

PROGETTO DELLA CENTRALE SOLARE

"Energia del Panaro"

da 83,2 MWp - Finale Emilia (MO)

GR03

PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE SISMICA



Proponente

ENGIE FINALE EMILIA S.r.l.

Via Chiese, 72, 20126 Milano MI



Progetto dell'inserimento paesaggistico e mitigazione

Coordinamento alla progettazione: Dott. Agr. Fabrizio Cembalo Sambiase,
Arch. Alessandro Visalli, Arch. Riccardo Festa

Progettisti: Arch. Paola Ferraioli, Arch. Anna Manzo

Collaboratori: Dott. Carmine Perna, Dott. Agr. Giuseppe Maria Massa,
Dott. Agr. Francesco Palombo, Dott. Agr. Vincenzo Meola
Urb. Patrizia Ruggiero, Arch. Ilaria Garzillo, Marco Chezzi



AEDES GROUP

ENGINEERING

Progettazione elettrica e civile

Progettisti: Ing. Rolando Roberto, Ing. Giselle Roberto

Collaboratori: Ing. Giuseppe Fava, Ing. Filippo Angarano,
Ing. Karim Ait Hamd, Ing. Marco Balzano,
Ing. Simone Bonacini



MARE

RINNOVABILI

Progettazione mandorleto superintensivo

Progettisti: Dott. Agr. Fabrizio Cembalo Sambiase, Dott. Agr. Giuseppe Maria Massa,
Dott. Agr. Francesco Palombo

Consulenza geologica

Geol. Gaetano Ciccarelli

Consulenza archeologica

GeA Archeologia Preventiva

Consulenza agronomica

iGreen System, Imola



08 • 2025

rev	descrizione	formato	elaborazione	controllo	approvazione
00	Prima consegna	A4	Carmine Perna	Gaetano Ciccarelli	Fabrizio Cembalo Sambiase
01					
02					
03					
04					
05					
06					
07					

SOMMARIO

1	Premessa	3
2	Inquadramento geografico	4
2.1	Coerenza dello studio con le norme vigenti.....	6
2.2	Documenti di riferimento	7
2.3	Normativa di riferimento	8
3	Assetto fisico e geologico	10
3.1	Quadro tettonico generale	11
3.2	Quadro geologico di riferimento.....	15
3.2.1	Subsintema di Ravenna (AES ₈) e unità di Modena (AES _{8a}).....	17
4	Indagini di riferimento	19
5	Pericolosità sismica	21
5.1	Sismicità storica ed hazard sismico	21
5.1.1	La sequenza sismica del 2012.....	24
5.2	Hazard sismico	28
5.3	Classificazione Sismica.....	29
5.4	Magnitudo di riferimento	33
5.5	Parametri per la determinazione dell'azione sismica di riferimento.....	38
5.5.1	Categoria di sottosuolo e frequenza propria di sito.....	38
5.5.2	Condizioni topografiche.....	38
5.6	Pericolosità sismica del sito	39
5.6.1	Porzione ovest dell'impianto (Loc. Area industriale e loc. stazione elettrica)	39

5.6.2	Porzione est dell'impianto (loc. le Casette)	43
5.7	Verifica a liquefazione	47
6	Conclusioni	52
7	Limitazioni	54
8	Bibliografia	56

1 Premessa

La presente relazione sismica espone le risultanze degli studi geologici, geologico-tecnici e geosismici a supporto del progetto definitivo dell'impianto agrivoltaico "Energia del Panaro" da 83.2 MWp nel tenimento comunale di Finale Emilia (MO).

Lo studio, in ossequio alle vigenti norme, definisce le caratteristiche geologiche, geotecniche e del rischio sismico locale della zona interessata dai lavori, compreso gli scenari di rischio in base ai vigenti piani di assetto idrogeologico.

I temi affrontati dallo studio alla scala locale sono stati inquadrati nel contesto generale del territorio prendendo come riferimento la bibliografia relativa alle note illustrative della Carta Geologica d'Italia 1:100.000, ovvero, del foglio n. 75 Mirandola e del Foglio n. 184 Mirandola della Carta Geologica d'Italia del Progetto CARG in scala 1:50.000 allo stato attuale in corso di realizzazione.

Lo studio è stato sviluppato secondo il seguente programma:

- Indagine bibliografica e documentaristica per l'inquadramento geografico e territoriale dell'area in esame;
- Studio ed analisi della cartografia e bibliografia geologica per la definizione delle caratteristiche geologiche tecniche e stratigrafiche;
- Analisi della sismicità storica e del rischio sismico locale;
- Analisi dei dati delle indagini di riferimento e modellazione geotecnica del sottosuolo;
- Modellazione geotecnica e sismica del sito.

2 Inquadramento geografico

L'impianto agrivoltaico "Energia del Panaro" oggetto di studio, è dislocato in n°3 porzioni situate rispettivamente, a sud-ovest del centro abitato di Finale Emilia nei pressi del Polo Industriale, a nord-est del centro abitato alla località Le Casette ed infine a nord-ovest rispetto al centro abitato nei pressi della Stazione Elettrica "Terna".

La porzione relativa al Polo Industriale si trova alle seguenti coordinate:

- Latitudine: 44°49'15.66"N;
- Longitudine: 11°15'38.24"E.

Le coordinate della porzione di impianto in località Le Casette sono le seguenti:

- Latitudine: 44°50'38.76"N;
- Longitudine: 11°20'2.94"E.

Le coordinate della porzione di impianto in prossimità della Stazione Elettrica "Terna" sono le seguenti:

- Latitudine: 44°51'23.94"N;
- Longitudine: 11°14'35.95"E.

Il sito di studio è inserito in un contesto agricolo e principalmente pianeggiante, infatti, da un punto di vista Geomorfologico rientra nell'ambito del grande bacino alluvionale del Po, nota anche come "Pianura Padana", schiacciata tra le alpi a nord e l'appennino a sud-ovest. Nel territorio Comunale di Finale Emilia si ha già la presenza, infatti, di diversi impianti fotovoltaici sia già realizzati che in fase di progettazione, vista la conformazione adatta del territorio.

Dal punto di vista geografico il territorio comunale di Finale Emilia presenta una altitudine media di 15 m s.l.m. difatti, le aree afferenti all'impianto di progetto presentano un'altitudine massima di 16 m s.l.m. ed un'altitudine minima di 10 m. s.l.m..

Nel dettaglio l'area di studio, osservabile nelle figure seguenti, presenta una quota media di circa 14 metri s.l.m.

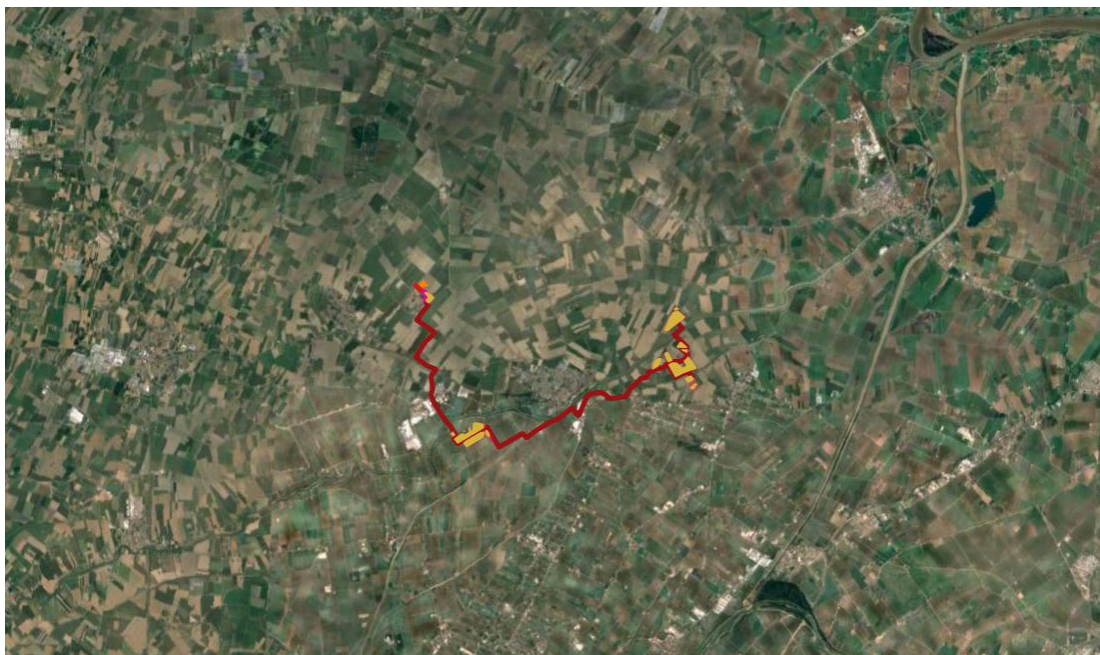


Figura 1 - Inquadramento geografico generale dell'area in esame, Google Satellite

