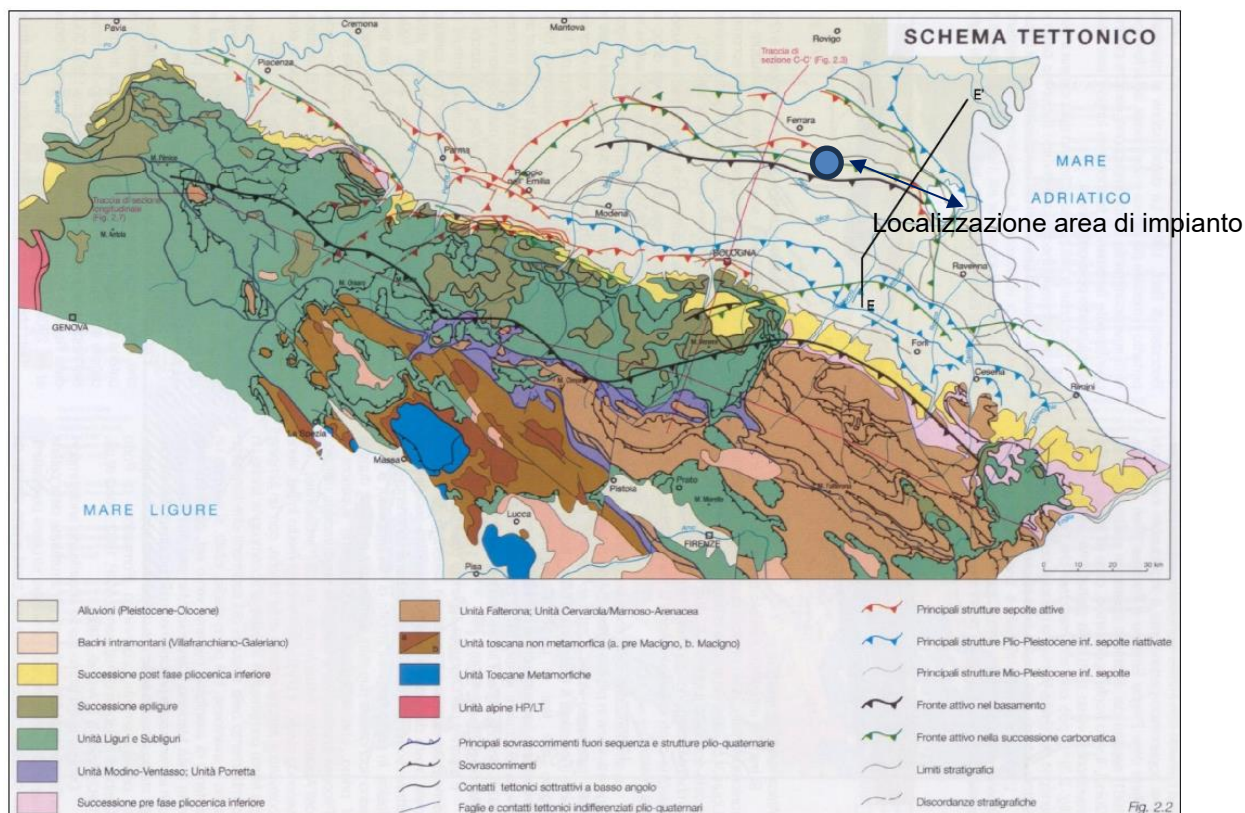


Figura 10 – “Schema Tettonico”, tratto da “Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna” a cura di Luca Martelli e Mario Boccaletti (2004)

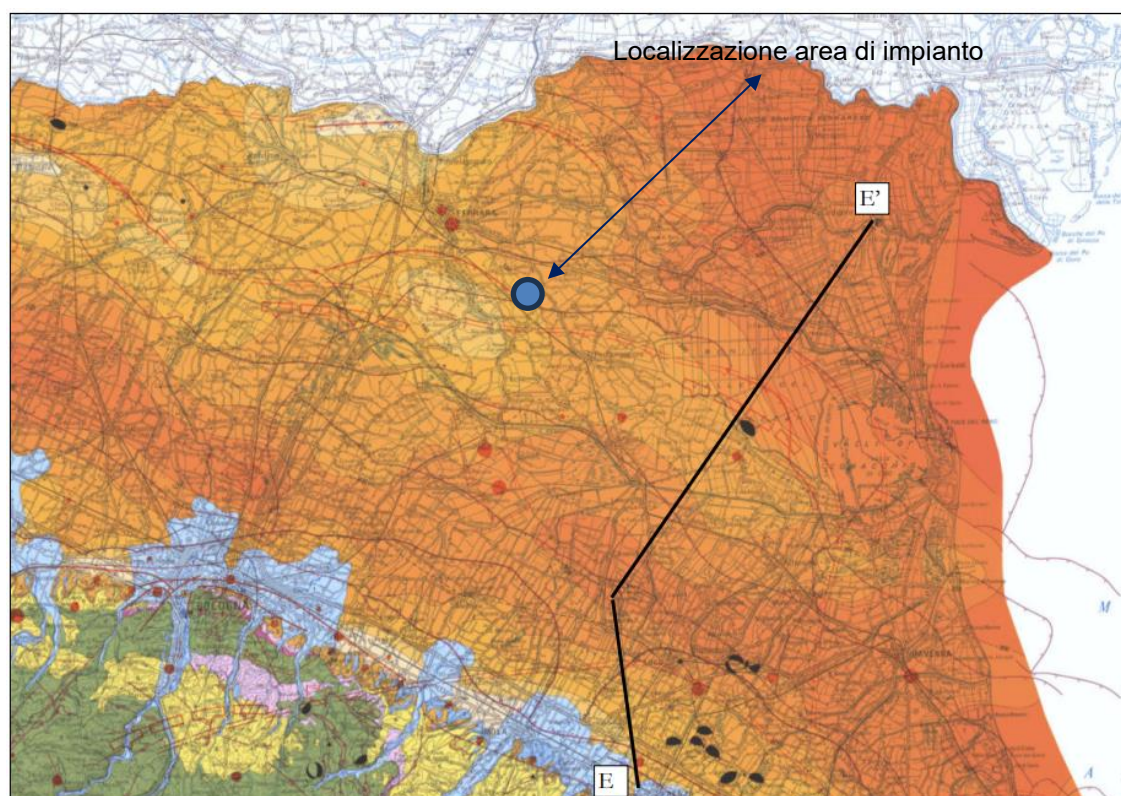


Figura 11 - Carta Sismotettonica Regione Emilia Romagna e ubicazione della sezione geologica E-E' riportata di seguito (Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna - 2004).

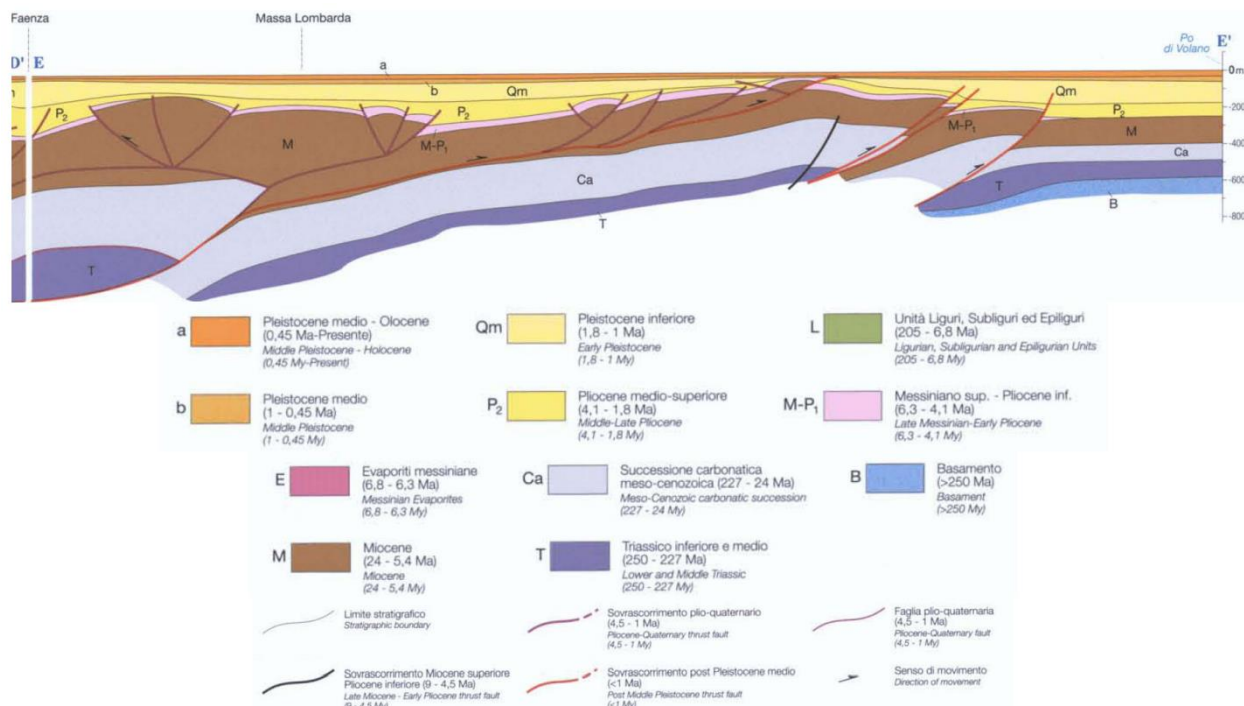


Figura 12 - Sezione geologica strutturale lungo la sezione E-E' (Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna - 2004).

In FIGURA 13 viene riportato uno stralcio della nuova carta sismotettonica dell'Emilia-Romagna (anno 2017) con ubicata una sezione di interesse. Nella FIGURA 14 è riportata invece stralcio della Sezione D-D' che passa di poco ad Est dall'area di intervento.

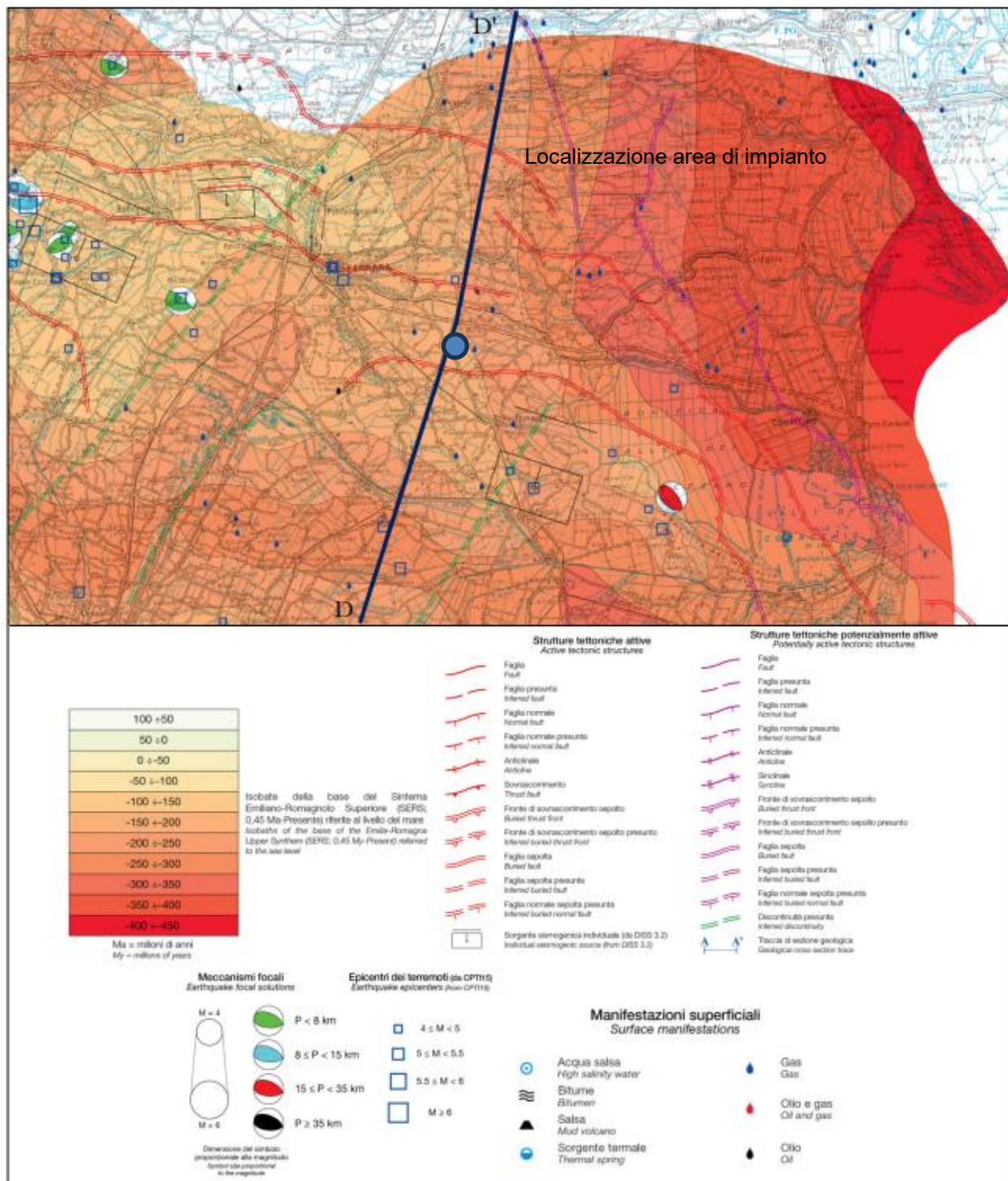


Figura 13 - Stralcio centrato sul comune di Voghiera della nuova carta sismotettonica dell'Emilia Romagna (anno 2017). (Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna - 2016).

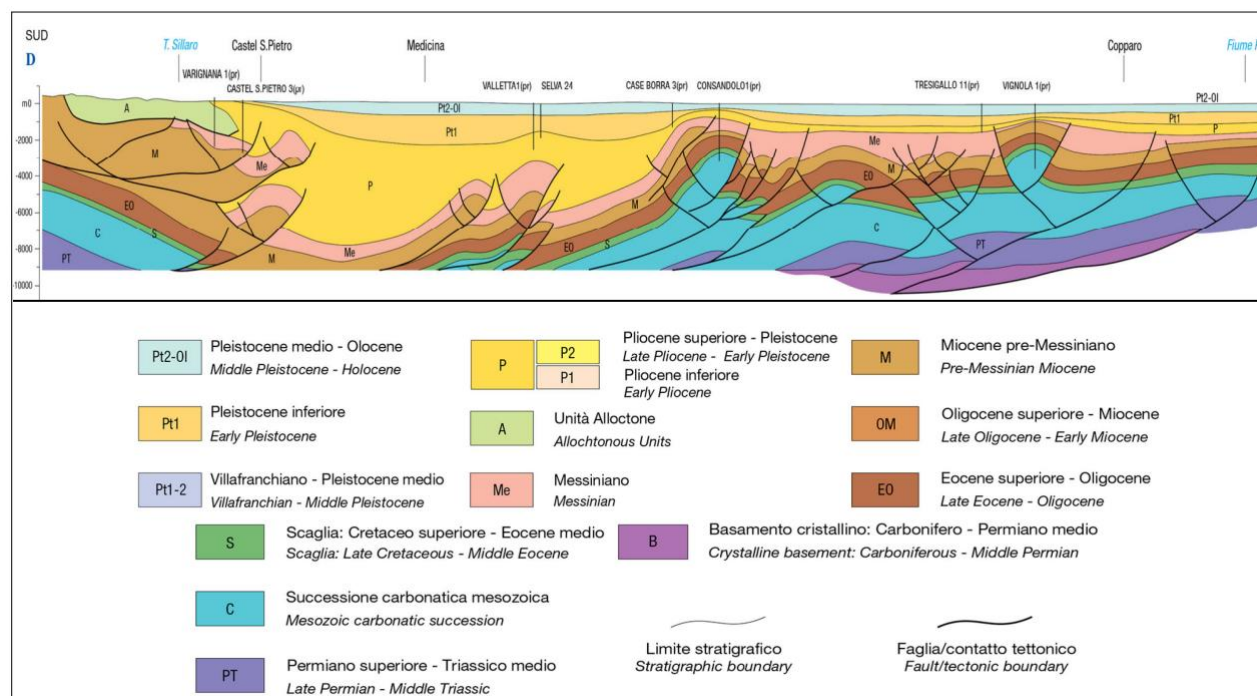


Figura 14 - stralcio della Sezione D-D' che passa poco ad est del comune di Voghiera (Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna - 2016).

Come si può notare la base del Sintema Emiliano Romagnolo Superiore (450.000 anni dal presente) si colloca a profondità comprese tra -350m ad ovest fino a -450m di profondità ad est del territorio comunale. Alcune informazioni in più verranno rese nel capitolo 5, ove si proporrà il modello del sottosuolo locale. Il territorio dell'Emilia-Romagna è costituito dal versante padano dell'Appennino settentrionale e dalla Pianura Padana a sud del Po; il limite regionale, infatti, coincide per lunghi tratti con lo spartiacque appenninico verso sud e con il corso del Po verso nord. Pur essendo due ambienti geomorfologici ben distinguibili, l'Appennino e la Pianura Padana sono strettamente correlati. Il fronte della catena appenninica non coincide con il limite morfologico catena-pianura (margine appenninico -padano) ma è individuabile negli archi esterni delle Pieghe Emiliane e Ferraresi (Pieri & Groppi, 1981) sepolte dai sedimenti quaternari padani. Quindi, il vero fronte appenninico, circa all'altezza del Po, sovrascorre verso nord sulla piattaforma padano-veneta. Si può così schematizzare che l'evoluzione del territorio dell'Emilia-Romagna coincide con l'evoluzione del settore esterno della catena nord-appenninica. L'Appennino settentrionale è una catena a thrusts facente parte del sistema alpino, formatosi in gran parte a spese della placca Adriatica per l'interazione fra le placche Africana ed Euroasiatica. Si tratta di un edificio formato da una pila di unità tettoniche riferibili a due principali domini: il dominio Ligure, i cui sedimenti si sono depositi originariamente su crosta oceanica (Liguridi s.l.) e il dominio ToscoUmbro-Marchigiano, rappresentato da successioni del margine continentale dell'Adria la cui età inizia a partire dal Triassico. L'avanzamento dei thrusts vergenti verso nord-est causa un abbassamento della crosta terrestre che da origine alla avana fossa appenninica su cui sono accumulati i sedimenti quaternari. Le faglie conseguenti ai movimenti dei sovrascorrimenti appenninici danno origine alle manifestazioni sismiche che interessano la regione emiliano-romagnola.

Gran parte della Sicilia centrale ed occidentale rientrano nelle Unità della Catena Appenninica, e nello specifico l'area del trapanese è interessata dalle Unità del Sistema a Thrust Esterno da quelle appartenenti



al Sistema a Thrust Siculo-Pelagico (PSTB). Quest'ultimo si è strutturato nel periodo Miocene superiore-Pleistocene, contemporaneamente all'apertura tirrenica.

Dal punto di vista della cartografia ufficiale, l'area rientra nella "Carta Geologica D'Italia alla scala 1:50.000 - Foglio 204 – Portomaggiore", a cura dell'ISPRA – Servizio Geologico d'Italia.

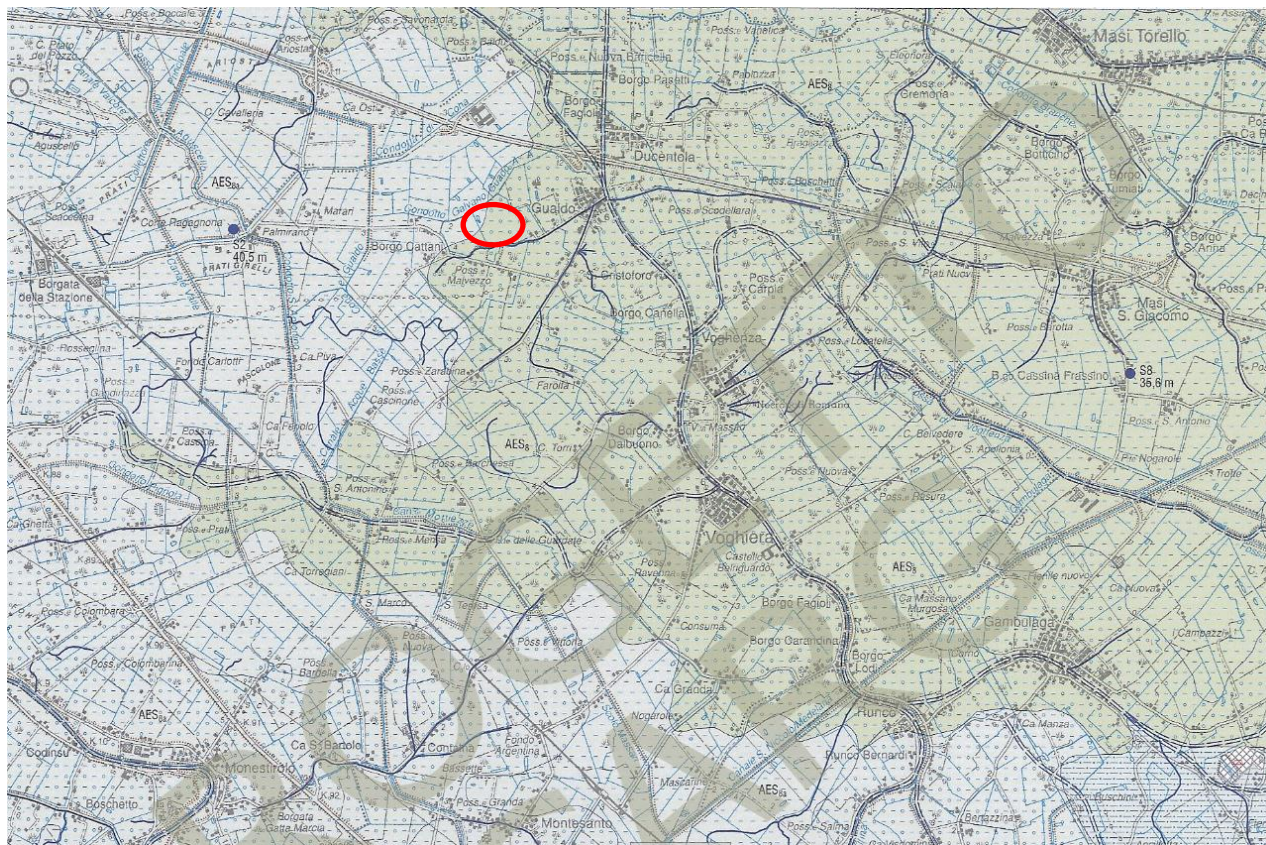


Figura 15 – stralcio Foglio Geologico 204 in scala 1:50000 – Portomaggiore. In rosso la posizione dell'area di impianto.



iCube Development I6 s.r.l.



CODE: **VOG-PV001-R08_02**

PROJECT: **VOGHIERA PV001**

PAGE
20 di/of 54

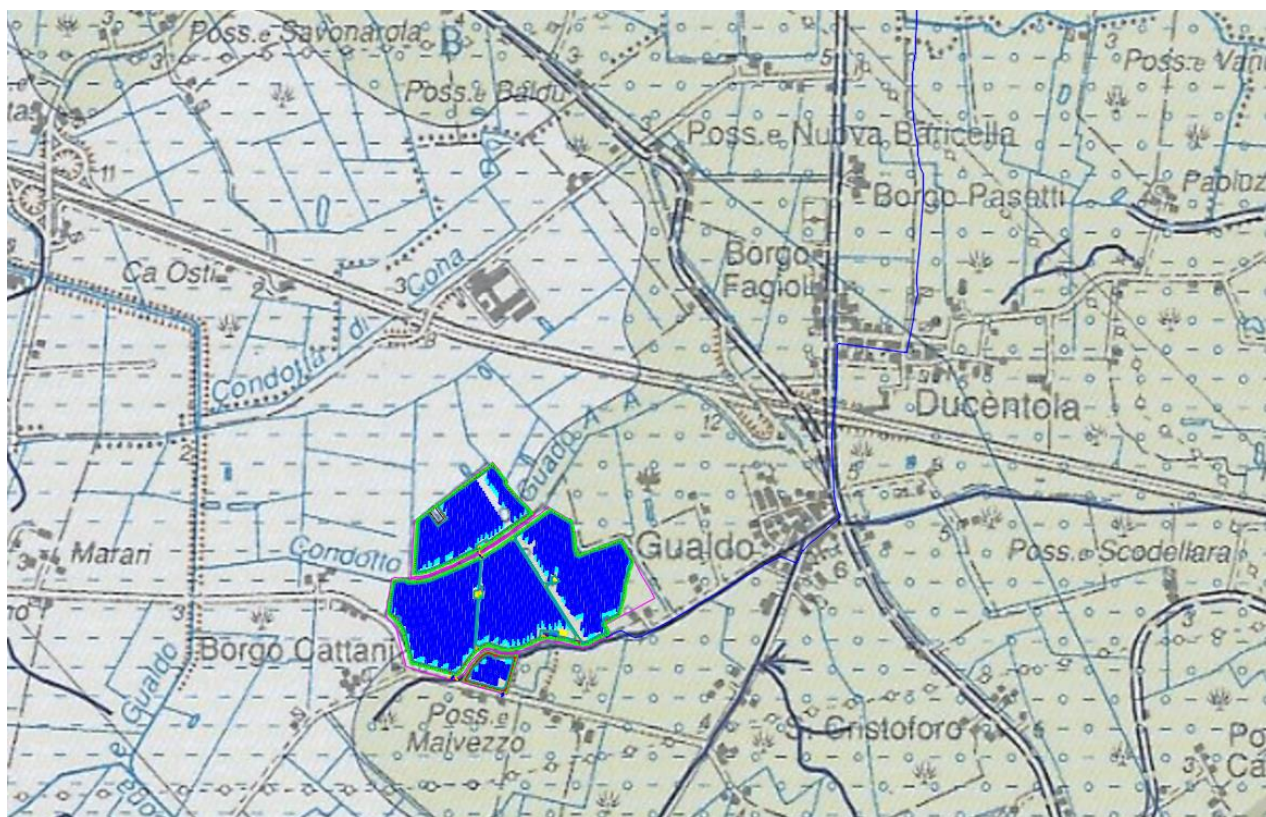


Figura 16 – stralcio carta geologica con ubicazione layout impianto



DEPOSITI DI PIANA ALLUVIONALE



Alternanze di sabbie e limi di argine, canale e rotta fluviale

Alternanze di sabbie fini e finissime, spesso limose, in strati da sottili a spessi, e limi, limi sabbiosi e limi argillosi, in strati da molto sottili a medi. Gli strati sono organizzati in sequenze con gradazione positiva o negativo-positiva. Localmente, alla base delle sequenze positive, sono presenti sabbie medie mentre al tetto si osservano intercalazioni di argilla. Formano corpi rilevati (dossi) a geometria nastriforme e lobata, con spessore di qualche metro. Depositi di argine, canale e rotta fluviale.



Argille e limi di piana inondabile

Argille e limi con rare intercalazioni di limi sabbiosi e sabbie limose in strati da molto sottili a medi. Presenti anche livelli di argille organiche. Le argille ed i limi sono spesso bioturbati e non sono visibili la stratificazione e le strutture sedimentarie; altrove è presente una fitta laminazione piano-parallela. Formano corpi di geometria allungata, nelle aree depresse interposte ai depositi di argine, o di geometria complessa dove queste si saldano fra loro (zone "vallive"); hanno spessori di pochi metri. Depositi di piana inondabile.

DEPOSITI DI PIANA DELTIZIA



Alternanze di sabbie e limi di canale distributore, di argine e rotta

Alternanze di sabbie da medie a finissime, spesso limose che passano lateralmente ad alternanze di limi ed argille. I frammenti vegetali possono essere localmente abbondanti, gli intraclasti argillosi sono localmente presenti mentre i bioclasti sono generalmente assenti. Strati da sottili a medi, frequentemente gradati, con base netta od erosiva. Localmente sabbie da medie a fini in strati amalgamati, spesso organizzati in sequenze positive (*fining-upward*) con laminazioni trattive e gradazione diretta. Formano corpi nastriformi (canali/argini) e lobati (ventagli di rotta), spessi fino ad oltre 10 m e larghi alcune centinaia di metri. Depositi di canale distributore, di argine e rotta.



Argille e limi di intercanale

Limi e argille limose con subordinate intercalazioni di sabbia fine e sabbia limosa. Presenza di concrezioni calcaree ed ossidazioni e di locali orizzonti torbosi di spessore compreso tra 10 e 20 cm. Formano corpi lenticolari allungati e con geometrie complesse che si sviluppano nelle aree topograficamente depresse interposte ai canali distributori, con spessore variabile tra 1 e 4 m. Depositi di intercanale confinati nell'area interdistributrice della piana deltizia superiore e totalmente isolati dalla piana deltizia inferiore ad opera dei rilievi del reticolo dei canali distributori.



Alternanze di sabbie e limi di delta minore

Alternanze di sabbie da medie a molto fini, limi e argille, generalmente organizzate in sequenze di tipo *fining upward* con base sia netta ed erosiva sia graduale. Presenza di sostanza organica e, localmente, di frammenti conchigliari. Formano corpi a geometria lobata e lenticolare con spessore di circa 4-6 metri che si dipartono lateralmente e frontalmente dai canali distributori, sviluppandosi all'interno delle aree interdistributrici. Depositi di delta minore in area interdistributrice ("bay-head delta") originatisi da canali di rotta importanti, caratterizzati da una attività non occasionale ma persistente.



Argille, limi e torbe di area interdistributrice

Argille, argille limose e limi argillosi, con intercalazioni d'argille organiche e torbe. Frammenti conchigliari sparsi sia di molluschi continentali sia di organismi di ambiente salmastro. Strutture sedimentarie e stratificazione spesso obliterate dalla bioturbazione; altrove è preservata una fitta laminazione piano-parallela o sottili strati sabbioso-limosi gradati. Formano corpi tabulari lateralmente molto estesi, con spessori fino a 3-4 m. Depositi di area interdistributrice da salmastra a dulcicola della piana deltizia inferiore.



SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE

In affioramento coincide con l'unità AES₈ a cui si rimanda per la descrizione. Nel sottosuolo è costituito da una successione di cicli trasgressivo-regressivi formati da depositi di ambiente deltizio e litorale e di ambiente alluvionale. Lo spessore massimo di ciascun ciclo è compreso tra 60 e 100 m, sono organizzati verticalmente in sequenze *coarsening-upward* (CU) e in sequenze *fining-upward/coarsening upward* (FU/CU); il limite inferiore rappresenta una superficie di disattivazione regionale dei sistemi fluviali che si correla nel settore litorale con una superficie di ingressione marina. In corrispondenza di queste superfici sono state individuate lacune stratigrafiche. I cicli rappresentano il prodotto della ciclicità elementare climatico-eustatica di quarto ordine del Quaternario.

Il sintema è parzialmente suddiviso in subsintemi (AES₈, AES₇ ed AES₆) corrispondenti, ciascuno, ai cicli deposizionali suddetti.

Spessore massimo circa 300 m.

PLEISTOCENE MEDIO-OLOCENE

Subsintema di Ravenna

Subsintema sommitale del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore.

In affioramento: prevalentemente alternanze di sabbie e limi associate ad argille e limi con sostanza organica; si tratta di depositi della piana deltizia attribuibili principalmente all'attività di canali distributori del fiume Po ed alle aree ad essi interposte (aree interdistributrici e di intercanale); in particolare, si individua nel settore settentrionale il complesso dei dossi dei canali distributori del Po di Spina, o Eridano (Auctt.). Nel settore di SE sono presenti limitati affioramenti di depositi di canale distributore, isolati da un sottile orizzonte di depositi deltizi fini più recenti (AES_{8a}). Nel settore di SO sono presenti i depositi di piana alluvionale costituiti da alternanze di sabbie e limi di argine, canale e rotta e da argille e limi di piana inondabile.

Limite superiore coincidente con il piano topografico, caratterizzato da suoli variabili da non calcarei a calcarei. I suoli presenti nelle porzioni settentrionali del Foglio contengono sovente reperti archeologici di età romana.

Subsintema contenente un'unità di rango gerarchico inferiore (AES_{8a}) che ne costituisce il tetto stratigrafico in quasi tutto il Foglio e a cui si rimanda per la descrizione dettagliata delle litologie e dei sistemi deposizionali. *Nel sottosuolo:* depositi appartenenti ad un cuneo trasgressivo-regressivo che si apre verso NE ed E, costituito da depositi di piana deltizia (prevalenti nell'intero Foglio), litorali e marini (che si sviluppano estesamente nel limitrofo Foglio 205). I depositi deltizi e litorali comprendono un esteso e spesso cuneo di argille limose organiche di palude e laguna in cui sono presenti localmente alternanze di sabbie e limi di canale distributore e di delta minore e che passa verso E e NE con contatti netti a sabbie di cordone e fronte deltizia e ad argille e limi di prodelta. Limitatamente al margine meridionale si estendono depositi di piana alluvionale che comprendono localmente sabbie di canale fluviale a geometria nastriforme e più diffusamente alternanze di sabbie e limi di argine e limi ed argille di piana inondabile.

Limite inferiore sempre sepolto, dato dal contatto netto tra i depositi fini, scuri, di piana alluvionale non drenata e deltizia con i depositi di piana alluvionale ben drenata al tetto di AES₇.

Spessore massimo di 25 metri circa.

PLEISTOCENE SUP-OLOCENE (c.a. 10.500 anni B.P. - attuale; datazione ¹⁴C non cal.).

Unità di Modena

Alternanze di sabbie, limi ed argille distinti in depositi di ambiente prevalente deltizio (canale distributore, aree interdistributrici e di intercanale, delta minore) e di ambiente alluvionale in subordine (canale ed argine e piana inondabile).