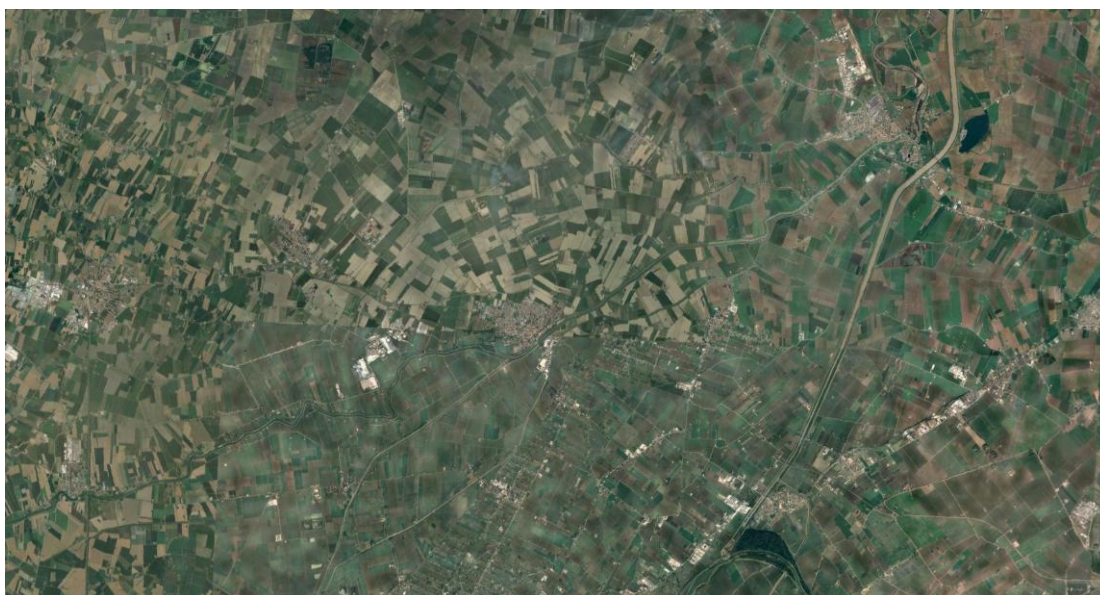


Figura 2 - Google Satellite – Vista stato di fatto del sito



Figura 3 - Google Satellite – Vista del sito con l'ipotesi di progetto

2.1 Coerenza dello studio con le norme vigenti

Gli studi sono stati condotti nel rispetto delle indicazioni contenute nell'art. 41 del D.P.R. 328/01, nelle “Norme Tecniche per le Costruzioni” NTC 2018 approvate con il decreto MIT del 17.01.2018, pubblicate sulla Serie Generale n. 42 del 20.02.2018 in vigore dal 22.03.2018, e nel Regolamento Regionale n. 26 del 26.10.2020 (“Regolamento regionale per la semplificazione e l'aggiornamento delle procedure per l'esercizio delle funzioni regionali in materia di prevenzione del rischio sismico.

Con riferimento al § C 10.1 della Circ. Min. Infr. 7 del 21.01.2019 (S.O. n. 5 G.U. n. 35 dell'11.02.2019) recante “Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al D.M. 17 gennaio 2018”, la presente contiene la “relazione geologica sulle indagini, la caratterizzazione e la modellazione geologica del sito” (§ 6.2.1 delle NTC e § C 6.2.1 della Circolare) e la “relazione sulla modellazione sismica concernente la pericolosità sismica di base del sito di costruzione” (§ 3.2 delle NTC e § C 3.2 della Circolare) e si pone a compendio della documentazione per l'ottenimento dell'autorizzazione sismica in conformità a quanto previsto dagli articoli 93 e 94 del D.P.R. 380/2001.

In base alla classificazione sismica del Comune di Finale Emilia (Zona 3 ai sensi della D.G.R. Emilia-Romagna n. 1164/2018) e alla tipologia di progetto, la Classe d'Uso è pari a IV ai sensi del § 2.4.2 delle NTC2018, sì che si definisce l'opera come rilevante (art. 4 c.2, lett. b, Tab. A, e art. 7, RR2020) e in una zona sismica con pericolosità bassa, che può essere soggetta a scuotimenti modesti.

Si ritiene, pertanto, adeguato la tipologia ed il numero di indagini di riferimento e quindi anche lo studio geologico del sito e la modellazione sismica, in relazione alla stessa complessità geologica, alle finalità progettuali e alle peculiarità dello scenario territoriale ed ambientale. Giudichi il progettista delle strutture, responsabile secondo la vigente normativa in merito, se il suddetto programma di indagini risulta essere adeguato e sufficiente anche per le modellazioni geotecniche, in relazione alle caratteristiche dell'opera in progetto e alle caratteristiche del sottosuolo indagate in questa relazione. Lo scrivente sarà prontamente disponibile a curare eventuali integrazioni della campagna di indagini geotecniche, qualora il progettista lo ritenesse opportuno.

2.2 Documenti di riferimento

Per lo studio geologico-tecnico sono stati utilizzati i dati contenuti nei documenti di seguito elencati.

In ottemperanza alle NTC2018 e per la tipologia di opere da realizzare, le indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche di riferimento utilizzate nell'ambito del presente studio sono riportate nei documenti sottoelencati.

Nr. Rif.	Titolo documento	Autore	Anno
1	Foglio 75 Mirandola Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000	Servizio Geologico Italia	1955
2	Foglio 184 Mirandola Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000	Progetto CARG	2024
3	Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po	Autorità di Bacino distrettuale	2024
4	Elaborati PRG Comune di Finale Emilia	Comune di Finale Emilia – autori vari	Vari
5	Relazione geologica “Progetto per la realizzazione e l'esercizio di un parco agrifotovoltaico “Valletta”	Dott. Geologo Eugenio Martire	2024

Tabella 1 – Documenti di riferimento

I documenti prodotti nell'ambito del presente lavoro sono:

Sigla	Titolo documento	Elaborazione	Anno
G_R01	Relazione geologica	Carmine Perna	2025
G_R02	Relazione geotecnica	Carmine Perna	2025
G_R03	Relazione sismica	Carmine Perna	2025
G_R04	Relazione metodologica idrogeologica e di invarianza idraulica	Claudio Grillo	2025
G_01	Inquadramento geologico area di progetto e tracciato elettrodotto	Carmine Perna	2025
G_02	Inquadramento geomorfologico area di progetto e tracciato elettrodotto	Carmine Perna	2025
G_03	Inquadramento area di progetto e tracciato elettrodotto su PAI	Carmine Perna	2025
G_04	Inquadramento area di progetto e tracciato elettrodotto su PGRA - RP	Carmine Perna	2025
G_05	Inquadramento area di progetto e tracciato elettrodotto su PGRA - RSP	Carmine Perna	2025
G_06	Inquadramento area di progetto e tracciato elettrodotto su PTA	Carmine Perna	2025

Tabella 2 – Elaborati prodotti

2.3 Normativa di riferimento

Il quadro normativo di riferimento a cui risponde lo studio eseguito è così costituito:

- 81-2012-IEEE (Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Grounding System).
- EN 1997 - Eurocode 7: Geotechnical design. Part 1: General rules.
- EN 1997 - Eurocode 7: Geotechnical design. Part 2: Ground investigation and testing.
- EN 1997 - Eurocode 7: Part 3: Design assisted by field testing.
- Legge 02 febbraio 1974, n. 64. Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- Decreto del Ministero dei Lavori Pubblici 11 marzo 1988. Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Coordinato con la Circolare del Ministero Lavori Pubblici, 24 settembre 1988, n. 30483 - Istruzioni per l'applicazione.