Costituisce la quasi totalità degli affioramenti del Foglio e si assottiglia nel settore settentrionale ed orientale fino a far affiorare porzioni più antiche di AES₈ in corrispondenza di dossi di canale distributore abbandonati (complesso del Po di Spina, Eridano, Auctt.).

I sedimenti deltizi più grossolani sono stati depositi da canali distributori del delta del Po ormai estinti (principalmente dal Po di Primaro) e marginalmente nel settore di NE dal Po di Volano. I sedimenti più fini si concentrano nella zona della piana deltizia superiore, nel settore occidentale, in aree irregolari di intercanale e nella zona della piana deltizia inferiore, nel settore orientale, nelle aree bonificate delle Valli del Mezzano, del Mantello e di Argenta.

I depositi alluvionali sono limitati al margine di SO, in corrispondenza dell'alveo artificiale del F. Reno.

Limite superiore sempre affiorante e coincidente con il piano topografico caratterizzato da un suolo privo di reperti archeologici romani, o più antichi, non rimaneggiati e caratterizzato da una buona preservazione delle forme deposizionali originarie. Il limite inferiore è dato dal contatto delle tracimazioni fluviali sul suolo di epoca romana.

Includi i depositi fluviali in evoluzione b₁.

Spessore da pochi metri a nullo (settore settentrionale) in corrispondenza della piana deltizia e fino a 8-9 metri nel settore sud-occidentale in corrispondenza della piana alluvionale.

ETÀ: POST-ROMANA (IV-VI sec. d.C. - Attuale; datazione ~~archeologica~~ ¹⁴C).

Pleistocene - Olocene



AES₈



AES_{8a}

Dal punto di vista geologico, la gran parte dei sedimenti che affiorano sulla superficie della pianura emiliano-romagnola sono di età olocenica, meno di 10.000 anni e derivano dalla complessa interazione fra il fiume Po, a nord, i fiumi appenninici, a sud e il Mare Adriatico, a est. I diversi ambienti sedimentari hanno determinato la formazione di conoidi e piane alluvionali dei fiumi appenninici, della piana a meandri del Po, della piana costiera, e del delta del fiume Po.

Nello specifico, nell'area oggetto di studio, si possono distinguere nei primi quindici metri di profondità i seguenti ambienti deposizionali:

- Ambiente dei bacini interfluviali, costituito dalle aree di sedimentazione delle frazioni più fini. Tale ambiente è caratterizzato dalla prevalenza di argille, argille limose, limi argillosi, argille organiche, con frequenti intercalazioni torbose.
- Ambiente di transizione dalle zone di paleoalveo a quelle dei bacini interfluviali, caratterizzato da alternanze di materiali fini e lenti sabbiose.



Come accennato, la zona in esame è situata all'interno della piana alluvionale originatasi dalla deposizione dei materiali in sospensione nelle acque dei fiumi che attraversavano l'attuale Pianura Padana. I depositi fluviali che ne sono derivati sono invariabilmente costituiti dall'alternanza ciclica di corpi sedimentari a granulometria prevalentemente fine, con corpi sedimentari a granulometria prevalentemente grossolana.

In particolare, la zona oggetto di studio è caratterizzata da depositi alluvionali a granulometria fine, con livelli a granulometria medio-fine.

L'impianto agrivoltaico e le opere connesse ricadono all'interno di depositi di Piana Deltizia costituiti da alternanze di sabbie e limi in associazione ad argille e limi ricchi in sostanze organiche.

4.0 ASSETTO GEOMORFOLOGICO

L'area in esame si inserisce nel settore deposizionale della bassa Pianura Padana caratterizzato da moderate ondulazioni che degradano progressivamente verso Est; le quote sono prossime a 3 metri s.l.m e l'acclività è compresa entro 1°. Qui affiorano sedimenti olocenici di piana alluvionale che si spingono in profondità per diversi di metri. La deposizione di tipo fluviale, avvenuta in modo non uniforme, ha determinato una forte eterogeneità granulometrica dei sedimenti, sia in senso verticale che areale, per cui l'assetto stratigrafico della zona risulta abbastanza complesso. La morfologia superficiale risente fortemente del costante e progressivo intervento antropico, volto a migliorarne l'efficienza agricola. Anche la stessa rete idrografica, che connota fortemente l'intero comprensorio è stata determinata dall'intervento antropico che ne ha modificato i corsi per mettere in sicurezza, dal punto di vista idraulico, le aree antropizzate. In precedenza, i diversi fossi e canali di scolo tracimavano con costante regolarità, generando alluvioni che hanno sedimentato lenti a diversa granulometria che conferiscono alla zona un paesaggio leggermente ondulato. Le bonifiche hanno prodotto scoli, collettori, canali artificiali e scolmatori che regolano il deflusso delle acque in eccesso e nello stesso tempo distribuiscono le acque destinate all'irrigazione.

Figura 17 – Stralcio rischio alluvioni

PIANO GESTIONE RISCHIO ALLUVIONI (PGRA) – AdB DISTRETTUALE FIUME PO

FONTE: PORTALE minERva REGIONE EMILIA-ROMAGNA

 RISCHIO DA ALLUVIONI (R1) – MODERATO O NULLO

 RISCHIO DA ALLUVIONI (R2) – MEDIO

PIANO GESTIONE RISCHIO ALLUVIONI (PGRA) – AMBITO REGIONE EMILIA-ROMAGNA

FONTE: PORTALE minERva REGIONE EMILIA-ROMAGNA

 AREE A POTENZIALE RISCHIO SIGNIFICATIVO (APSFR)

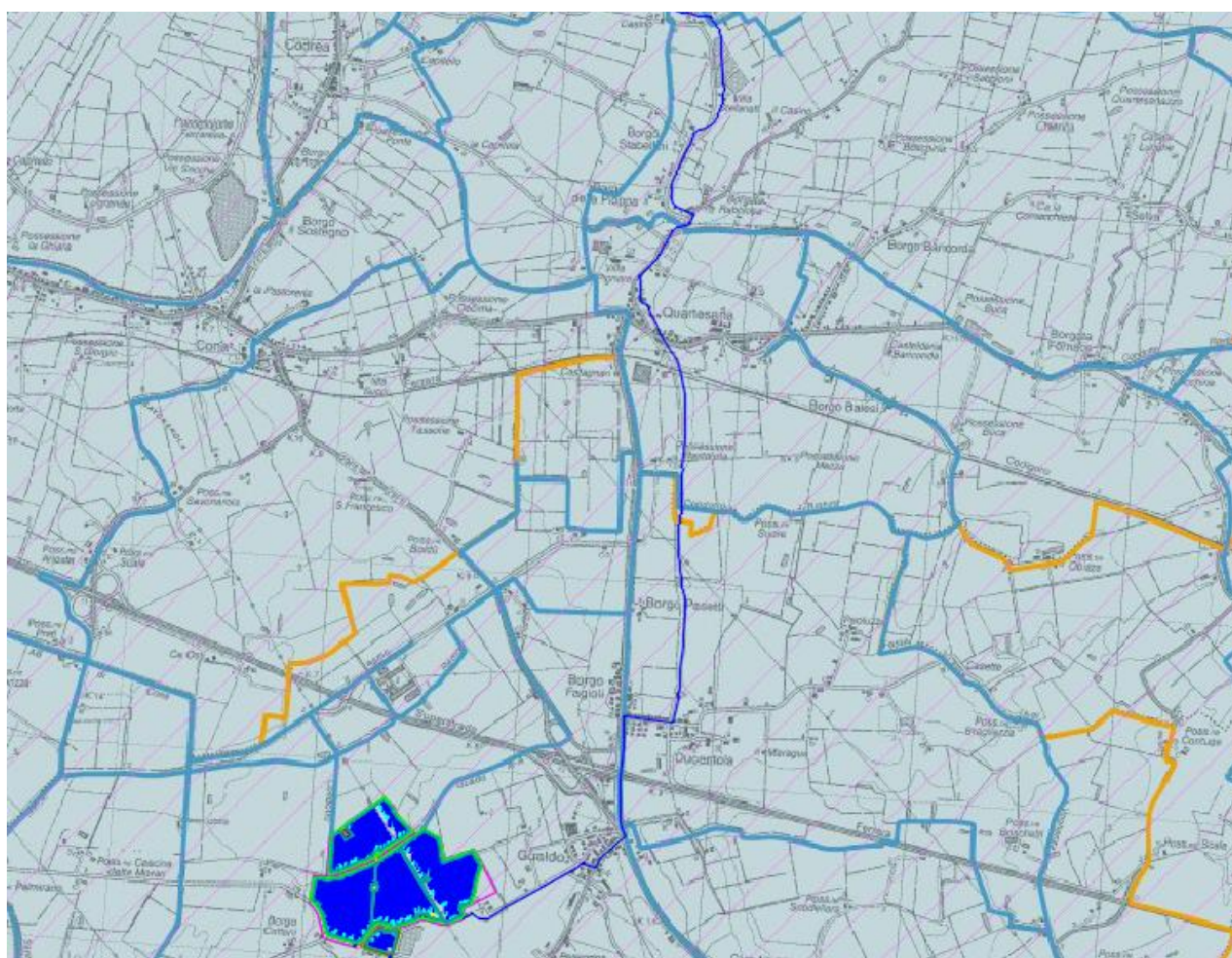


Figura 18 – stralcio pericolosità da alluvioni

PIANO GESTIONE RISCHIO ALLUVIONI (PGRA) – AdB DISTRETTUALE FIUME PO

FONTE: PORTALE minERva REGIONE EMILIA-ROMAGNA

 PERICOLO ALLUVIONI RARE (P1) – Tr 500 ANNI

PIANO GESTIONE RISCHIO ALLUVIONI (PGRA) – AMBITO REGIONE EMILIA-ROMAGNA

FONTE: PORTALE minERva REGIONE EMILIA-ROMAGNA

 AREE A POTENZIALE RISCHIO SIGNIFICATIVO (APSFR)

Area di inondazione per piena catastrofica (Fascia C), costituita dalla porzione di territorio esterna alla Fascia B, che può essere interessata da inondazione al verificarsi di eventi di piena più gravosi di quella di riferimento, come definita nell'Allegato 3 "Metodo di delimitazione delle fasce fluviali". Piano stralcio per l'assetto idrogeologico del fiume Po (PAI Po), 2024-07-30.

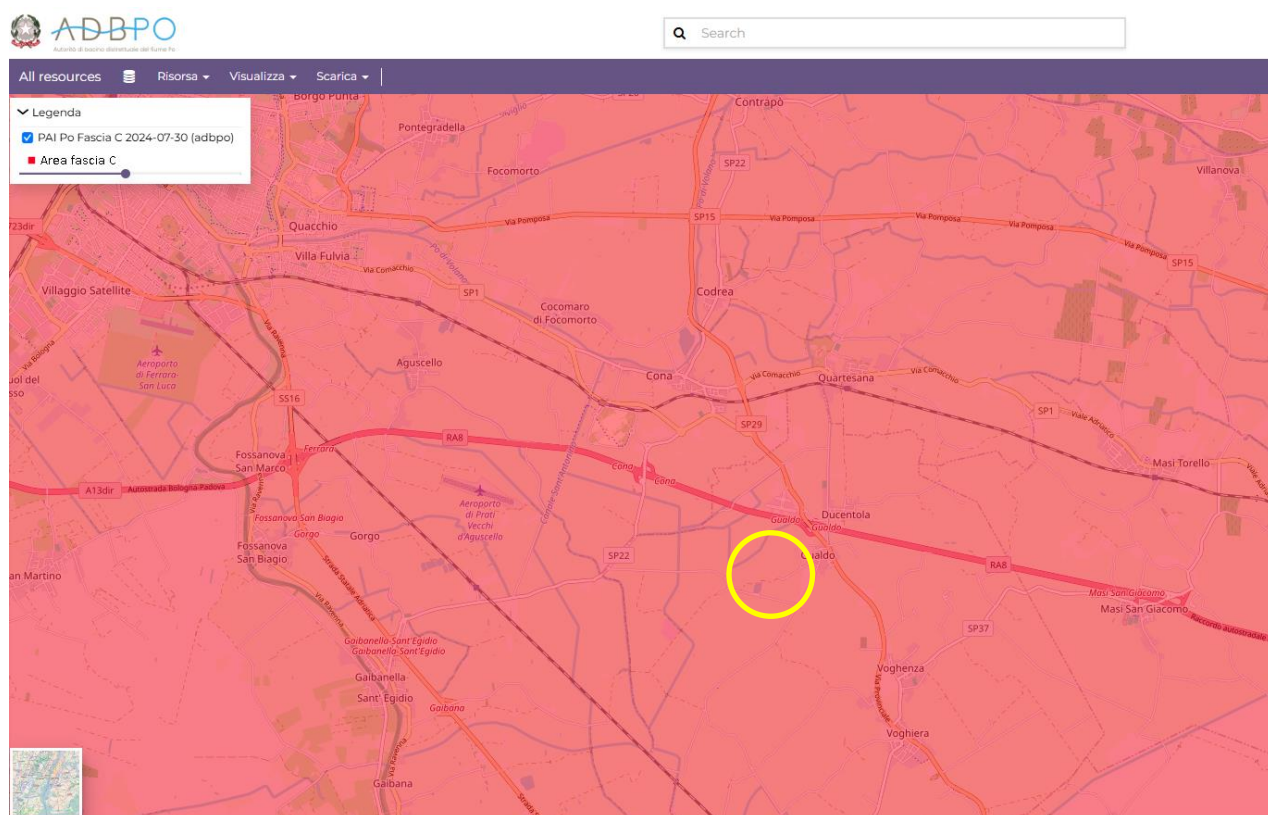


Figura 19 – Stralcio perimetrazione piena catastrofica Fascia C. In giallo la posizione dell'area di impianto.

Mappa delle aree allagabili complessive predisposte nell'ambito del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (2024-07-30) per il Distretto idrografico del fiume Po e scenari di scarsa probabilità L (Pericolosità P1), Media

probabilità M (Pericolosità P2), Elevata probabilità H (Pericolosità P3).

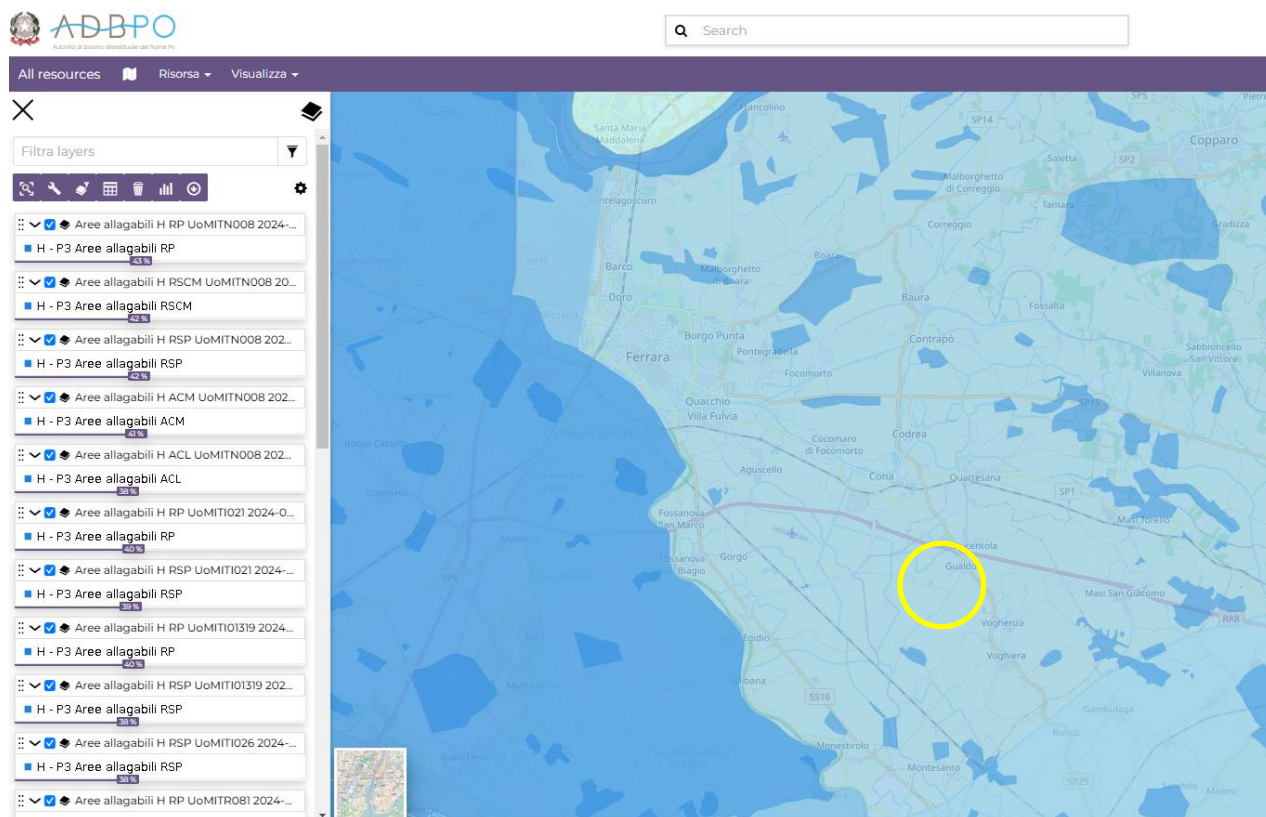


Figura 20 - Stralcio perimetrazione aree allagabili. In giallo la posizione dell'area di impianto.

Le osservazioni e le indagini compiute hanno evidenziato buone condizioni geomorfologiche dei terreni in questione; non esistono, infatti, nell'area in oggetto, tracce di fenomeni franosi o in genere, di processi morfogenetici in atto. Come si evince dalle perimetrazioni del PAI, le aree rientrano per ciò che riguarda il rischio alluvioni nella fascia R1 (moderato o nullo) mentre per ciò che riguarda la pericolosità nella fascia P1 (T5-500 anni). Nella zona in esame non si evincono particolari problematiche geologico-tecniche relative alla stabilità globale delle stesse. Nello specifico per le aree di intervento non risultano perimetrati e cartografati fenomeni attivi né tanto meno quiescenti; inoltre, non sussistono particolari condizioni geomorfologiche e geostrutturali predisponenti all'instabilità delle stesse.

Dal punto di vista dell'acclività, l'area si presenta sub-pianeggiante, quindi, in questo caso, la categoria topografica (tabella 3.2.IV delle nuove NTC-2018) definita in base al D.M. 17/01/2018 è T1 (pendii con inclinazione media < 15°) cui corrisponde un valore del coefficiente di amplificazione topografica S_t pari ad 1 (tabella 3.2.VI delle nuove NTC-2018).

5.0 ASSETTO IDROGEOLOGICO

Il modello idrogeologico dell'area, orientato prevalentemente alla circolazione sub-superficiale, quale fattore di controllo delle dinamiche evolutive del versante, viene condizionato dalla permeabilità dei terreni di copertura e dalle caratteristiche del substrato. Si presume che lo stato di saturazione dei depositi superficiali sia condizionato dall'inclinazione del terreno e dalla morfologia del territorio in genere, ma è altrettanto importante conoscere l'andamento della superficie di separazione substrato-coperture che ci aiuta nella determinazione dello spessore delle coperture. Il modello morfoevolutivo ipotizzato e i processi di genesi delle coperture lasciano intendere che è possibile una discreta correlazione tra la morfologia superficiale e quella sepolta.

Per ciò che riguarda la circolazione idrica superficiale, nell'intera regione padana si individua un'idrografia piuttosto diffusa. Ciò è da mettere in relazione sia alla natura geolitologica, con affioramenti di litologie prevalentemente limo argillose che favoriscono il ruscellamento superficiale sia anche alla collocazione morfologica e geografica, ai piedi di importanti rilievi dove si verificano intense precipitazioni e forti ruscellamenti a causa delle pendenze elevate e degli affioramenti lapidei impermeabili. Il reticolo ha subito profonde variazioni nel periodo olocenico in funzione sia degli alluvionamenti delle aree, sia anche per via dell'azione antropica che ha svolto una importante azione di bonifica e regimentazione delle acque superficiali per migliorare la pratica agricola e per evitare danni alle persone e alle cose.

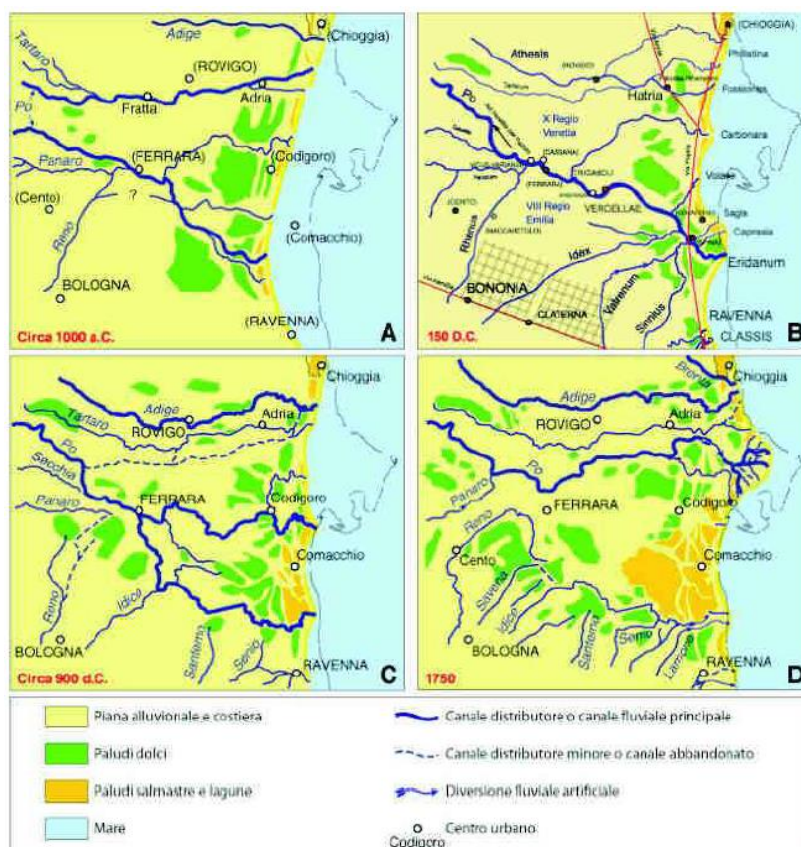


Figura 21 - Evoluzione del reticolo idrografico della fascia costiera negli ultimi 3000 anni. Da Bondesan, (1990) come modificate in Stefani & Vincenzi (2005).

I maggiori corsi d'acqua della Regione, il Po e il Reno hanno, allo stato attuale un deflusso orientato circa Ovest-Est. Gli affluenti del Reno, che scendono direttamente dai rilievi appenninici (il torrente Idice, il torrente Sillaro, il fiume Santerno e il torrente Senio) hanno un deflusso orientato SO-NE (direzione antiappennica) a connotare un forte controllo strutturale sul deflusso idrico. I corsi d'acqua presenti nell'area di studio sono caratterizzati da un percorso generalmente rettilineo, forzato entro argini ben definiti. Tutta una serie di canali minori si intersecano secondo direttrici regolari che formano un complesso sistema con funzione di regolare le piene e parallelamente di distribuire quanto più uniformemente sul territorio la risorsa idrica.

L'immediata conseguenza dell'assetto orografico della regione è rappresentata dalla diminuzione pressoché costante delle quote procedendo dal margine meridionale della regione verso Nord- NordEst. Nel suo complesso il reticolo idrografico risulta fortemente condizionato da due fattori principali: il gradiente regionale e la presenza di importanti dislocazioni tettoniche; in particolare il controllo tettonico ha influenzato i tracciati dei reticoli del drenaggio superficiale, determinando l'orientamento di molte valli fluviali.

Tutti i corsi d'acqua presentano un generale sviluppo sub-parallelo. Tra le caratteristiche comuni possiamo sottolineare il loro regime torrentizio, il profilo trasversale asimmetrico delle valli, la ridotta lunghezza e le ridotte dimensioni dei relativi bacini imbriferi.

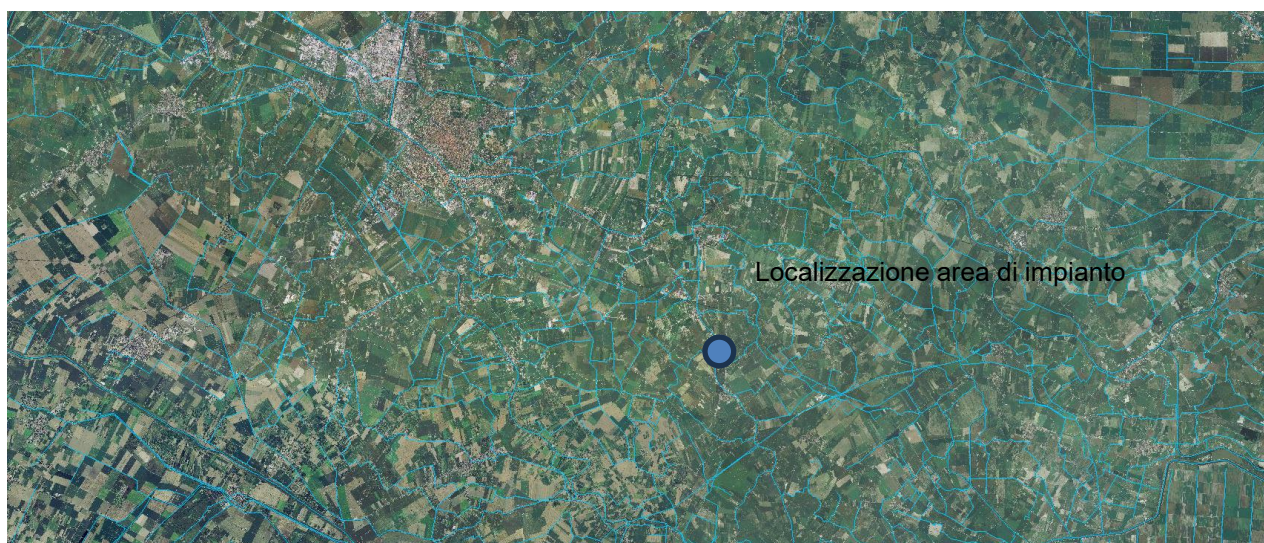


Figura 22 - Principale Reticolo Idrografico dell'area di impianto

Per quello che riguarda la circolazione idrica sotterranea, gli eventuali percorsi idrici ed i valori di permeabilità, risultano essere funzione delle formazioni presenti e quindi delle frazioni granulometriche rappresentative.

Dal punto di vista della “*permeabilità*”, cioè dell'attitudine che hanno le rocce nel lasciarsi attraversare dalle acque di infiltrazione efficace, si possono distinguere vari tipi di rocce:

- *rocce impermeabili*, nelle quali non hanno luogo percettibili movimenti d'acqua per mancanza di meati sufficientemente ampi attraverso i quali possono passare, in condizioni naturali di pressione, le acque di infiltrazione;



- *rocce permeabili*, nelle quali l'acqua di infiltrazione può muoversi o attraverso i meati esistenti fra i granuli che compongono la struttura della roccia (*permeabilità per porosità e/o primaria*), o attraverso le fessure e fratture che interrompono la compagine della roccia (*permeabilità per fessurazione e fratturazione e/o secondaria*).

Inoltre, in alcuni litotipi si manifesta una permeabilità “*mista*”, dovuta al fatto che rocce aventi una permeabilità primaria, sottoposte a particolari genesi, acquistano anche quella secondaria.

Generalmente il territorio del Ferrarese è interessato da una falda superficiale strettamente connessa con le antiche direttrici dei drenaggi ora estinti e con i canali e scoli della rete della Bonifica. Questa falda è comunemente denominata falda freatica, anche se localmente presenta un certo grado di salienza. Dalla bibliografia specializzata e da indagini dirette condotte, risulta che nel sottosuolo sono presenti diversi acquiferi confinati di cui solo i più superficiali, fino a 50 – 60 metri di profondità, sfruttabili per scopi civili e industriali per la natura delle acque dolci. In profondità si riconoscono ulteriori acquiferi caratterizzati da acque salmastre e chiaramente salate.

La serie idrogeologica locale può essere così sintetizzata:

SERIE IDROGEOLOGICA				
Falda	Prof. Tetto m. dal p.c.	Potenza m.	Tipo	Note
Freatica	0 ÷ 2	---	Freatica	Dolce
I Acquifero	4 ÷ 37	3 ÷ 40	Confinata	Dolce
II Acquifero	29 ÷ 62	8 ÷ 30	Confinata	Salmastra
III Acquifero	55 ÷ 110	15 v 25	Confinata	Salmastra
IV Acquifero	90 ÷ 126	3 v 15	Confinata	Salmastra
V Acquifero	135 ÷ 152	10 v 30	Confinata	Salmastra
VI Acquifero	200 ÷ 210	40 v 110	Confinata	Salmastra

Tabella 1 - Serie Idrogeologica nell'area di studio.

Nell'area la falda freatica è localizzata a pochi metri dall'attuale piano campagna, influenzata localmente dalla natura dei terreni, dal grado di impermeabilizzazione superficiale, dall'uso del sottosuolo nello strato interessato da questa, dall'interferenza con la rete dei canali/scoli della bonifica. Una verifica eseguita direttamente dal portale isprambiente.gov.it è stato possibile verificare che nell'area di intervento non esistono pozzi per la captazione delle acque sotterranee o almeno non se pure esistono questi non sono censiti. Alcune perforazioni si riscontrano a poche decine di metri dal sito di realizzazione dell'impianto.



iCube Development I6 s.r.l.



CODE: VOG-PV001-R08_02

PROJECT: VOGHIERA PV001

PAGE
31 di/of 54

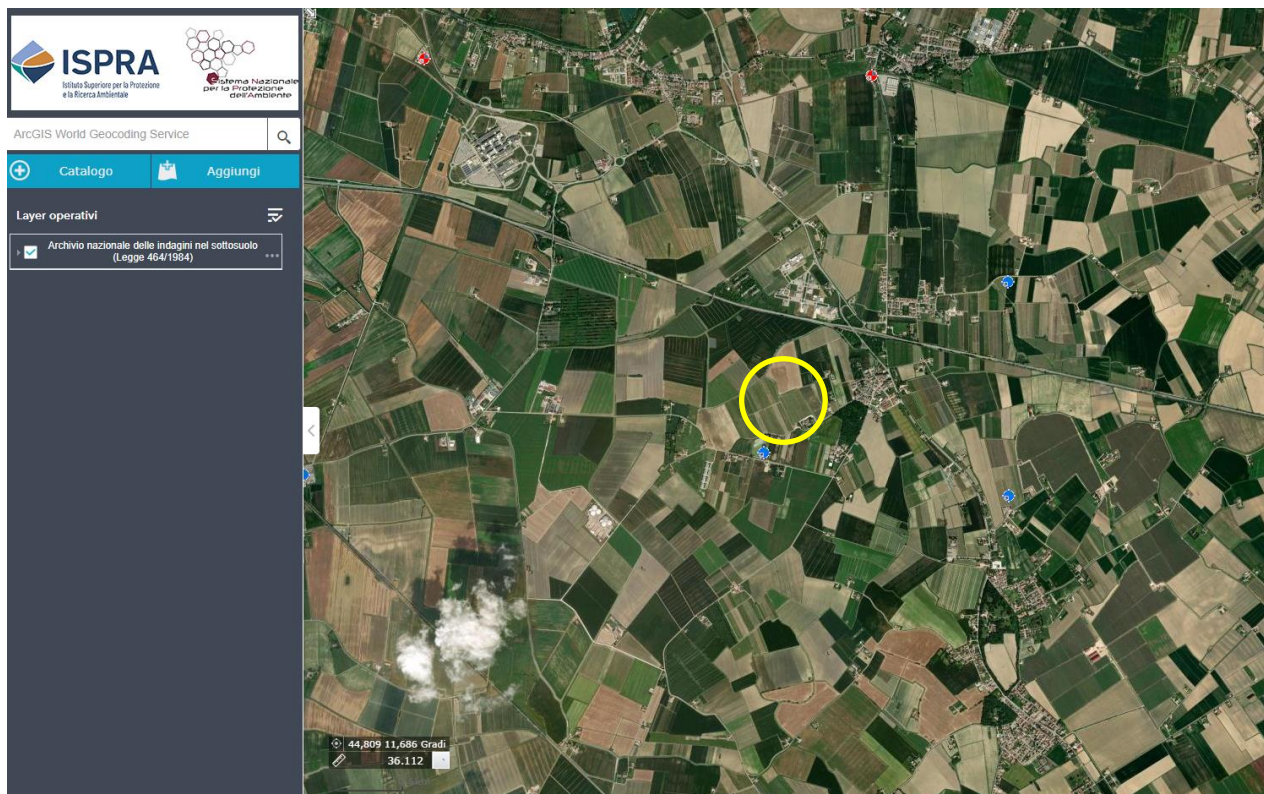
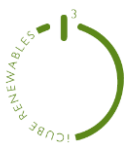


Figura 23 – Ubicazione pozzi per uso idropotabile – fonte ISPRA. In giallo la posizione dell'area di impianto.