- Ord.P.C.M. del 20 marzo 2003 n. 3274. Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica. e documenti correlati.
- D.M. 14 gennaio 2008 Ministero delle Infrastrutture e Trasporti - Norme Tecniche per le Costruzioni
- DPR 6 giugno 2001, n.380. Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia (Testo A)
- Circolare 2 febbraio 2009, n. 617. Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.
- Circolare 11 dicembre 2009. Entrata in vigore delle norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008. Circolare 5 agosto 2009 - Ulteriori considerazioni esplicative
- D.G.R. Lazio n.545 del 26 Novembre 2010. Linee guida per l'utilizzo degli indirizzi e criteri generali per gli studi di Microzonazione Sismica nel territorio della Regione Lazio e s.m.
- D.G.R. del 5 luglio 2016 n.375. Snellimento delle procedure per l'esercizio delle funzioni regionali in materia di prevenzione del rischio sismico
- "Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC)" aggiornate ai sensi del DPCM del Ministro delle infrastrutture e dei trasporti DEL 17 gennaio 2018 e successive modifiche;
- L.R. n.12 del 18/12/2018 "Disposizioni in materia di prevenzione e riduzione del rischio sismico. Ulteriori disposizioni per la semplificazione e l'accelerazione degli interventi di ricostruzione delle aree colpite dagli eventi sismici del 2016 e successivi".
- DGR del 23/07/2019, n. 493 recante "Modifica deliberazione di Giunta regionale 22 maggio 2009 n. 387 concernente "Nuova classificazione sismica del territorio della Regione Lazio in applicazione dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006 e della DGR Lazio 766/03", come modificata dalla deliberazione di Giunta regionale 17 ottobre 2012, n. 489."
- Regolamento regionale 26 Ottobre 2020 n. 26 - BUR 27 ottobre 2020, n. 129 - Regolamento regionale per la semplificazione e l'aggiornamento delle procedure per l'esercizio delle

funzioni regionali in materia di prevenzione del rischio sismico. Abrogazione del regolamento regionale 13 luglio 2016, n.14 e successive modifiche.

3 Assetto fisico e geologico

Da un punto di vista geologico il territorio di studio e nella fattispecie l'area di nostro interesse ricade nel comune di Finale Emilia che si colloca nella bassa pianura modenese, in sinistra e destra idrografica del Fiume Panaro; costituisce l'estrema parte nord-orientale della provincia di Modena. Tutte le strutture ricadono completamente ed esclusivamente nel comune di Finale Emilia, ed in particolare una porzione dell'impianto è situata in località Polo Industriale (ad ovest), una in prossimità della stazione elettrica "Terna" e lo zuccherificio (nord ovest) e l'altra in località Le Casette (ad est). Le aree si collocano in territori agricoli in cui sono presenti edifici e nuclei rurali sparsi, alcuni dei quali disabitati, e dove le attività produttive più diffuse sono quella agricola e l'allevamento ittico. Dal punto di vista infrastrutturale la viabilità prossima alle aree in esame è principalmente di tipo comunale, con la presenza di una intrecciata rete di strade bianche e carraie che delimitano i vari appezzamenti di terreno, la viabilità che attraversa le aree interne è per la maggior parte dei casi non adeguata a sostenere il traffico di mezzi pesanti, sia in termini di dimensioni che di fondo stradale.

L'evoluzione geologica del territorio di Finale Emilia va necessariamente inquadrata in un contesto regionale; essa ricade nella parte centro-meridionale della Pianura Padana, che costituisce dal punto di vista geologico, un grande bacino subsidente plio-quadernario di tipo sedimentario, che comincia a delinearsi sin dall'inizio del Triassico (225 milioni di anni fa) e viene interessato da subsidenza differenziata sia nel tempo che nello spazio, in diversi periodi (Mesozoico, Cenozoico, ma soprattutto Pliocene e Quaternario), con movimenti verticali controllati dai caratteri strutturali presenti in profondità.

La formazione della piana alluvionale, che oggi costituisce la Pianura Padana, si considera relativamente recente; infatti, fino a circa 1 milione di anni fa l'area era completamente occupata dal mare e, in particolare, costituiva la propaggine occidentale del Mar Adriatico. L'alternanza di cicli deposizionali trasgressivo/regressivi e il recente, graduale ritiro del mare dovuto alla progradazione

dei sistemi deltizi, condizionato dalle oscillazioni eustatiche, ha fatto sì che, alla fine del Pleistocene superiore, l'Adriatico venisse ad occupare la sua posizione attuale. La piana, lasciata libera dal mare, è stata colmata da depositi continentali che hanno ricoperto i depositi marini prevalentemente pliocenici responsabili del mascheramento delle strutture profonde che sono note solo grazie alle tecniche di ricerca di idrocarburi (Agip Mineraria, 1959; Pieri e Groppi, 1981; Mattavelli e Altri, 1983; Dondi, 1985; Cassano e Altri, 1986; Dondi e D'Andrea, 1987). Geologicamente la Pianura Padana è un bacino sedimentario terziario posto sulla terminazione settentrionale del blocco adriatico-pugliese, compreso tra le strutture sud-vergenti delle "Alpi Meridionali" e le strutture appenniniche nord-vergenti e, per questo, sottoposto alla compressione esercitata da entrambe le opposte catene. Il limite orografico delle due catene montuose corrisponde ai margini della Pianura Padana, ma il limite strutturale di tali catene si trova ben al di sotto dei sedimenti continentali di questa. Dal punto di vista strutturale la Pianura Padana non costituisce una unità omogenea: fanno infatti parte del suo sottosuolo le pieghe più esterne dell'Appennino settentrionale e delle Alpi meridionali lombarde, l'avampaese comune alle due catene e, nel Veneto, l'avampaese delle Alpi meridionali orientali e della catena dinarica; su questi elementi è impostata l'avanfossa pliocenico-quadernaria dell'Appennino.

3.1 Quadro tettonico generale

Come evidente dalla figura 4 si ha la presenza di un ampio bacino, fortemente subsidente ed attivo sin dal Plio-Pleistocene, che si estende tra Carpi e Cento di Ferrara, denominato "Bacino di Carpi" o meglio noto come "Sinclinale di Bologna-Bomporto-Reggio Emilia, collocata tra due grandi archi di pieghe, che costituiscono la porzione più esterna dell'Appennino settentrionale, rappresentati dalle "Zona delle pieghe pedeappenniniche", a sud, più prossime alla catena appenninica, e dalla "Dorsale di Ferrara", a nord; quest'ultima è caratterizzata da un'ampia struttura anticlinale molto evidente ed elevata, che corre da Massa Finalese a Mirandola, con direzione complessiva E/SE-N/NW e che, in corrispondenza di Novi di Modena e Correggio, subisce una decisa inflessione verso sud, con andamento SE-NW. Lungo tali allineamenti, lo spessore dei depositi quaternari subisce una notevole riduzione, sino a poche decine di metri (80/90 m).