Archivio nazionale delle indagini nel sottosuolo (Legge 464/1984)

Stampa	
Dati generali	Ubicazione indicativa dell'area d'indagine
Codice: 3065 Regione: EMILIA-ROMAGNA Provincia: FERRARA Comune: VOGHIERA Tipologia: PERFORAZIONE Opera: POZZO PER ACQUA Profondità (m): 47,00 Quota pc slm (m): ND Anno realizzazione: 1995 Numero diametri: 1 Presenza acqua: SI Portata massima (l/s): 10,000 Portata esercizio (l/s): 8,000 Numero falde: 1 Numero filtri: 1 Numero piezometrie: 1 Stratigrafia: SI Certificazione(*): NO Numero strati: 2 Longitudine WGS84 (dd): 11,723733 Latitudine WGS84 (dd): 44,777647 Longitudine WGS84 (dms): 11° 43' 25.45" E Latitudine WGS84 (dms): 44° 46' 39.53" N (*):Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia	

Tabella 2 – Pozzo codice ISPRA 3065



DIAMETRI PERFORAZIONE

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)
1	0,00	47,00	47,00	240

FALDE ACQUIFERE

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)
1	34,00	47,00	13,00

POSIZIONE FILTRI

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)
1	35,00	45,00	10,00	170

MISURE PIEZOMETRICHE

Data rilevamento	Livello statico (m)	Livello dinamico (m)	Abbassamento (m)	Portata (l/s)
giu/1995	3,60	16,80	13,20	10,000

STRATIGRAFIA

Progr	Da profondità (m)	A profondità (m)	Spessore (m)	Età geologica	Descrizione litologica
1	0,00	34,00	34,00		ARGILLA GRIGIA
2	34,00	47,00	13,00		SABBIA - MEDIA

Tabella 3 – Dati del pozzo e stratigrafia

Per quel che concerne la caratterizzazione idrogeologica di dettaglio del lotto in esame, durante le indagini eseguite è stata rilevata la presenza di una falda idrica superficiale alla profondità di -1.50 mt dal piano campagna, riscontrata durante la fase dei sondaggi.

6.0 RILEVAMENTO GEOLOGICO TECNICO E DESCRIZIONE DELLE INDAGINI

Nell'area di progetto sono stati eseguiti approfondimenti di caratterizzazione geotecnica nonché sismici delle litologie implicate direttamente dalle opere in progetto.

Le indagini e prove sono state fornite dal cliente e sono di seguito riepilogate:

1. Le **indagini geognostiche** sono consistite in:
 - **n. 01 sondaggio meccanico a carotaggio continuo, denominato S01 e spinto fino alla profondità di 15 mt dal p.c.**
 - **n°02 prove SPT all'intero del foro di sondaggio S01**

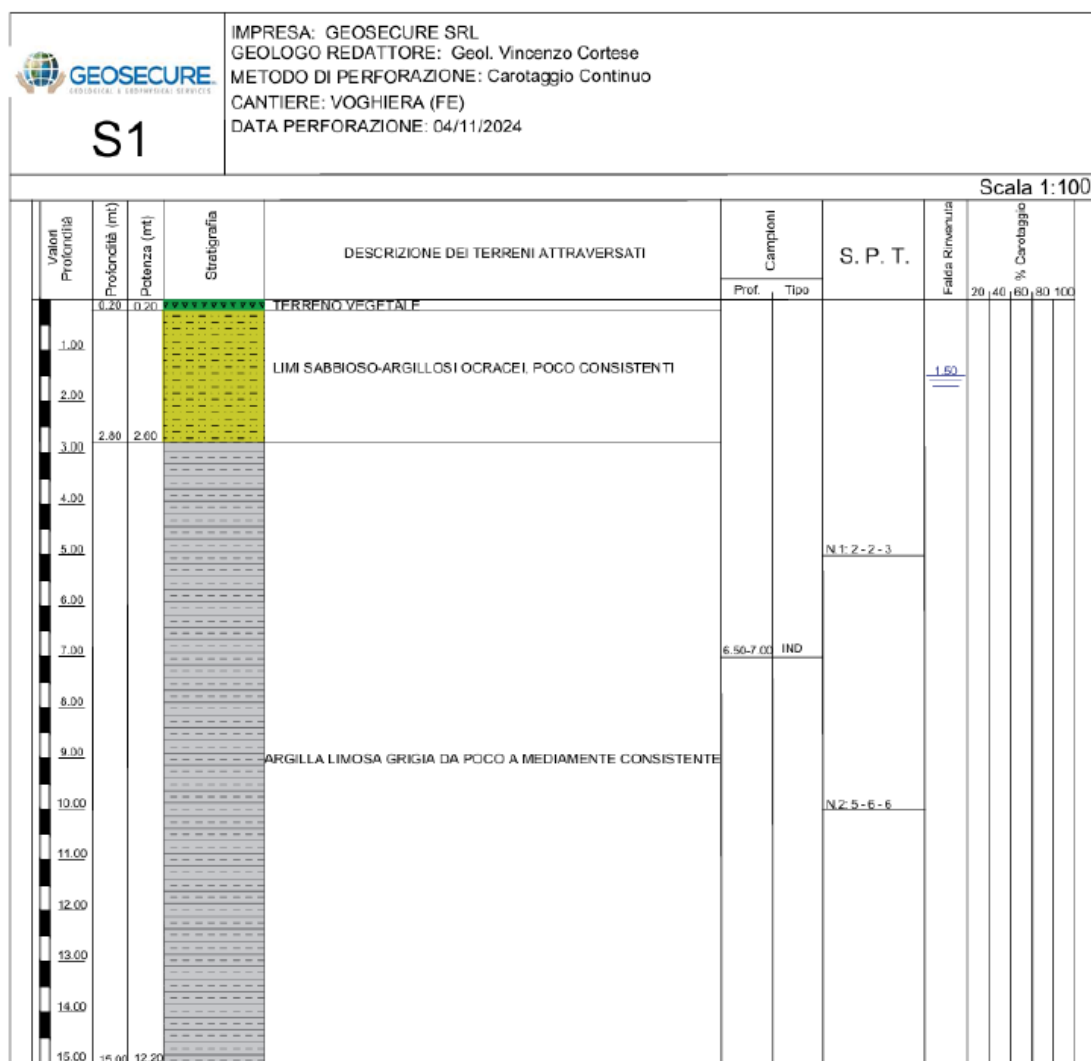


Figura 24 – Stratigrafia del sito



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



FOTO POSTAZIONE



CASSETTA N.1 - Da 0,00 a 5,00 mt



CASSETTA N.3 - Da 10,00 a 15,00 mt



CASSETTA N.2 - Da 5,00 a 10,00 mt

2. Le **indagini geotecniche** in laboratorio sono consistite in:

- n. 1 prove di laboratorio geotecnico su 1 campioni di terreno naturale.

3. Le **indagini geotecniche in sito** sono consistite in:

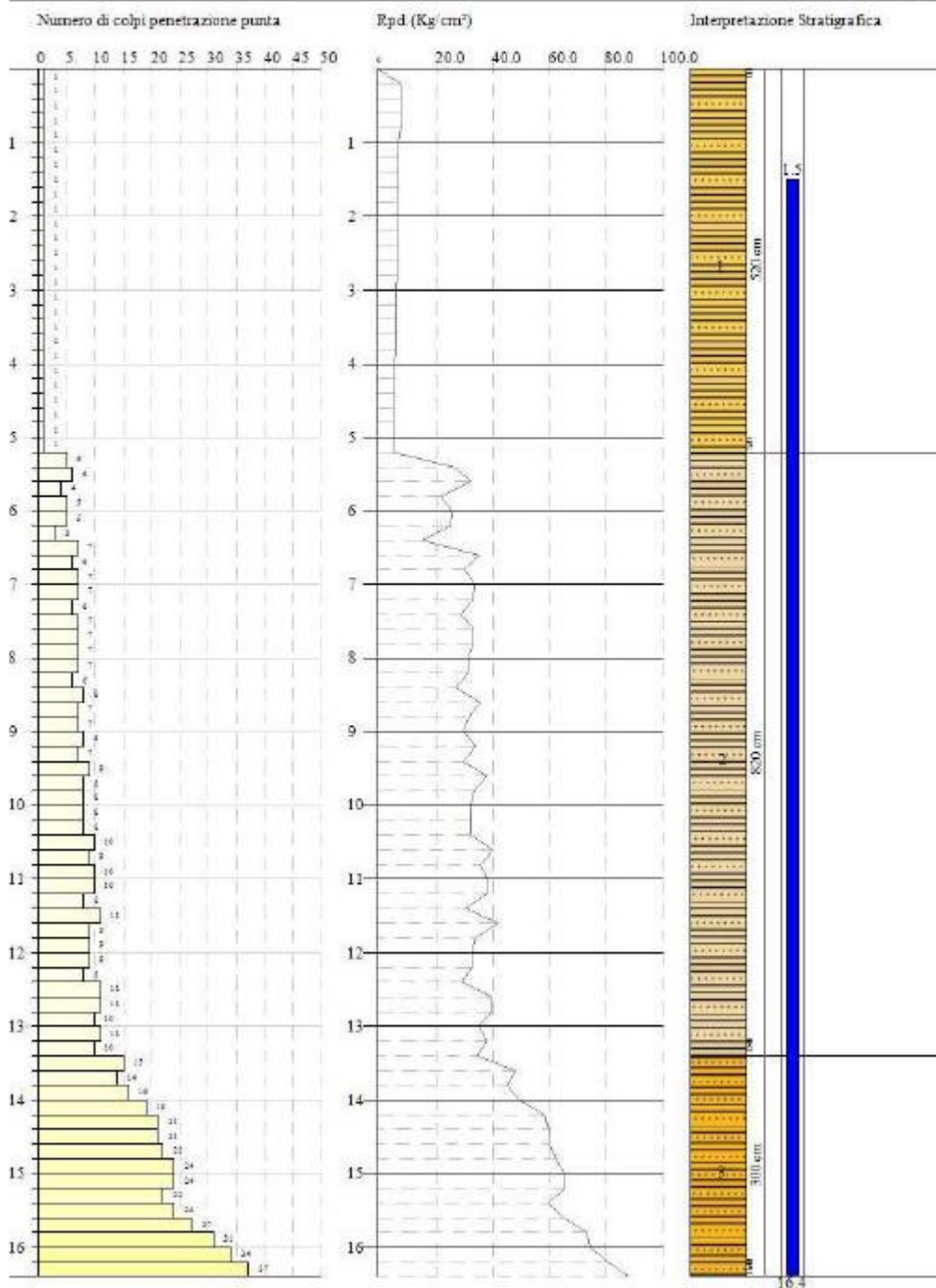
- n° 01 prova penetrometrica di tipo DPSH a punta chiusa;

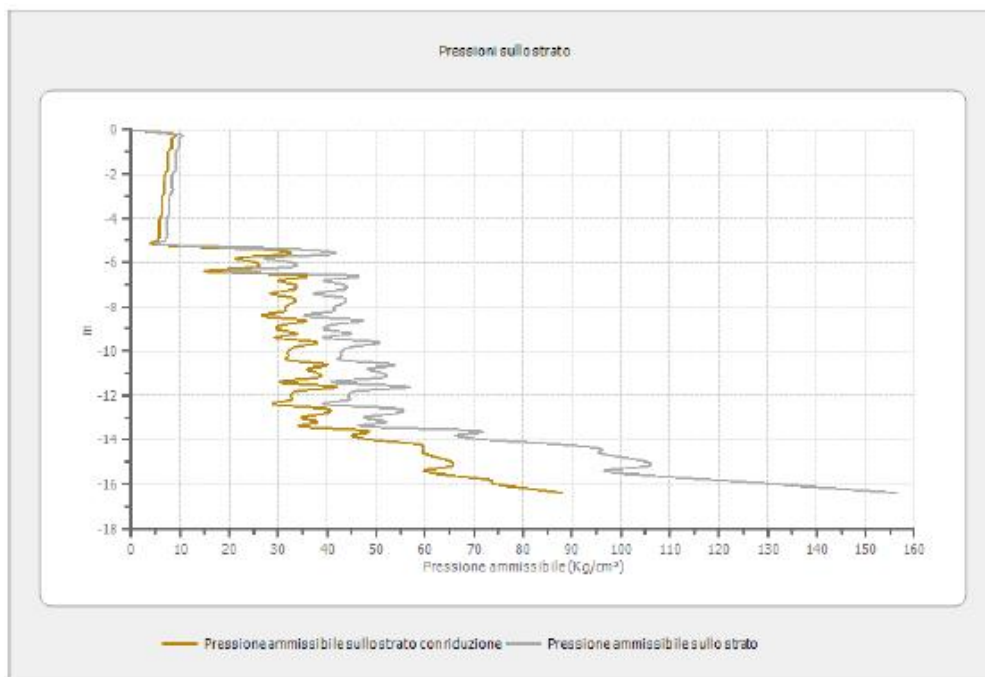


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA N°1
Strumento utilizzato... DPSH (Dynamic Probing Super Heavy)

Committente:
Descrizione:
Località:

Scala 1:77





DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Figura 25 – Particolare prova dpsh



4. Le **indagini geofisiche in sito** sono infine consistite in:

- **n° 01 prospezioni geofisiche superficiali con tecniche di sismica a rifrazione classica e tomografica**, allo scopo di ottenere una sezione sismica da interpretare in chiave geologica;
- **n° 01 prospezioni geofisiche superficiali con metodologia di indagine MASW**, necessarie per la **misurazione del valore delle V_{seq}** , allo scopo di classificare il suolo di fondazione secondo i criteri imposti dalle **N.T.** vigenti;



Figura 26 – Particolare prova geofisica



Figura 27 – Ubicazione delle indagini e prove

Tali indagini, integrate con un recente rilevamento geologico della zona in esame, hanno permesso di definire con precisione il modello geologico del sito, sia per quanto riguarda le tipologie litologiche presenti e sia per quanto riguarda i loro spessori.



7.0 DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI GEOTECNICI

Al fine di definire le caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni sui quali andranno ad insistere le opere e gli interventi, sono stati considerati, valutati ed elaborati tutti i dati disponibili per le aree oggetto di intervento.

Una volta analizzati, si è provveduto all'analisi ed alla definizione del modello geologico-tecnico e di tutti i parametri del terreno direttamente interessati dalle nuove opere.

Fatta questa necessaria premessa, particolare attenzione deve essere data alla definizione del volume significativo di terreno da investigare: "Il volume significativo è quello nel quale si osserva una influenza non trascurabile delle perturbazioni meccaniche o idrauliche provocate dalla costruzione dell'opera. Questa definizione non risolve il problema della determinazione del volume a cui vanno estese le indagini, perché, a rigore, esso dipende sia dalle caratteristiche dell'opera sia da quelle dei terreni presenti (in particolare dai valori relativi delle rigidezze nei terreni stratificati) e, quindi, non è noto a priori. Per terreni molto eterogenei e nel caso di stratificazioni profonde di terreni di caratteristiche scadenti è opportuno aumentare le profondità esplorate; queste potranno invece essere ridotte nel caso in cui si rinvenga a piccola profondità un substrato lapideo."

Di seguito si forniscono al progettista strutturista tutti i parametri geotecnici dei terreni implicati dalle nuove opere al fine di eseguire il calcolo e la verifica strutturale delle stesse. (verifica agli stati limite SLE e SLU).

Nell'ottica di una progettazione basata sul metodo degli stati limite, devono essere utilizzati parametri geotecnici opportunamente interpretati (parametri caratteristici X_k) e parametri ridotti (parametri di progetto X_d), ovvero sia ottenuti con una stima cautelativa di un dato parametro, in relazione agli stati limite considerati per il progetto.

PAREMETRIZZAZIONE SITO

LIMI SABBIOSO-ARGILLOSI OCRACEI , POCO CONSISTENTI (da 0,0 a 5,20)

Peso di unità di volume secco (t/m³): 1.36

Peso di unità di volume saturo (t/m³): 1.85

Angolo di attrito (°): 20.43

Coesione non drenata c_u (Kg/cm²) : 0.09

ARGILLA LIMOSA GRIGIA POCO CONSISTENTE (da 5,20 a 13,40)

Peso di unità di volume secco (t/m³): 1.50

Peso di unità di volume saturo (t/m³): 1.93

Angolo di attrito (°): 23.34



Coesione non drenata Cu (Kg/cm2): 0.79

ARGILLA LIMOSA GRIGIA MEDIAMENTE CONSISTENTE (da 13,40 a 16,40)

Peso di unità di volume secco (t/m3): 1.65

Peso di unità di volume saturo (t/m3): 2.03

Angolo di attrito (°): 27.17

Coesione non drenata Cu (Kg/cm2) : 2.38

ARGILLA LIMOSA GRIGIA CONSISTENTE (da 16,40 a 30,00)

Peso di unità di volume secco (t/m3): 2.10

Peso di unità di volume saturo (t/m3): 2.30

Angolo di attrito (°): 32

Coesione non drenata Cu (Kg/cm2) : 3.80

8.0 MODELLAZIONE SISMICA

La penisola italiana è una delle zone sismicamente più attive del Mediterraneo. Essa è stata inoltre, sede di alcune tra le più antiche civiltà, e ciò ha permesso la registrazione di notizie attendibili anche di eventi sismici molto antichi. La prima versione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, CPTI99 è stata realizzata utilizzando tutti gli studi macrosismici e strumentali resi disponibili dal 1999 in poi. L'ultima versione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15, aggiornata al 2016, comprende tutti i terremoti a partire dall'anno 1000 al 2014.