ELEMENTI TETTONICI

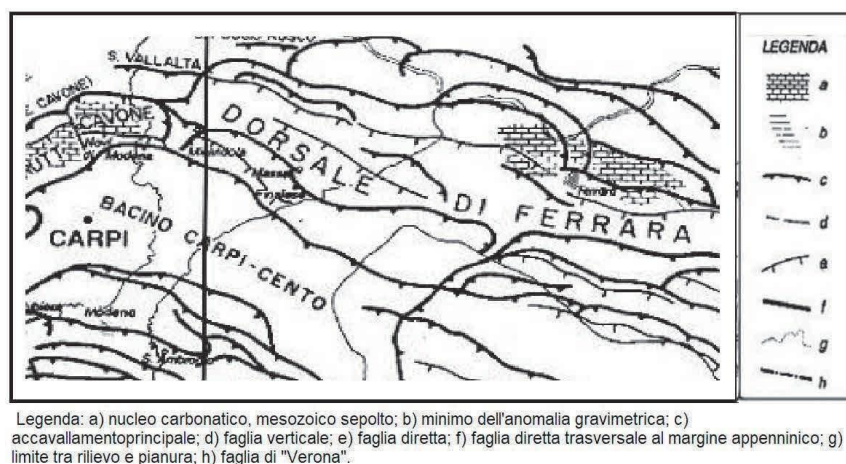


Figura 4 – Carta degli elementi tettonici dell'area Padana centro-orientale

In termini generali ed in modo schematico possiamo individuare tre zone principali:

- "Zona delle pieghe pedeappenniniche": dal margine collinare alla Via Emilia, costituita da una successione di sinclinali ed anticlinali, con asse a vergenza appenninica, spesso fagliate e sovrascorse sul fianco Nord;
- "Zona della Sinclinale di Bologna-Bomporto-Reggio Emilia": dove i depositi quaternari raggiungono il loro massimo spessore per tutta la pianura Padana;
- "Zona della Dorsale Ferrarese": alto strutturale costituito da una serie di pieghe associate a faglie dove, in talune culminazioni, lo spessore del Quaternario si riduce a poche decine di metri.

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. Nel sottosuolo dell'area di Finale Emilia-S.Felice sul Panaro si rinviene l'ala settentrionale dell'anticlinale Ferrarese, che poco a ovest raggiunge una delle massime culminazioni assiali con quote del tetto del quaternario marino a -100/-200 m dal piano campagna.

I movimenti tettonici che hanno interessato la regione delle Pieghe Pedeappenniniche risultano essersi verificati anche in tempi recenti, denunciando un'attività neotettonica confermata anche dalle migrazioni verso ovest dei fiumi che hanno attraversato l'area. Il territorio in esame è inoltre attraversato da un sovrascorrimento esteso secondo l'allineamento Novi-Mirandola-Bondeno, interessato da ulteriori dislocazioni che talvolta si ripercuotono nei sedimenti alluvionali che li ricoprono, generando, probabilmente, la risalita delle acque salate, testimoniata dalla presenza della base delle acque dolci anche a circa 40/80 m dal p.c. Al di sopra di queste strutture che caratterizzano l'assetto tettonico della base pliocenica, si succedono i depositi alluvionali del Po e dei suoi affluenti che hanno colmato il Golfo Padano. Per un quadro approfondito della tettonica padana e della genesi delle strutture arcuate al fronte delle pieghe, oltre alle pubblicazioni citate in precedenza, si rimanda al lavoro di Castellarin et alii (1985).

Da un punto di vista stratigrafico, la sedimentazione terziaria e quaternaria in quest'area della pianura è stata essenzialmente detritica, si sono cioè deposte serie clastiche di considerevole spessore e solo nel Messiniano si riscontra un episodio evaporitico; si possono riconoscere essenzialmente due cicli di sedimentazione, distinguendo una zona marginale, in cui ad una deposizione clastica grossolana succedono sedimenti prevalentemente argillosi ed una zona centrale, in cui prosegue una sedimentazione torbiditica indisturbata. La deposizione sedimentaria presenta inoltre frequenti variazioni di facies, sia laterali che verticali, come risultato delle particolari condizioni strutturali venutesi a creare in vari settori della pianura in seguito all'evoluzione tettonica. Alla deposizione della facies evaporitica miocenica superiore, corrisponde una fase di marcata regressione e ad essa si accompagna probabilmente una fase tettonica di notevole intensità. Il piegamento pedeappenninico e l'abbassamento del livello del mare, portano all'emersione delle culminazioni delle principali anticlinali, tra le quali la Dorsale Ferrarese, ove s'instaurano rilevanti processi erosivi che provocano la scomparsa di spessori anche notevoli di sedimenti.

Nel tardo Messiniano e nel Pliocene inferiore si manifesta un graduale innalzamento del livello delle acque del bacino, che porta al ristabilimento graduale delle condizioni che regnavano in precedenza; come conseguenza si ha la deposizione di successioni trasgressive su aree precedentemente emerse, mentre nelle zone sinclinaliche continuano a deporsi sedimenti torbiditici. Al termine del Pliocene

inferiore un'accentuata attività tettonica porta ad un nuovo piegamento e sollevamento dell'area e quindi all'accentuarsi di alcune strutture preesistenti; nelle aree altimetricamente più elevate, tra cui Camurana ed altri tratti della Dorsale Ferrarese, s'instaurano sensibili fenomeni erosivi. Con il Pliocene medio inizia una nuova ingressione marina di limitata entità, che comporta la deposizione, nelle aree sinclinali, di depositi torbiditici grossolani.

Il Quaternario segna un abbassamento regionale all'interno del bacino padano, accentuandosi ulteriormente la subsidenza differenziale delle diverse strutture; la potenza dei sedimenti del Quaternario varia da oltre 1000 m nelle aree meridionali a meno di 200 m o completa assenza, in quelle settentrionali. La diversità di spessore è imputabile alla marcata differenza di subsidenza cui l'area in oggetto è stata sottoposta durante il Quaternario. Il Quaternario si chiude poi con una decisa regressione del dominio marino, con il passaggio da una sedimentazione di tipo marino, che caratterizza il Pliocene e parte del Pleistocene, ad una di tipo continentale, con il colmamento del golfo padano, che si trasforma progressivamente in pianura alluvionale attraverso l'accumulo di sedimenti fluviali e fluvio-glaciali, derivanti dal rapido smantellamento e modellamento delle catene montuose circostanti.

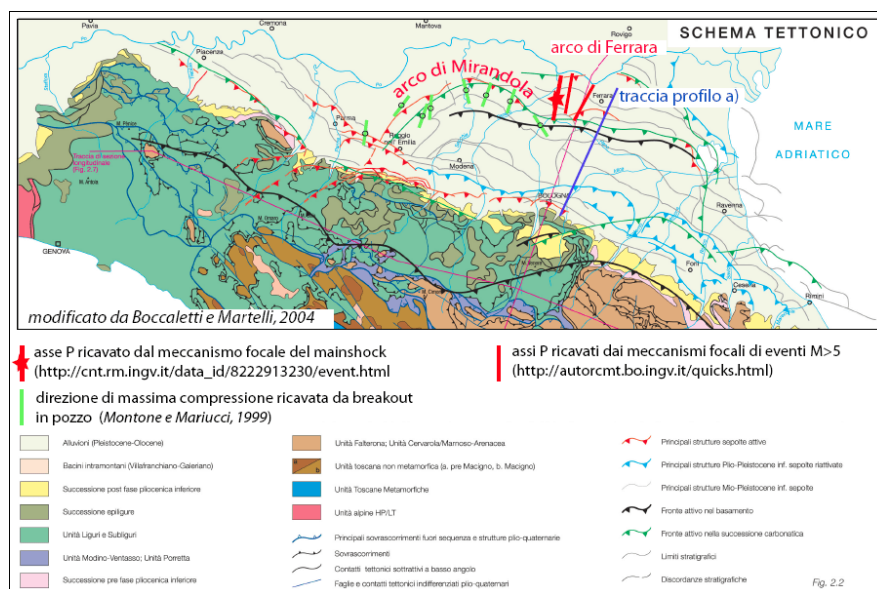


Figura 5 - INGV – I terremoti della Pianura Padana del 2012. Schema tettonico modificato da Boccaletti e Martelli, 2004

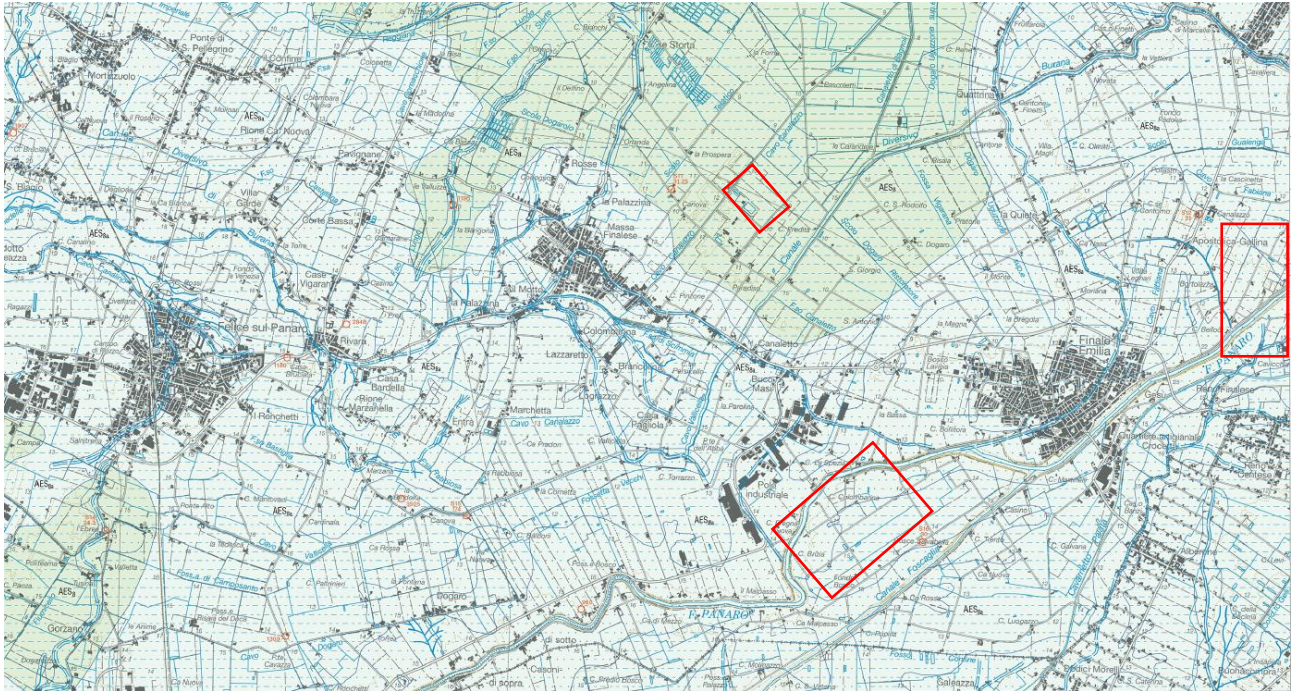
Focalizzando l'attenzione sulla zona in esame, si osserva che il territorio di Finale Emilia ricade nella zona delle "pieghe ferraresi". Lo spessore della successione plio-quadernaria, cioè dei sedimenti che si sono depositati negli ultimi 5 milioni di anni (dalla base del Pliocene ad oggi) risulta abbastanza variabile: da oltre 3.000 m nella zona più meridionale esso si riduce, alla cerniera della piega-faglia ferrarese, fino a meno di 1.000 m (porzione centrale e settentrionale del territorio comunale). Il riempimento della Pianura Padana ad opera dello smantellamento della catena alpina ed appenninica ha portato quindi all'accumulo di depositi dapprima marini e successivamente continentali di piana alluvionale in un bacino sedimentario che ha subito una notevole azione di subsidenza. Come già detto modalità e tempi di deposizione dei materiali sono stati controllati principalmente dalla tettonica e, dal Pliocene medio-superiore ad oggi, dall'evoluzione delle pieghe-faglie descritte in precedenza e schematizzate nelle figure riportate, segnalata anche in epoca storica dal graduale "sfuggire" della rete idrografica superficiale alla "dorsale ferrarese". I movimenti tettonici, soprattutto quelli ad andamento verticale, sono quindi uno dei principali fattori di controllo dello sviluppo paleogeografico dell'area padana, influenzando direttamente morfologia e geometria dei corsi d'acqua, anche se non vanno dimenticati altri fattori determinanti dovuti alle oscillazioni climatiche, quali le variazioni del livello marino e del regime dei corsi d'acqua.

3.2 Quadro geologico di riferimento

Per quanto riguarda il territorio comunale di Finale Emilia, ed in particolare la porzione in cui ricadono le opere, ci troviamo in un settore deposizionale caratterizzato dai depositi alluvionali del Fiume Po, presenti in massima parte nelle aree più a nord, e dei corsi d'acqua minori di tipo appenninico, ed in particolare del Fiume Panaro.

Si tratta di depositi di origine continentale a granulometria solitamente medio-fine, con prevalenza di litologie generalmente limose, per quanto riguarda i depositi del fiume Po, caratterizzati da uno spessore via via decrescente procedendo verso sud, e di depositi limosi e argillosi, con presenza di materiali organici parzialmente decomposti, tipici di un'area interfluviale e di palude; sono presenti intercalazioni di livelli e lenti sabbiose discontinue, per quanto riguarda le alluvioni del fiume Panaro.

Per la definizione delle unità geologiche presenti nell'area di studio si è fatto riferimento alla Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (Servizio Geologico d'Italia), F. 184 Mirandola [Data set]. <http://doi.org/10.15161/oar.it/211806> di cui lo stralcio in seguito.



SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE

Comprende depositi di ambiente alluvionale, deltizio-litorale e marino marginale organizzati in cicli trasgressivo-regressivi (subsistemi) di natura glacio-eustatica, con periodo di circa 100.000 anni. Nell'area del Foglio è costituito interamente da depositi continentali ed è separato dal sottostante *sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore* da una superficie di discontinuità che marca una brusca variazione composizionale riconducibile ad una fase di riorganizzazione del reticolo idrografico padano. Il limite superiore coincide col piano topografico. Lo spessore aumenta progressivamente verso nord, da circa 80 m in corrispondenza dell'alto di Mirandola fino a circa 200 metri nel settore depocentrale.

PLEISTOCENE MEDIO p.p. - ATTUALE (post-400 ka), MIS 11-MIS 1

subsistema di Ravenna

Comprende depositi di ambiente alluvionale, deltizio-litorale e marino marginale organizzati in un ciclo trasgressivo-regressivo riconducibile all'innalzamento eustatico post-glaciale e alla successiva fase, ancora in corso, di stazionamento alto del mare. Nell'area del Foglio è composto unicamente da depositi alluvionali riferibili a sistemi di canale-argine-rotta fluviale, ad alta (canali meandriciformi) o bassa-media sinuosità e ad ambienti di piana inondabile e palude. Il limite basale è un paleosuolo correlabile su scala regionale, che definisce il limite Pleistocene-Olocene, o il brusco contatto tra depositi fluviali pleistocenici di *channel belt* e sedimenti olocenici di piana inondabile poco drenata o palude. Il limite superiore coincide col piano topografico ed è caratterizzato da suoli a basso grado di alterazione, parzialmente decarbonatati, con locale affioramento di resti archeologici dell'Età del Bronzo, del Ferro e Romana. Nelle aree in cui affiorano depositi di età post-Romana, la parte superiore del subsistema coincide con l'unità di Modena. Lo spessore varia tra circa 10 e 20 m.

OLOCENE - ATTUALE



AES₈

unità di Modena

Comprende depositi di ambiente alluvionale di età post-Romana, in gran parte riferibili ad una fase di riorganizzazione del reticolo idrografico avvenuta in Età Medievale. Nell'area del Foglio è composta alla base principalmente da depositi di palude, sormontati da depositi di canale-argine-rotta fluviale che passano lateralmente a depositi di piana inondabile. Il limite inferiore è costituito da un paleosuolo a basso grado di alterazione, parzialmente decarbonatato, caratterizzato dalla presenza di resti archeologici di Età Romana, e localmente da un orizzonte di torba ad esso correlabile. Il limite superiore coincide con la superficie topografica ed è caratterizzato da suoli calcarei a bassissimo grado di alterazione. Spessore massimo di 8 m.

OLOCENE (MEGHALAYANO) - ATTUALE



AES_{8a}

Figura 6 - Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (Servizio Geologico d'Italia), F. 184 Mirandola [Data set].
<http://doi.org/10.15161/oar.it/211806>

Facendo riferimento alle Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 184 Mirandola a cura di A. Amorosi e L. Bruno si riporta in seguito la descrizione dell'Unità di Modena e del Sintema di Ravenna che costituiscono rispettivamente l'unità superficiale ed il sottosuolo dell'area di studio in tutte e tre le porzioni separate dell'impianto.