Numerosi studi hanno sottolineato che la pericolosità sismica non dipende solo dal tipo di terremoto, dalla distanza tra l'epicentro e la località interessata, ma, soprattutto, dalle caratteristiche geologiche dell'area di interesse. Infatti, la geometria della struttura del sottosuolo, le variazioni dei tipi di terreni e delle sue proprietà con la profondità, le discontinuità laterali e la superficie topografica sono all'origine delle larghe amplificazioni delle vibrazioni del terreno e sono stati correlati alla distribuzione del danno durante i terremoti distruttivi (Aki, 1993; Bard, 1994; Faccioli, 1991, 1996; Chavez - Garcia et alii, 1996). Questi fattori sono particolarmente importanti per la corretta valutazione dell'azione sismica nell'ambito della difesa dai terremoti, per tale motivo, ai fini della riduzione del rischio sismico, è importante riconoscere le aree in cui le oscillazioni del suolo sono più ampie e definire le frequenze con le quali esse tendono ad oscillare.

L'azione esercitata localmente dagli strati più superficiali, che operano sia da filtro che d'amplificatore, costituisce quello che va sotto il nome d'Effetto di Sito. Riconoscere in dettaglio le aree caratterizzate in media da uguale Risposta di Sito, dovuta alle caratteristiche geologiche o alla topografia, è diventata una richiesta fondamentale negli studi geologici e geofisici relativi alle costruzioni.

In Italia la normativa in merito è stata aggiornata con l'Ordinanza n. 3274 del 20 Marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".

L'aspetto di maggiore rilievo introdotto dall'Ordinanza 3274 e costituito senza dubbio dai nuovi criteri di classificazione sismica del territorio nazionale, necessari proprio per coprire questa grave lacuna lasciata irrisolta dalla normativa precedente. L'Ordinanza suddivide a tal fine l'intero territorio nazionale in quattro zone di sismicità, individuate in base a valori decrescenti di "accelerazioni massime" al suolo.

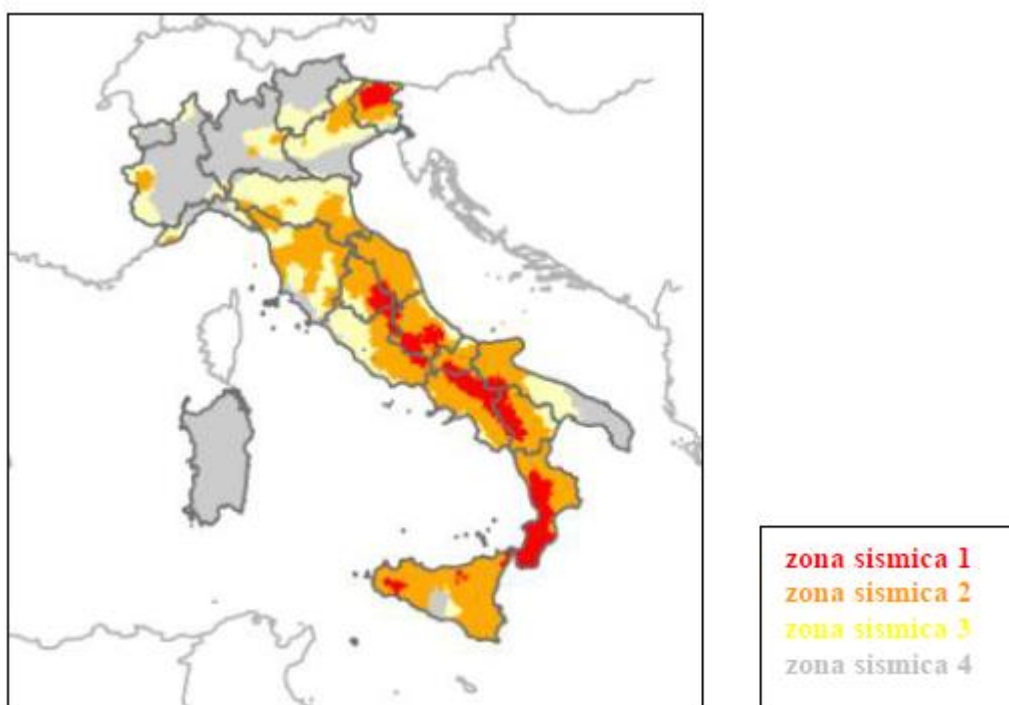


Figura 28 - Mappa della classificazione sismica del territorio Italiano

Per queste zone le norme indicano quattro valori di accelerazioni orizzontali (a_g/g) di ancoraggio dello spettro di risposta elastico. In particolare, ciascuna zona è individuata secondo valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo a_g , con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, secondo la tabella seguente:

<i>Zona Sismica</i>	<i>Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [a_g/g]</i>	<i>Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [a_g/g]</i>
1	> 0,25	0,35
2	0,15 – 0,25	0,25
3	0,05 – 0,15	0,15
4	< 0,05	0,05

L'assegnazione di un territorio ad una delle quattro zone suddette avviene mediante le valutazioni di a_g (con tolleranza 0,025g) rappresentate in termini di curve di livello con passo 0,025g.

Le faglie conseguenti ai movimenti dei sovrascorrimenti appenninici danno origine alle manifestazioni sismiche che interessano la regione emiliano-romagnola. Sulla base dunque di tutte le informazioni tettoniche riportate, è stata redatta la carta delle zone di maggiore risentimento degli effetti delle faglie attive (**FIGURA 27**) dell'Emilia Romagna. Essa è riportata nelle Note illustrative allegate alla Carta Sismotettonica pubblicata nel 2004.

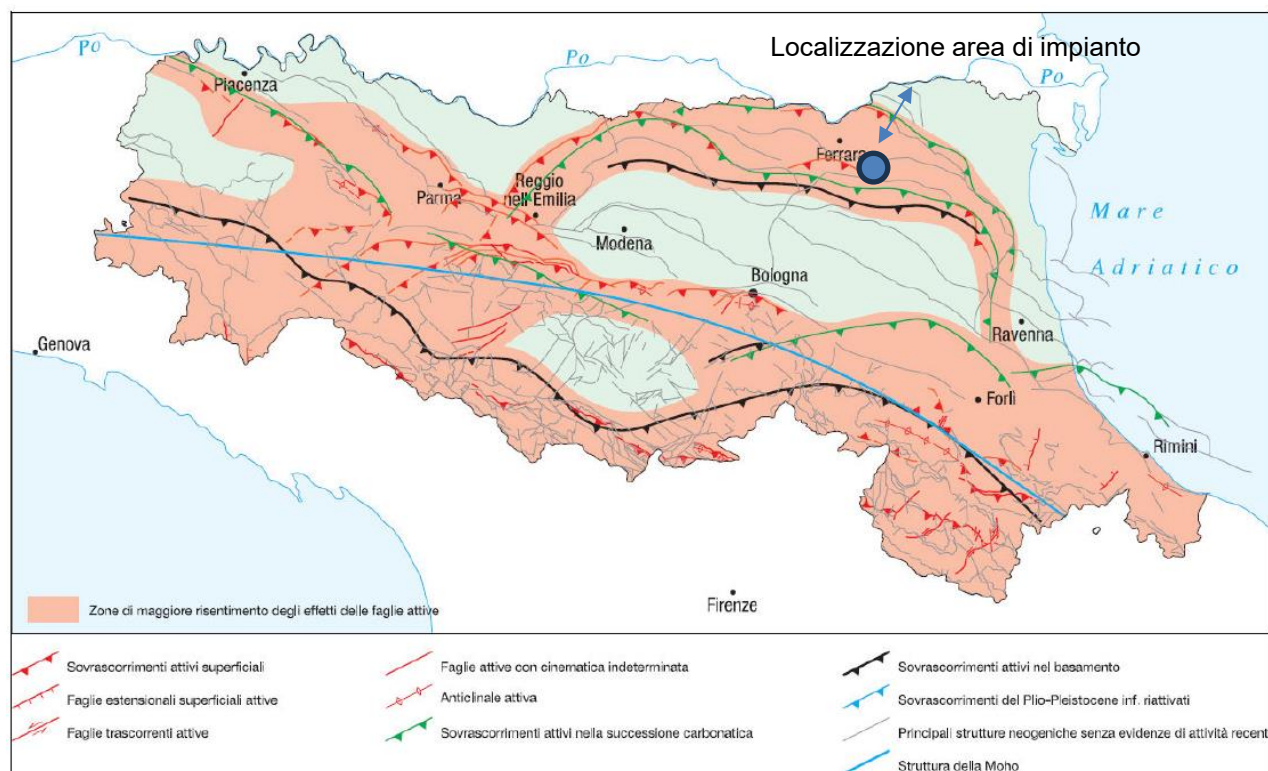


Figura 29 - Carta delle zone di maggiore risentimento degli effetti delle faglie attive
(Carta sismotettonica della Regione Emilia Romagna - 2004).

Secondo la Zonazione sismogenetica del Territorio Italiano - ZS9, prodotta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) nel 2004 (Meletti e Valensise, 2004), che rappresenta il riferimento per le valutazioni di pericolosità sismica nel territorio nazionale, il territorio occupato dal comune di Voghiera ricade ai margini della zona sismogenetica, 912, caratterizzata da un valore di M_{wmax} pari a 6.14.

Il database DISS (DISS Working Group, 2015) indica che il territorio comunale di Voghiera si colloca esternamente alla struttura sismogenetica composta orientata approssimativamente ESE-WNW e denominata Poggio Rusco-Migliarino (ITCS050) (**FIGURA 28**). Subito a sud è presente la struttura sismogenetica composta denominata Malalbergo-Ravenna (ITCS012). Queste strutture fragili, i cui lineamenti principali mostrano vergenza tendenzialmente nord-est, sono soggette ad un attivo campo di stress tettonico compressivo, che induce movimenti inversi o inverso - trascorrenti, associati ad una attività sismica relativamente frequente. Di tale attività esiste significativa documentazione storica (Guidoboni et al., 2007), comunque per sua natura ovviamente incompleta, in particolare prima del XVI secolo.

La fascia corrispondente alla sorgente composta ITCS050 delimita il settore esterno dell'Arco Ferrarese; in

essa rientra la sorgente individuale di Ferrara (ITIS090) a cui è assegnata magnitudo massima pari a 5.5, profondità tra 1.4 e 4.5 km e slip-rate compreso tra 0.1 e 0.5 mm/anno. L'esistenza di questa sorgente individuale è avvalorata sia da dati di sottosuolo (Pieri e Groppi, 1981; Boccaletti e Martelli, 2004; Burrato et al., 2003; 2012), sia da attività tettonica "recente" alla quale si riconduce il terremoto di Ferrara del 17 novembre 1570. L'ubicazione della sorgente è stata proposta anche sulla base di anomalie del reticolo idrografico, in particolare in relazione alla deviazione dell'alveo del fiume Po in prossimità di Stellata, interpretata come possibile conseguenza della deformazione cosismica indotta dall'attività tettonica di tale struttura sepolta. Per quanto riguarda invece la struttura sismogenetica composita ITCS012, in essa rientra la sorgente individuale di Argenta (ITIS141) a cui è assegnata magnitudo massima pari a 5.8, profondità tra 3 e 6.3 km e slip-rate compreso tra 0.49 e 0.55 mm/anno. Spostandosi più a sud verso la Romagna il database DISS indica la presenza di altre due sorgenti sismogenetiche composite orientate, anch'esse, approssimativamente ESE-WNW e denominate Fusignano- Villanova (ITCS109) e Mordano-Guarniera (ITCS011). A quest'ultima è associata la sorgente individuale di Bagnacavallo (ITIS100), caratterizzata da una magnitudo massima pari a 5.8. La presenza di tale sorgente individuale, a cui è stato associato il sisma dell'11 aprile 1668, è stata ipotizzata anche sulla base di anomalie osservate nel reticolo idrografico. La profondità della struttura è indicata tra 2.5 e 5 km, mentre lo slip-rate è compreso tra 0.1 e 0.3 mm/anno.

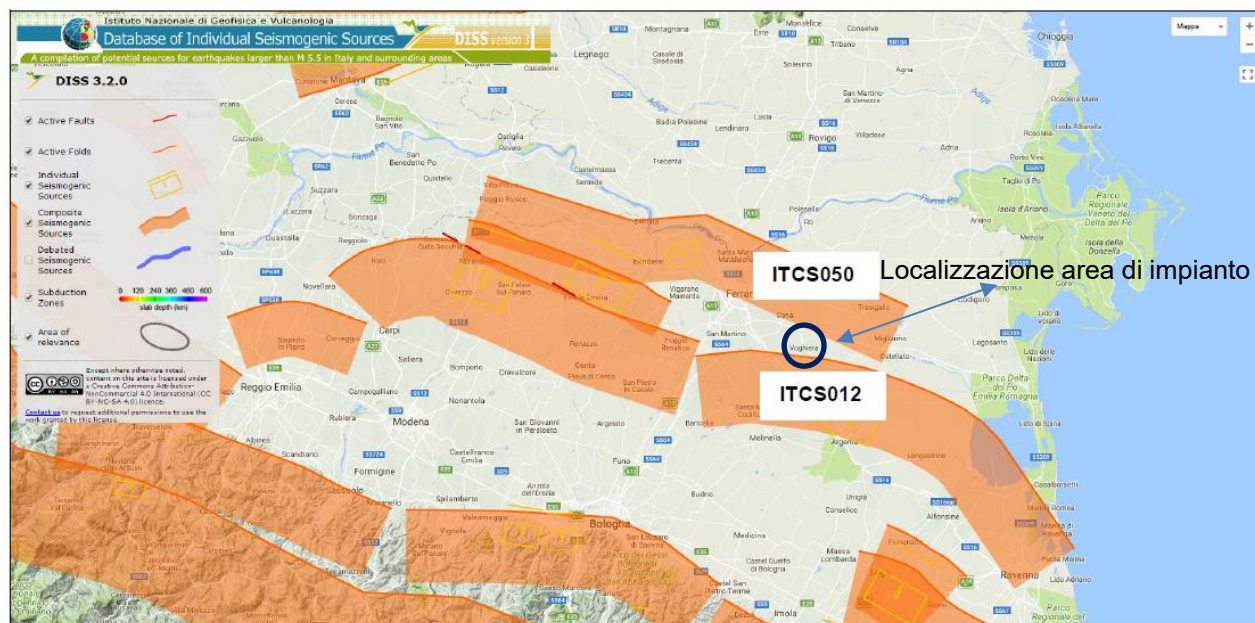


Figura 30 - Mappa delle sorgenti sismogenetiche Database DISS 3.2.0. (<http://diss.rm.ingv.it/dissGM/>)

Di recente vi è stato un aggiornamento del sito dell'INGV, ove sono stati proposti alcuni parametri inerenti le energie sismiche che si possono liberare in queste fasce di sorgente sismo genetica. La sorgente Poggio Rusco-Migliarino e la sorgente Malalbergo-Ravenna (**FIGURA 29**) sembrano capaci di terremoti con magnitudo momento M_w rispettivamente di 6,8 (**FIGURA 30**) e 6,9 (**FIGURA 31**). Questi valori non sono stati per ora recepiti dal Dipartimento di Protezione Civile Nazionale a rappresentare le massime magnitudo attese nelle diverse zone sismo genetiche italiane.

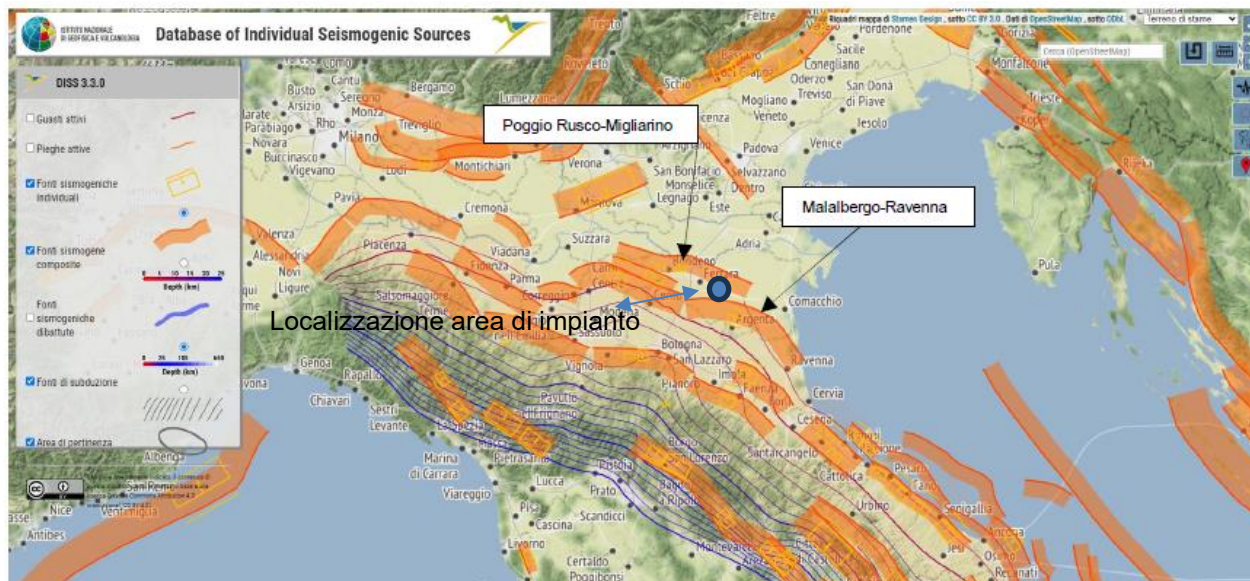


Figura 31 - Mappa delle sorgenti sismogenetiche Database DISS 3.3.0.