3.2.1 Subsintema di Ravenna (AES₈) e unità di Modena (AES_{8a})

Il subsintema di Ravenna e l'unità di Modena costituiscono l'elemento sommitale del sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) e comprende la totalità dei depositi affioranti nell'area del Foglio.

Il subsintema di Ravenna è stato istituito nel sottosuolo della piana costiera adriatica, dove comprende depositi di ambiente alluvionale, deltizio-litorale e marino marginale organizzati in un ciclo trasgressivo-regressivo riconducibile all'innalzamento eustatico post-glaciale e alla successiva fase, ancora in corso, di stazionamento alto del mare. Dal punto di vista stratigrafico-sequenziale, AES₈ si compone di un sistema trasgressivo (TST) e del sovrastante sistema di stazionamento alto del mare (HST). La base dell'unità è delineata da un paleosuolo relativamente poco evoluto (Inceptisuolo), correlabile dalla Laguna di Venezia (dove assume il nome locale di "Caranto") alla piana costiera romagnola (Bruno et alii, 2022).

A differenza dell'area tipo, in cui il limite basale di AES₈ è associato ad un netto contrasto di facies sedimentarie tra depositi alluvionali di età pleistocenica (parte sommitale di AES₇) e i sovrastanti depositi olocenici di ambiente paralico e marino-marginale, nell'area del Foglio 184 la base di AES₈ è localizzata all'interno di depositi interamente continentali (in alcuni casi senza un cambiamento litologico apprezzabile al di sotto e al di sopra di tale limite) ed è per questo meno facilmente identificabile che nelle aree di piana costiera.

In gran parte dell'area del Foglio, il marker stratigrafico su cui si basa il riconoscimento di AES₈ è il paleosuolo che comprende il limite Pleistocene-Olocene. Questo orizzonte sovraconsolidato, localmente correlato a corpi sabbiosi di canale fluviale di estensione limitata, può essere tracciato nel

sottosuolo anche avvalendosi dell'interpretazione di prove penetrometriche. Dove la parte sommitale di AES7 è contraddistinta dalla presenza di spessi corpi sabbiosi di canale fluviale riferibili all'Ultimo Massimo Glaciale (LGM), la base di AES8 è delineata dal significativo contrasto litologico con i sovrastanti depositi prevalentemente argilloso-limosi.

La mappatura del paleosuolo alla base di AES8 fornisce informazioni di notevole importanza, se incrociate con le caratteristiche geologiche profonde dell'area. Come già sottolineato per le unità stratigrafiche più antiche di AES8, anche il limite Pleistocene-Olocene mostra una notevole variazione di quota in coincidenza dell'Anticlinale di Mirandola, dove il paleosuolo si presenta rilevato rispetto alle zone circostanti di quasi 10 m, a suggerire una probabile relazione con l'attività tettonica nell'area.

Dal punto di vista stratigrafico, AES8 presenta uno spessore variabile tra circa 10 e 20 m. Verso nord, la parte inferiore dell'unità si contraddistingue per la presenza di un orizzonte di argille organiche e torbe di ambiente palustre, di colore grigio e localmente nerastro, spesso 2-4 m, caratterizzato da una elevata persistenza laterale. Questo corpo sedimentario tende a chiudersi a cuneo in direzione dell'Anticlinale di Mirandola. Superiormente, AES8 è dominato da facies di piana inondabile con subordinati corpi sabbiosi nastriformi di origine fluviale. I corpi di canale fluviale, di scarsa estensione laterale, testimoniano ripetute avulsioni e attivazione/disattivazione di rami del Po, in un contesto a cavallo tra la pianura alluvionale e la piana deltizia superiore.

L'ultima fase di riorganizzazione del reticolo idrografico, datata al Medioevo, ha permesso di distinguere l'unità informale AES8a (unità di Modena). Questa unità è stata riconosciuta in tutti i Fogli di pianura della Regione Emilia-Romagna, a dimostrazione del carattere regionale dell'evento che ha portato alla sua deposizione. Nell'area del Foglio, l'unità di Modena affiora nei settori occidentale e sud-orientale ed è spesso associata a dossi fluviali, raggiungendo uno spessore massimo di 8 m. È costituita alla base da depositi palustri di spessore inferiore a 3 m, datati a 1100-1200 anni fa nel settore occidentale e a 600-700 anni fa in quello sudoccidentale. La parte alta dell'unità è costituita da depositi di canale fluviale di scarsa estensione laterale (alcune decine di metri) e spessore < 7 m, localmente organizzati in un pattern marcatamente distributivo, che passano lateralmente a depositi di argine e rotta fluviale e di piana inondabile. Il limite inferiore è costituito da un paleosuolo

a basso grado di alterazione, parzialmente decarbonatato, caratterizzato dalla presenza di resti archeologici di Età Romana, e localmente da un orizzonte di torba ad esso correlabile. Il limite superiore, affiorante, è caratterizzato da suoli a bassissimo grado di alterazione, calcarei.

Età: Olocene.

4 Indagini di riferimento

Per la definizione di un modello geologico di sottosuolo adatto all'attuale stadio di progettazione, si è tenuto conto degli esiti delle indagini condotte in aree contermini che presentano un assetto geologico e geotecnico compatibile e riconducibile ai terreni oggetto di studio.

A tal proposito sono stati presi come riferimento due dataset di indagini differenti.

Per quanto riguarda la porzione più ad ovest dell'impianto fotovoltaico, si è tenuto conto delle indagini realizzate nel 2024 per la realizzazione di un parco fotovoltaico denominato "Valletta" situato a circa 1 km a nord dall'area di progetto. Invece, per quanto riguarda la porzione di impianto più ad est in località "Le Casette", si è tenuto conto dello studio geologico e geotecnico *"indagine geotecnica preventiva sui terreni di fondazione e caratterizzazione sismica elab. 19_geologica x richiesta Var n 27"* per la realizzazione di un edificio ad uso residenziale fornito nell'ultima *"Adozione 23 Variante P.R.G."* del Comune di Finale Emilia.

Per il dataset riferito alla porzione ad est dell'impianto "loc. Casette" si è tenuto conto di:

- n° 1 prove CPT;

- n° 1 prospezioni geofisiche MASW;

Per il dataset riferito alla porzione ad ovest e nord-ovest dell'impianto "loc. polo industriale" ed in prossimità della stazione elettrica "loc. zuccherificio" si è tenuto conto di:

- n° 4 prove penetrometriche dinamiche DPSH;
- n° 2 prospezioni geofisiche MASW;

Si riporta in seguito l'ubicazione delle prove di riferimento rispetto all'area in esame (Figura 7), per un maggior dettaglio si rimanda alla tavola allegata (cfr. G_01 - Inquadramento geologico area di progetto e tracciato elettrodotto) mentre per l'elaborazione delle indagini si rimanda all'elaborato specialistico allegato "G_R02_Relazione Geotecnica".



Figura 7 – Ubicazione delle prove di riferimento

5 Pericolosità sismica

5.1 Sismicità storica ed hazard sismico

L'analisi della pericolosità sismica storica locale nelle UAS dell'Emilia-Romagna è stata eseguita utilizzando le informazioni macrosismiche messe a disposizione della comunità scientifica, a seguito del Progetto S1 dell'INGV, ed in particolare il Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15 [Gruppo di lavoro CPTI, 2015].

Studi recenti riguardanti la distribuzione delle Massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani (Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi: <http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>) indicano, per la zona in oggetto, dei valori intorno al sesto-settimo grado della scala macrosismica MCS.

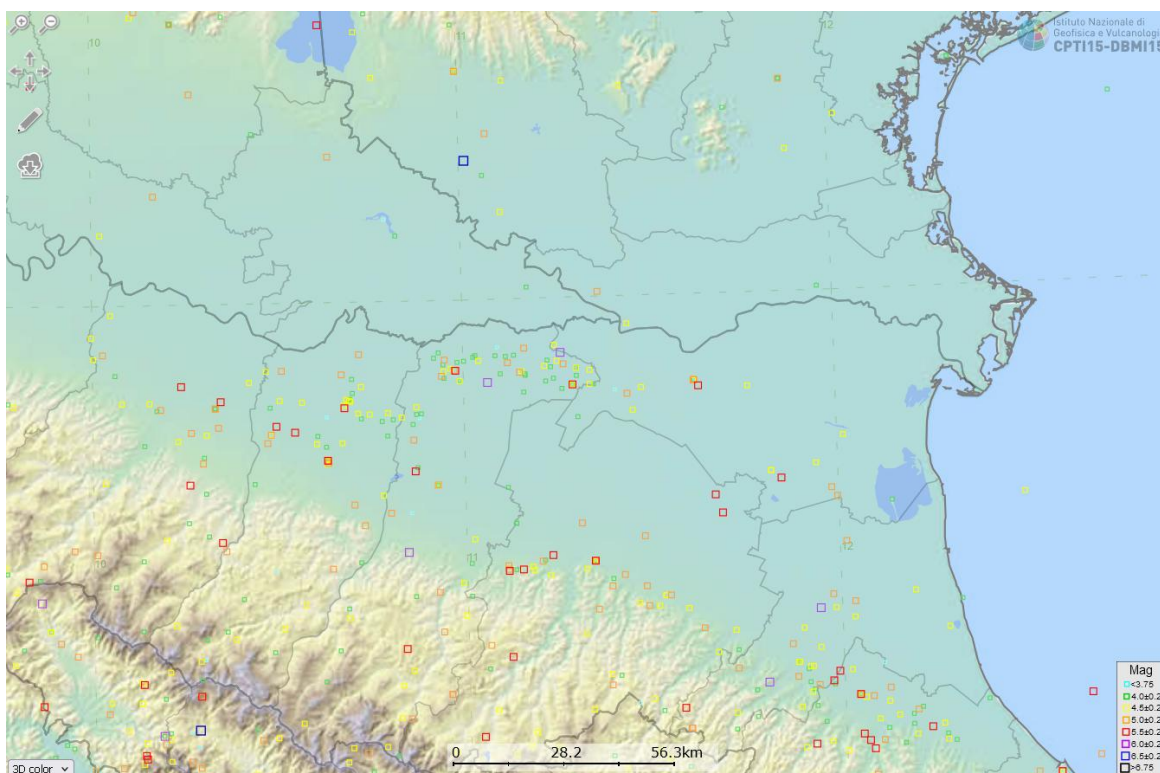


Figura 8 – Stralcio DBMI15 v4.0 - Massime intensità macrosismiche osservate (2015)

Dall'analisi del Catalogo parametrico dei terremoti italiani (Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016. CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, <https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>), si evincono i più importanti eventi sismici avvenuti nella zona relativa al Comune di Finale Emilia e che hanno avuto un grande risentimento nell'area in studio; in totale gli eventi sono n. 44 e vengono riportati nella tabella 3.

Int. at place	N	Year	Mo	Da	Ho	Mi	EpicentralArea	DepDef	IoDef	MwDef	ErMwDef
F	247	1505	1	3	2		Bolognese		8	5,62	0,21
5	262	1511	3	26	15	30	Friuli-Slovenia		9	6,32	0,1
6	361	1570	11	17	19	10	Ferrarese		7-8	5,44	0,17
7	364	1574	3	17	3	40	Finale Emilia		6	4,63	0,46
7-8	456	1639	4	6			Finale Emilia		7-8	5,33	0,46
3	1356	1873	3	12	20	4	Appennino marchigiano		8	5,85	0,1
4	1359	1873	6	29	3	58	Alpago Cansiglio		9-10	6,29	0,1

4-5	1375	1875	3	17	23	51	Costa romagnola		8	5,74	0,1
3	1420	1879	4	27	4	6	Appennino tosco-emiliano		7	5,03	0,32
F	1436	1881	1	24	16	14	Bolognese		7	5,22	0,19
F	1441	1881	2	14	9	0	Appennino bolognese		6	4,77	0,31
3	1524	1887	2	23	5	21	Liguria occidentale		9	6,27	0,1
3	1723	1898	1	16	13	10	Romagna settentrionale		6	4,59	0,17
4	1726	1898	3	4	21	5	Parmense		7-8	5,37	0,1
3	1727	1898	3	9	11	43	Romagna settentrionale		6	4,59	0,37
NF	1867	1904	11	17	5	2	Pistoiese		7	5,1	0,11
5-6	1956	1908	6	28	3	19	Finale Emilia		4-5	3,93	0,46
4-5	2010	1910	3	22	23	29	Bassa modenese		5	4,16	0,46
NF	2066	1912	9	12	21	15	Carpi		4	3,76	0,52
6	2106	1914	10	27	9	22	Lucchesia		7	5,63	0,08
2	2164	1916	8	16	7	6	Riminese		8	5,82	0,08
4	2235	1919	6	29	15	6	Mugello		10	6,38	0,08
4-5	2261	1920	9	7	5	55	Garfagnana		10	6,53	0,08
3	2284	1922	5	24	21	17	Ferrarese		4	3,7	0,46
3	2344	1926	1	1	18	4	Carniola interna		7-8	5,72	0,09
NF	2677	1950	9	5	4	8	Gran Sasso		8	5,69	0,08
NF	2774	1957	8	27	11	54	Appennino modenese		5	4,73	0,13
5-6	2864	1963	4	5	13	49	Finale Emilia		4-5	3,93	0,46
NF	2905	1965	11	9	15	35	Appennino reggiano		5	4,17	0,2
4-5	3017	1970	11	2	8	42	Bassa modenese		4-5	3,93	0,46
5	3207	1978	12	25	22	53	Bassa modenese		5	4,39	0,39
4-5	3380	1983	11	9	16	29	Parmense		6-7	5,04	0,1
6	3508	1986	12	6	17	7	Ferrarese	23,5	6	4,43	0,08
4	3519	1987	4	24	2	30	Reggiano	0,1	6	4,64	0,12
5	3520	1987	5	2	20	43	Reggiano	0,1	6	4,71	0,1
5	3522	1987	5	8	11	10	Bassa modenese	23,6	6	4,44	0,19
4	3535	1987	7	11	1	46	Bassa Bolognese	16,8	5	4,2	0,17
4-5	3553	1988	3	15	12	3	Reggiano	0,1	6	4,57	0,09
4-5	3815	1996	10	15	9	55	Pianura emiliana	1,3	7	5,38	0,1
3-4	4032	2000	6	18	7	42	Pianura emiliana	25,6	5-6	4,4	0,07

NF	4187	2002	11	13	10	48	Franciacorta	10	5	4,21	0,07
4	4457	2011	7	17	18	30	Pianura lombardo-veneta	2,4	5	4,79	0,07
7	4477	2012	5	20	2	3	Pianura emiliana	9,5	7	6,09	0,07
7	4501	2012	5	29	7	0	Pianura emiliana	8,1	7-8	5,9	0,07

Tabella 3 – Elenco degli eventi sismici sia storici che strumentali che hanno interessato direttamente o indirettamente l'area in studio (Comune di Finale Emilia). Is - intensità al sito (MCS); AE - Denominazione dell'area dei maggiori effetti; Io - Intensità epicentrale (MCS); Mw - magnitudo momento

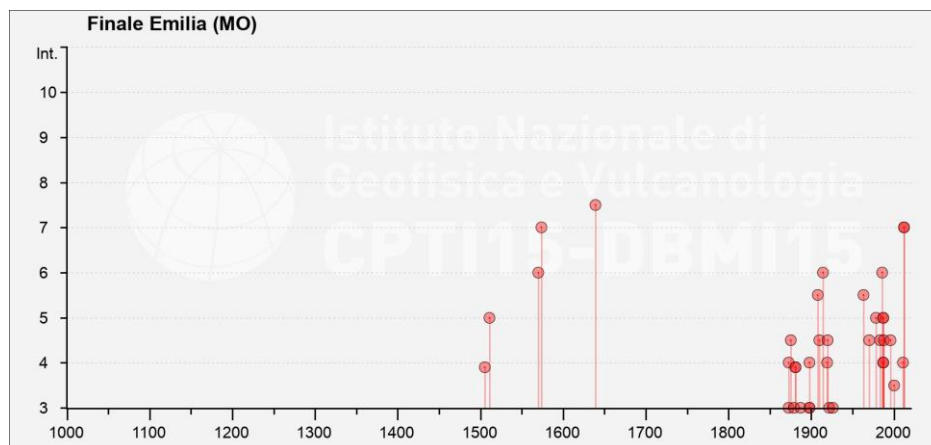


Figura 9 – Grafico illustrante la storia sismica di Finale Emilia. Sulle ascisse sono riportati i riferimenti temporali espressi in anni, sulle ordinate le intensità sismiche (I) degli eventi rilevati (da https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15_v1.5/query_place/)

5.1.1 La sequenza sismica del 2012

Tra il maggio ed il giugno 2012 un'importante sequenza sismica ha interessato una vasta area della Bassa Pianura Padana, compresa tra le Province di Reggio Emilia, Modena, Mantova, Bologna e Ferrara.