<https://diss.ingv.it/diss330/dissmap.html>



ISTITUTO NAZIONALE
DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

Database of Individual Seismogenic Sources

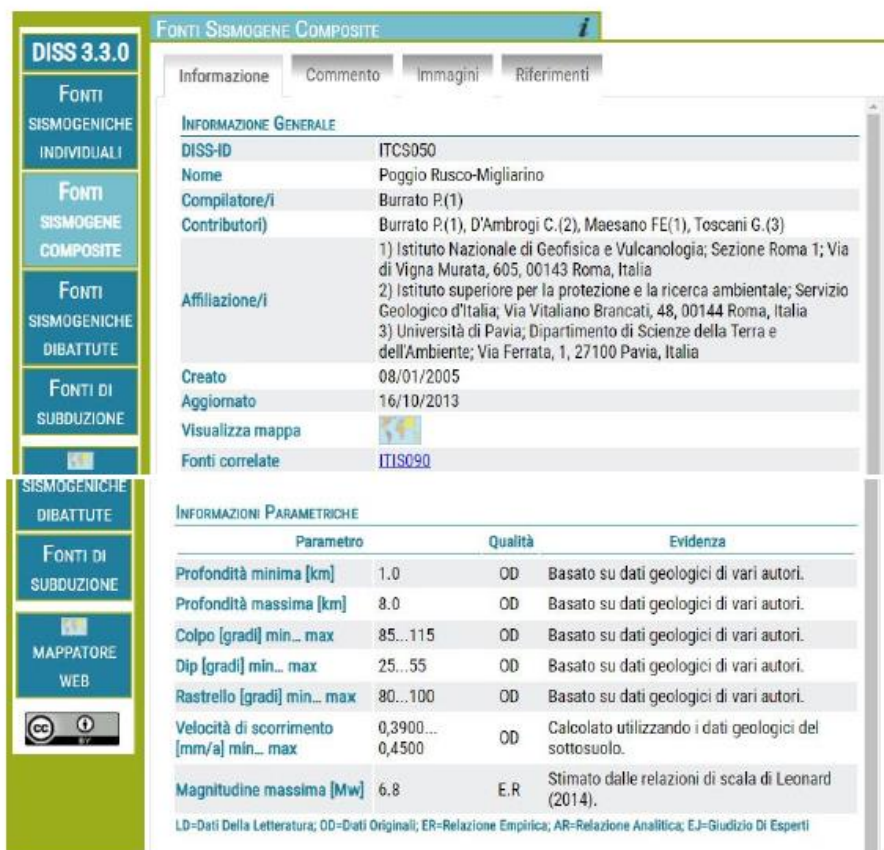


Figura 32 - sorgente sismo genetica Poggio Rusco-Migliarino



DISS 3.3.0

FONTI SISMOGENICHE INDIVIDUALI

FONTI SISMOGENICHE COMPOSITE

FONTI SISMOGENICHE DIBATTUTE

FONTI DI SUBDUZIONE

MAPPATORE WEB

FONTI SISMOGENICHE DIBATTUTE

FONTI DI SUBDUZIONE

MAPPATORE WEB

FONTI SISMOGENICHE COMPOSITE

Informazione

Commento

Immagini

Riferimenti

INFORMAZIONE GENERALE

DISS-ID

Nome

Compilatore/i

Contributori

Affiliazione/i

Creato

Aggiornato

Visualizza mappa

Fonti correlate

INFORMAZIONI PARAMETRICHE

	Parametro	Qualità	Evidenza
Profondità minima [km]	2.0	LD	Sulla base di dati di sismicità strumentale.
Profondità massima [km]	8.0	LD	Sulla base di dati di sismicità strumentale.
Colpo [gradi] min... max	85...150	OD	Sulla base di considerazioni sui dati geologici regionali.
Dip [gradi] min... max	20...40	OD	Sulla base di considerazioni sui dati geologici regionali.
Rastrello [gradi] min... max	80...120	OD	Basato su dati geologici, vincolato dall'orientamento degli assi T.
Velocità di scorrimento [mm/a] min... max	0,4900... 0,5500	LD	Sulla base dei dati geologici di Maesano et al. (2015).
Magnitudine massima [Mw]	6.9	E.R	Stimato dalle relazioni di scala di Leonard (2014).

LD=Dati Della Letteratura; OD=Dati Originali; ER=Relazione Empirica; AR=Relazione Analitica; EJ=Giudizio Di Esperti

Figura 33 - Sorgente sismo genetica Malalbergo-Ravenna

La regione Emilia-Romagna non è esente da attività sismo-tettonica. La sua sismicità può essere definita media rispetto alla sismicità nazionale, poiché i terremoti storici hanno avuto magnitudo massima compresa tra 5,5 e 6 della scala Richter e intensità del IX-X grado della scala MCS. I maggiori terremoti (Magnitudo > 5,5) si sono verificati nel settore sud-orientale, in particolare nell'Appennino Romagnolo e lungo la costa riminese. Altri settori interessati da sismicità frequente ma generalmente di minore energia (Magnitudo < 5,5) sono il margine appenninico-padano tra la Val d'Arda e Bologna, l'arco della dorsale ferrarese e il crinale appenninico. La provincia di Ferrara è caratterizzata da bassi valori di intensità macrosismica nella parte nord-orientale, mentre i settori più sud-occidentali sono contraddistinti da valori più elevati. Nel catalogo online dei terremoti (<https://emidius.mi.ingv.it/CPTI04/ricerca04.php>) si possono caricare i terremoti selezionandoli con criteri di energia e di distanza. Centrando il comune di Voghiera, selezionando un raggio di 30km, selezionando gli eventi con magnitudo Mw>3,92 (FIGURA 32) si ottiene la Tabella 4.



CATALOGO PARAMETRICO DEI TERREMOTI ITALIANI



[Home page](#)

[Presentazione](#)

[Catalogo per
finestre temporali](#)

[Interrogazione per
parametri](#)

[Download](#)

CPTI04 - Interrogazione per parametri

È possibile effettuare una ricerca tra i record del catalogo. Utilizzando l'immagine si possono stabilire la latitudine e la longitudine in caso di ricerca per area circolare o rettangolare.

Seleziona il tipo di area

Inserisci i parametri
Latitudine

Longitudine

Raggio in km

A partire dalla data
Anno / Mese / Giorno
 / /

Fino alla data
Anno / Mese / Giorno
 / /

Intensità epicentrale Io
valore minimo / massimo
da a

Magnitudo momento Mw
valore minimo / massimo
 /

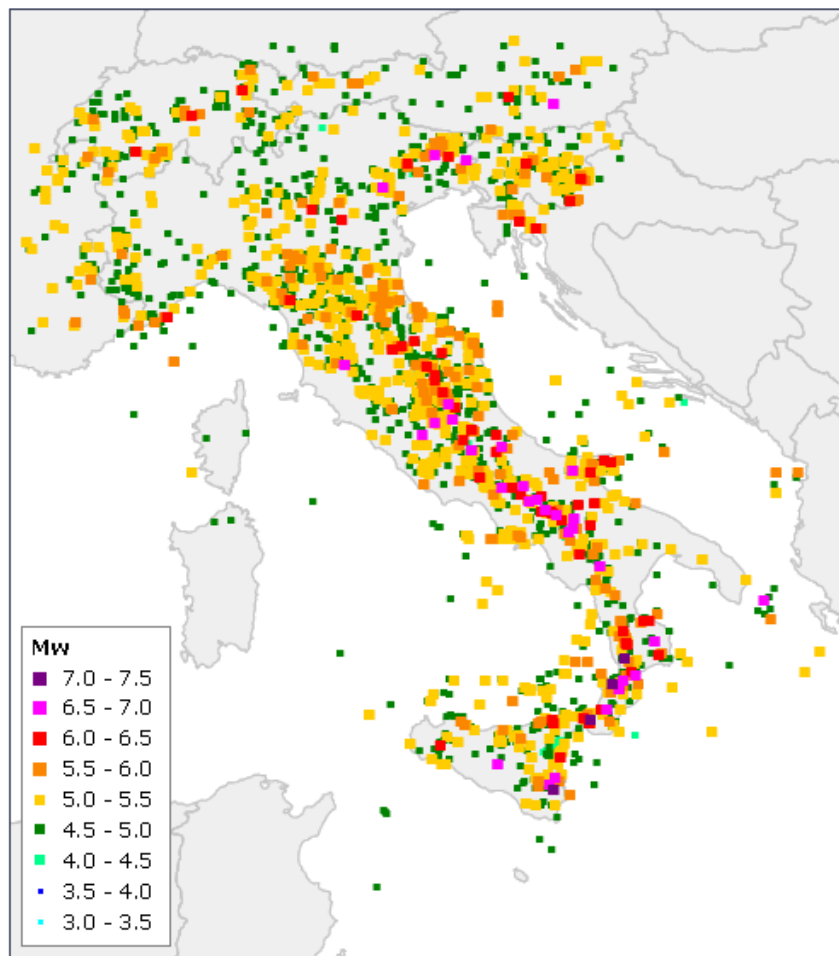


Figura 34 - Criteri di interrogazione adottati



iCube Development I6 s.r.l.



CODE: VOG-PV001-R08_02

PROJECT: VOGHIERA PV001

PAGE
47 di/of 54

CATALOGO PARAMETRICO DEI TERREMOTI ITALIANI



[Nuova ricerca](#)

[Raffina la ricerca](#)

CPTI04 - Risultato dell'interrogazione per parametri

Interrogazione effettuata sui seguenti parametri:

Area circolare con centro C (44.599, 11.539) e raggio 30 km
a partire dal 217/01/01 fino al 2002/12/31

N	Tr	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Se	AE	Rt	Np	Imx	Io	TI	Lat	Lon	TL	Maw	Daw	Tw	Mas	Das	TS	Msp	Dsp	Z59	TZ	Ncft	Nnt	Ncpt
51	DI	1234	3	20				FERRARA	DOM	5	70	70		44.836	11.618	A	5.17	0.30		4.80	0.45		4.99	0.42	912	G		860	51
66	DI	1285	12	13				FERRARA	DOM	2	70	65		44.836	11.618	A	5.03	0.33		4.60	0.49		4.80	0.45	912	G		861	66
84	DI	1323	2	25	19			Bologna	CFTI	5	65	55	M	44.5	11.33	A	4.63	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19	913	G	144	755	84
106	DI	1365	7	25	18			Bologna	CFTI	5	75	65	M	44.5	11.33	A	5.03	0.33		4.60	0.49		4.80	0.45	913	G	159	756	106
131	DI	1410	5	9	22	30		FERRARA	DOM	3	65	65		44.836	11.618	A	5.03	0.33		4.60	0.49		4.80	0.45	912	G		863	131
139	CP	1425	8	10	19			FERRARA SUD	POS85			60		44.833	11.667		4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	912	G		864	139
142	DI	1433	5	4	8	5		Bologna	CFTI	5	70	60	M	44.5	11.33	A	5.03	0.17		4.60	0.25		4.80	0.23	913	G	180	759	142
152	DI	1455	12	20	20	45		Media valle del Reno	CFTI	7	75	70		44.42	11.27	A	5.18	0.25		4.81	0.37		5.00	0.34	913	G	185	761	152
178	DI	1483	3	3	22			FERRARA	DOM	1	55	55		44.836	11.618	A	4.63	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19	912	G		865	178
202	DI	1505	1	3	2			Bologna	CFTI	31	70	70		44.48	11.25	A	5.47	0.09		5.25	0.14		5.41	0.13	913	G	207	762	202
203	DI	1505	5	15				BOLOGNA	DOM	1	55	55		44.498	11.34	A	4.63	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19	913	G		763	203
207	CP	1508	10	18	15			FERRARA SUD	POS85			60		44.833	11.667		4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	912	G		866	207
257	DI	1561	11	24	1	25		Ferrara	CFTI	5	65	55	M	44.78	11.45	A	4.63	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19	912	G	229	867	257
262	DI	1570	11	17	19	10		Ferrara	CFTI	60	80	75		44.82	11.63	A	5.48	0.11		5.27	0.17		5.43	0.16	912	G	231	868	262
323	DI	1624	3	18	19	45		Argenta	CFTI	17	85	75		44.65	11.85	A	5.43	0.22		5.19	0.32		5.35	0.30	912	G	243	870	323
368	CP	1666	4	14	18	58		BOLOGNA	POS85			60		44.5	11.333		4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	913	G		764	368
416	DI	1695	2	28				FERRARA	DOM	1	55	55		44.836	11.618	A	4.63	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19	912	G		871	416
521	DI	1743	5	29				FERRARA	DOM	1	65	65		44.836	11.618	A	5.03	0.33		4.60	0.49		4.80	0.45	912	G		872	521
606	DI	1779	6	4	7			Bolognese	CFTI	12	70	65		44.45	11.52	A	4.97	0.20		4.51	0.29		4.72	0.27	914	G	319	765	606
609	DI	1780	2	6	4			Bolognese	CFTI	7	65	55	M	44.62	11.32	A	4.85	0.11		4.32	0.16		4.54	0.15	912	G	323	766	609
654	DI	1787	7	16	10			Ferrara	CFTI	3	65	55	M	44.83	11.62	A	4.63	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19	912	G	339	873	654
683	DI	1796	10	22	4			Emilia orientale	CFTI	26	70	70		44.62	11.67	A	5.63	0.15		5.48	0.23		5.62	0.23	912	G	352	874	683
692	DI	1801	10	8				BOLOGNA	DOM	1	55	55		44.498	11.34	A	4.63	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19	913	G		767	692
803	DI	1834	10	4	19			Bologna	CFTI	10	60	55	M	44.6	11.37	A	4.63	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19	912	G	384	768	803
1030	DI	1878	3	12	21	26		Bolognese	CFTI	27	60	60		44.42	11.55	A	4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	914	G	426	771	1030
1144	DI	1889	3	8	2	47		BOLOGNA	DOM	32	60	60		44.518	11.237	A	4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	913	G		773	1144
1287	DI	1898	1	16	12	10	5	Romagna settent.	CFTI	73	70	65		44.65	11.77	A	5.03	0.33		4.60	0.49		4.80	0.45	912	G	452	879	1287
1482	CP	1908	6	28	3	19	58	FINALE EMILIA SUD	POS85			60		44.8	11.3		4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	912	G		881	1482
1499	DI	1909	1	13	45			BASSA PADANA	DOM	799	65	65		44.579	11.688	A	5.53	0.05		5.33	0.08		5.48	0.07	912	G		882	1499
1729	DI	1922	5	24	21	17		CENTO	DOM	6	45	35		44.862	11.517	A	4.50	0.14		3.81	0.21		4.07	0.19	912	G		883	1729
2223	CP	1966	5	26	18	7	14	MONTEVEGLIO	POS85			60		44.5	11.2		4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	913	G		776	2223

Numero di record estratti: 31

Tabella 4 - Risultati ottenuti (<https://emidius.mi.ingv.it/CPTI04/ricerca04.php>)

Sulla base dell'aggiornamento della classificazione sismica dei Comuni dell'Emilia-Romagna, il comune di Voghiera, rientra ai sensi del DGR n. 146 del 06/02/2023, nella Zona Sismica 3.

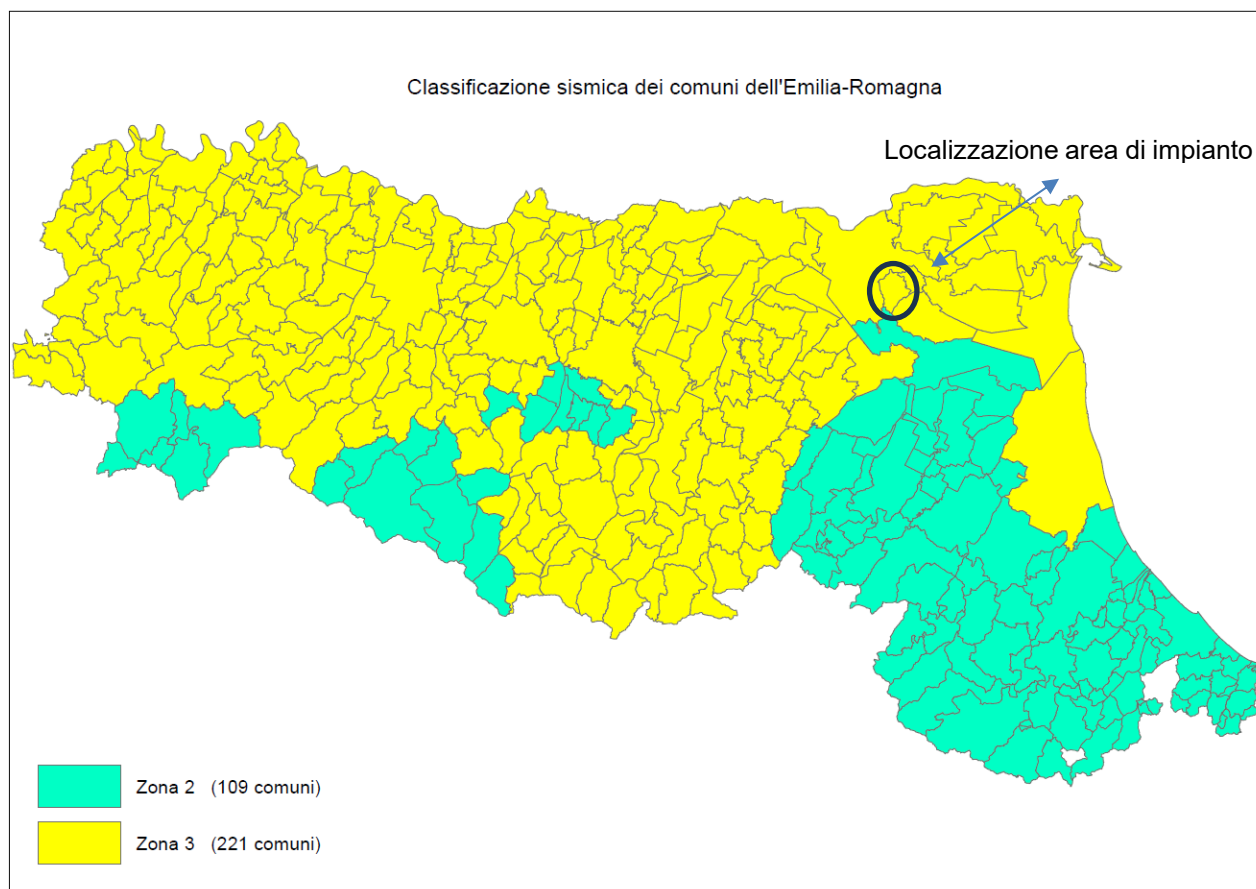
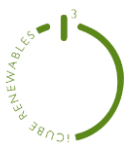


Figura 35 – Classificazione sismica regione Emilia Romagna - DGR n. 146 del 06/02/2023

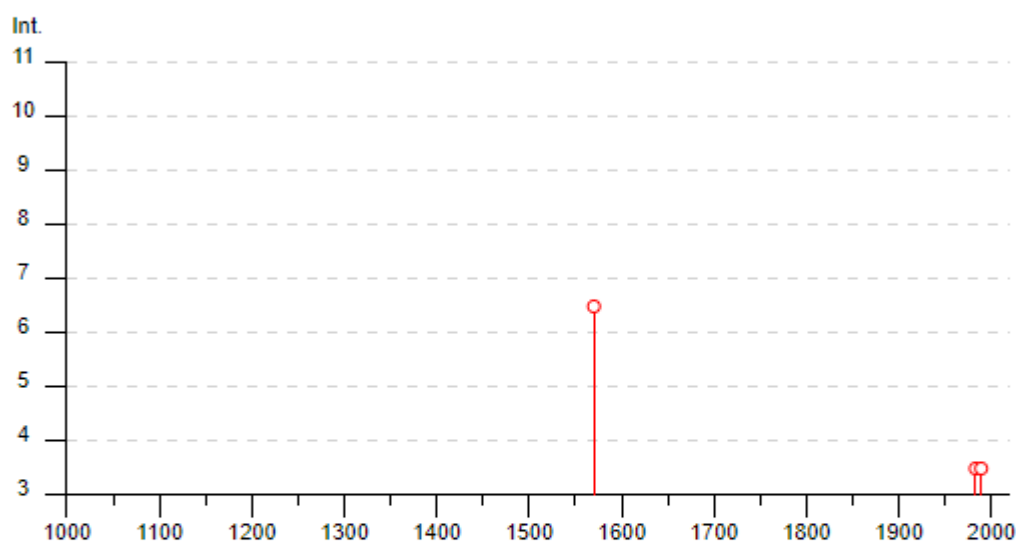


Di seguito si riporta la storia sismica del comune di Voghiera come da dati del CPTI15.

Voghiera



PlaceID IT_41050
Coordinate (lat, lon) 44.757, 11.750
Comune (ISTAT 2015) Voghiera
Provincia Ferrara
Regione Emilia-Romagna
Numero di eventi riportati 8



Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
6-7	1570	11	17	19	10		Ferrarese	58	7-8	5.44
3-4	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04
2-3	1986	12	06	17	07	1	Ferrarese	604	6	4.43
3-4	1989	09	13	21	54	0	Prealpi Vicentine	779	6-7	4.85
NF	2000	05	06	22	07	0	Faentino	85	5	4.08
NF	2000	05	10	16	52	1	Faentino	151	5-6	4.82
NF	2002	11	02	10	57	4	Ferrarese	79	4	4.21
NF	2005	07	15	15	17	1	Forlivese	173	4-5	4.29

Tabella 5 - Catalogo dei terremoti più forti che hanno interessato il territorio comunale di Voghiera.



8.1 MODELLAZIONE SISMICA DI SITO

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, la normativa NTC 2018 prevede che, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili ad un serie di categorie tabulate, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s , i quali costituiscono parte integrante del caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo.

Ai fini della valutazione degli effetti sismici locali è stata eseguita un'apposita indagine sismica, mediante tecnica MASW, per la determinazione del parametro V_{sEQ} e della categoria del sottosuolo di fondazione (Tab. 3.2.II del D.M. 17/01/2018).

$$V_{sEQ} = \frac{H}{\sum_1^n \frac{h_i}{V_i}}$$

Dove h_i e V_i indicano lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i -esimo per un totale di n strati presenti ad una profondità H del substrato geologico con $V_s > 800$ m/s

L'elaborazione della prova sismica Masw, eseguita appositamente per la definizione della categoria del sottosuolo di fondazione nel sito di costruzione, (con la metodologia delle V_{sEQ}), ha determinato una velocità media pesata V_{sEQ} di 283 m/s dal p.c.

La vigente normativa (D.M. 17/01/2018) prevede che il calcolo delle V_{sEQ} venga fatto considerando solo i terreni con velocità delle onde di taglio $V_s < 800$ m/s; nel caso specifico il substrato geologico non è stato individuato nei primi 30 metri dal p.c. e pertanto il calcolo della V_{sEQ} si riduce nella formula ad essere V_{s30} .

Prospezione sismica	V_{s30} (m/s)	Categoria Suoli di Fondazione (D.M. 17/01/2018)
MASW	283.00	C

Mentre per quanto riguarda la categoria topografica il sito ricade nella Categoria Topografica T1 = Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $< 15^\circ$.



8.2 AZIONI SISMICHE DI PROGETTO

La valutazione delle azioni sismiche di progetto verrà effettuata dal progettista secondo i dettami del recente D.M. del 17 gennaio 2018 (Nuove NTC), utilizzando come base di partenza i dati scaturiti dall'indagine geofisica illustrata nella presente relazione sismica.

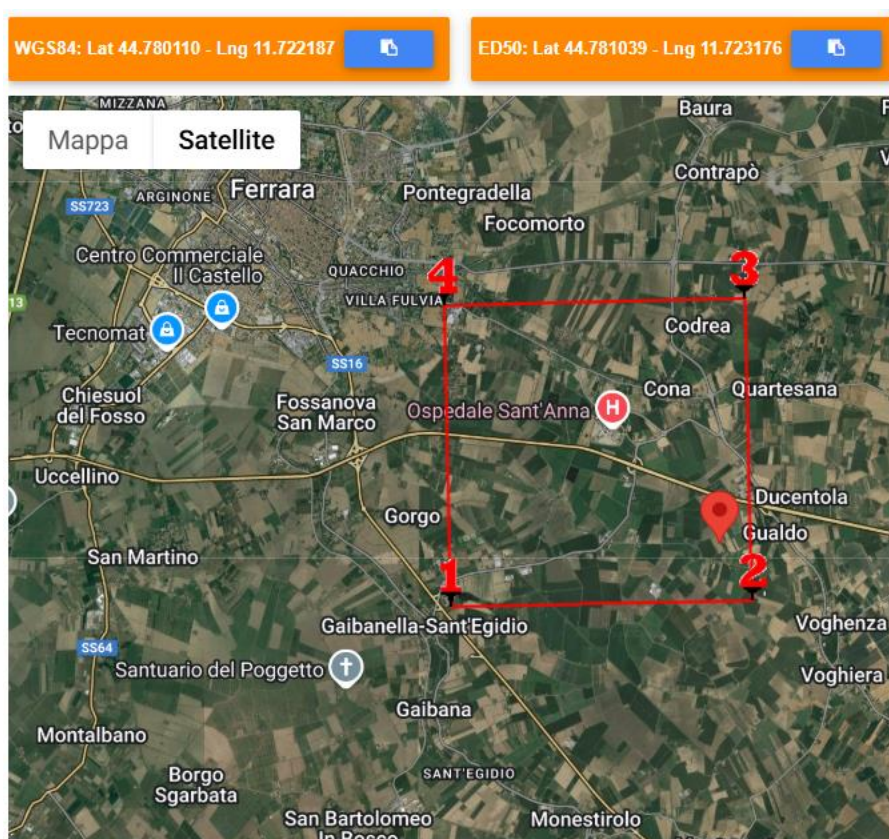
A tale riguardo, oltre a prevedere la valutazione dell'azione sismica attraverso gli spettri di progetto elastici del terreno (§3.2.3.2 delle nuove NTC), la normativa prevede l'impiego di accelerogrammi per la verifica degli stati limite ultimo e di esercizio; resta tuttavia discrezione del progettista la metodologia da utilizzare in fase di verifica delle strutture.

Ovviamente gli spettri di risposta elastici (o gli accelerogrammi) che verranno ottenuti all'analisi delle azioni sismiche dovranno essere rappresentativi delle componenti (orizzontale e verticale) delle azioni sismiche di progetto per la tipologia di sito individuata nell'area oggetto di indagine.

Nello specifico si forniscono al progettista tutti i dati ed i parametri di interesse prettamente geofisico al fine di valutare le azioni sismiche di progetto nei modi previsti dalla normativa vigente.

Categoria di sottosuolo (Tab. 3.2.II) C

Categoria Topografica (Tab. 3.2.IV) T1





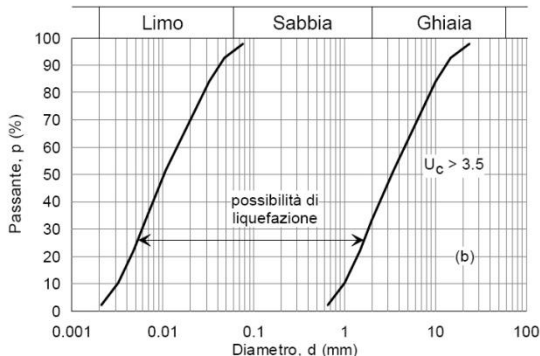
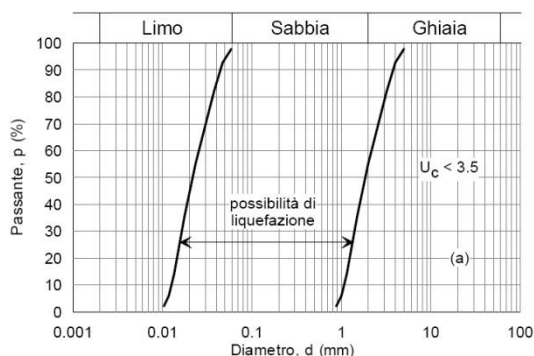
* coordinate geografiche per definire la pericolosità sismica di base in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g

Gli spettri di risposta elastici (o gli accelerogrammi) ottenuti saranno rappresentativi delle componenti (orizzontale e verticale) delle azioni sismiche di progetto per la tipologia di sito (**categoria di suolo C – categoria topografica T1**) individuata nelle rispettive aree oggetto di indagine.

Il sito in oggetto deve essere stabile nei confronti della **liquefazione sismica**, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumuli di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate (§7.11.3.4 nuove NTC).

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- Accelerazioni massime attese al p.c. in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1 g.
- Profondità media stagionale della falda superiore a 15 metri dal p.c., per p.c. sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali.
- Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1n} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (SPT) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 Kpa e q_{c1n} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (CPT) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 Kpa.
- Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nelle figure seguenti, nel caso rispettivamente di terreni con coefficiente di uniformità U_c minore e maggiore di 3,5.



Quando nessuna delle condizioni sopra elencate risulti soddisfatta e il terreno comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sottofalda, occorre valutare il coefficiente di sicurezza alla liquefazione alle profondità in cui sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili.



Nel caso specifico, la situazione oggetto di questo studio non rientra in nessuna delle circostanze sopracitate, per cui le verifiche a liquefazione non possono essere omesse. Si riporta, di seguito, la verifica a liquefazione effettuata con il software Geostru.

I metodi semplificati si basano sul rapporto che intercorre fra le sollecitazioni di taglio che producono liquefazione e quelle indotte dal terremoto; hanno perciò bisogno di valutare i parametri relativi sia all'evento sismico sia al deposito, determinati questi ultimi privilegiando metodi basati su correlazioni della resistenza alla liquefazione con parametri desunti da prove in situ. La resistenza del deposito alla liquefazione viene quindi valutata in termini di fattore di resistenza alla liquefazione $(1.0) F_s = CRR / CSR$ dove CRR (Cyclic Resistance Ratio) indica la resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclico e CSR (Cyclic Stress Ratio) la sollecitazione di taglio massima indotta dal sisma. I metodi semplificati proposti differiscono fra loro soprattutto per il modo con cui viene ricavata CRR, la resistenza alla liquefazione. Il parametro maggiormente utilizzato è il numero dei colpi nella prova SPT anche se oggi, con il progredire delle conoscenze, si preferisce valutare il potenziale di liquefazione utilizzando prove statiche (CPT) o prove di misurazione delle onde di taglio Vs. Questi metodi sono in genere utilizzati per la progettazione di opere di media importanza.

Input dati:

Profondità di calcolo	1.60	m
Profondità della falda dal p. c.	1.50	m
Peso di volume del terreno	13.6	kN/m ³
Numero di colpi SPT	1	-
Frazione argillosa	0.5	%
Accelerazione sismica massima	0,05	g
Magnitudo	6	-
Fattore imposto dalla normativa	1.2	-
Tipo di deposito:	Sabbie limose	
Consistenza del deposito:	Sabbie sciolte	

Seed & Idriss

Pressione totale del terreno	21.76	kPa
Pressione efficace del terreno	21.66	kPa
Fattore correttivo per la frazione argillosa	0.00	-
Numero di colpi standard corretto	1.8461	
Resistenza alla liquefazione (CRR)	0.0565	
Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	0.0319	
Coefficiente di sicurezza ($F_s = CRR / CSR$)	1.7737	

Il deposito non è liquefacibile



9.0 CONCLUSIONI

Le previsioni edilizie in progetto, sono state valutate secondo il grado di approfondimento previsto dalla normativa vigente, e risultano eseguibili senza particolari limitazioni di fattibilità geologica.

I risultati dello studio geologico e geomorfologico eseguito sui terreni interessati dalle opere in progetto possono essere sintetizzati nei seguenti punti:

- dal punto di vista geomorfologico l'area progettuale ricade in aree pianeggianti in cui non sono state riscontrate evidenze geomorfologiche tali da originare effetti di amplificazioni locali o fenomeni di cedimenti differenziali;
- La stabilità dell'area investigata ed il suo originario assetto idrogeologico, nonché il regime generale di deflusso delle acque superficiali e sotterranee non viene turbato dall'insediamento delle opere di cui al presente progetto;
- L'area è classificata dal punto di vista sismico come zona di 3;
- Le caratteristiche geomeccaniche dei terreni interessati dalle fondazioni sono idonee a sopportare i carichi in relazione alle opere in progetto;
- Dal punto di vista litologico le opere progettuali interessano più litotipi, la cui distribuzione è ampiamente chiara nei profili geolitologici delle indagini disponibili;
- La litologia e la stratigrafia dei terreni di fondazione fanno appartenere il suolo di fondazione alla categoria "C";
- La morfologia topografica fa ricadere il sito, pianeggiante e/o versanti con inclinazione media $i < 15^\circ$, nella classe T1.
- Dalla sovrapposizione del sito in questione con il P.A.I. (Piano per l'Assetto Idrogeologico) si può escludere con sicurezza qualsiasi fenomeno di dissesto e/o di rischio idraulico.

Il Geologo
Dott. Daniele Pipicelli