La sequenza è stata caratterizzata da due scosse principali; la prima, di magnitudo locale ML pari a 5.9 e magnitudo momento Mw pari a 6.1, si è verificata il 20 maggio alle 4:03 ora locale, con epicentro tra Finale Emilia e San Felice sul Panaro (44°51'50" N, 11°14'31" E, profondità 6,3 km), mentre la seconda, di ML pari a 5.8 e Mw pari a 5.9, è avvenuta il 29 maggio alle 9:00 ora locale con epicentro tra Mirandola e Medolla, (44°50'00" N, 11°03'37" E, profondità 13,5 km) (Pondrelli et al., 2012; Massa et al., 2012).

Scosse successive hanno interessato un'area estesa oltre 50 km in direzione Est - Ovest; in particolare sono state registrate cinque repliche di $MW \geq 5,0$, aventi epicentri distribuiti tra Novi di Modena e Vigarano Mainarda (Figura 20), ed oltre 3.700 scosse di $MW \geq 1,5$.

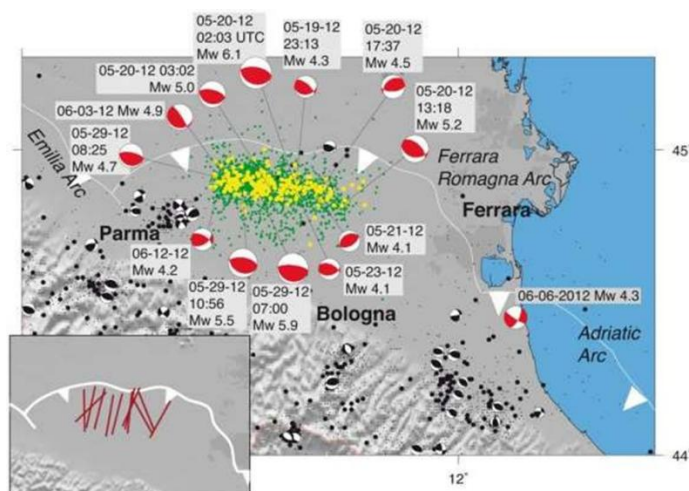


Figura 10 – Mappa che mostra i meccanismi focali delle scosse maggiori (in rosso), ricavati dall'INGV a partire dal calcolo del momento tensore e i loro assi P (nel riquadro in basso a sinistra). In verde la sismicità con $M < 3.0$; in giallo quella con $M \geq 3.0$. I meccanismi focali più piccoli in nero sono relativi alla sismicità precedente il maggio 2012. I punti neri (con dimensioni proporzionali alla magnitudo) la precedente sismicità da ISIDE (da Pondrelli et al., 2012)

La sequenza sismica ha interessato le strutture fragili costituenti la parte frontale della catena appenninica sepolta, in un settore centro-occidentale delle cosiddette Pieghe Ferraresi (Pieri e Groppi, 1981), costituite da una serie di sovrascorrimenti a vergenza nord-nordorientale (e pieghe associate) che coinvolgono sia la copertura sedimentaria terziario-quadernaria che la successione carbonatica mesozoica.

I risultati di diversi studi sui meccanismi focali degli eventi principali evidenziano una cinematica di tipo compressivo, quindi un movimento delle faglie sepolte lungo piani orientati essenzialmente Est - Ovest ed immergenti verso Sud (Pondrelli et al., 2012; Scognamiglio et al., 2012).

Questi dati sono in accordo con quanto emerso da studi del campo di velocità derivato da misure GPS (Devoti et al., 2011) e dagli indicatori del campo di stress agente su questa area (Montone et al., 2012).

I rilievi macrosismici eseguiti immediatamente dopo le scosse (Galli et al., 2012a e 2012b) hanno determinato, per il territorio di Finale Emilia, valori di intensità macrosismica pari ai gradi VI-VII (20 maggio) e VI (29 maggio) della Scala MCS.

Nel territorio del Comune di Finale Emilia, duramente colpito dalla sequenza sismica del 2012, sono state verificate numerose lesioni e crolli parziali su larga parte degli edifici storici pubblici e privati, con danneggiamenti dei paramenti murari ed in corrispondenza delle connessioni tra la copertura e gli elementi strutturali degli edifici stessi. Gravi danni hanno, inoltre, interessato svariati edifici produttivi e agricoli con crolli, anche completi, delle coperture.

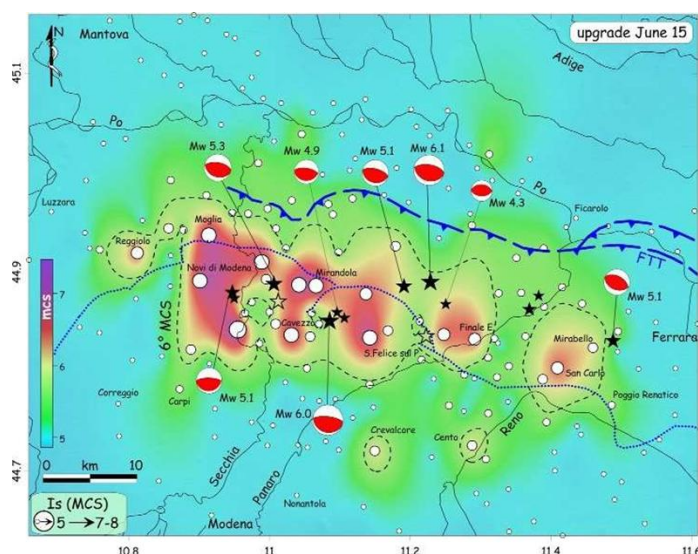


Figura 11 – Mappa da Galli et al. 2012b, delle intensità MCS cumulative attribuite alle singole località (punti bianchi) e di scuotimento areale in termini di MCS (sfondo colorato) per l'intera sequenza emiliana del 2012. L'isosisma del grado VI MCS è rappresentata col tratteggio nero. Sono inoltre riportati l'arco di Ferrara (in blu) e i meccanismi focali (Pondrelli et al., 2012; Scognamiglio et al., 2012).

Ulteriori effetti osservati durante le due principali scosse della sequenza emiliana, sono stati l'amplificazione del moto sismico ed i fenomeni di liquefazione, diffusi in corrispondenza di antichi alvei fluviali, oggi abbandonati e sepolti.

Le stazioni della Rete Accelerometrica Nazionale e quelle temporanee installate immediatamente dopo le scosse del 20 maggio, hanno, infatti, registrato valori di accelerazione orizzontali in superficie superiori a 0,2 g e localmente anche a 0,3 g. Tali accelerazioni, anche di molto superiori a quelle

considerate per la redazione della mappa di pericolosità di base dell'area, sono state determinate da evidenti fenomeni di amplificazione stratigrafica del moto sismico. In particolare, la stazione di Mirandola (MRN) della rete nazionale RAN, localizzata circa 10-15 km ad ovest del territorio comunale di Finale Emilia, ha registrato valori di accelerazione massima orizzontale pari a 303 cm/s^2 per la scossa del 20 maggio e pari a 290 cm/s^2 per quella del 29 maggio.

La sequenza sismica del maggio 2012 ha inoltre causato diffusi fenomeni di liquefazione dei terreni, dando origine, su un areale piuttosto ampio, a diverse ed evidenti manifestazioni superficiali, quali fratture, estese anche per diverse decine di metri, e fuoriuscita di sabbie e limi dal terreno. Tali effetti locali hanno assunto particolare rilevanza nei centri abitati di San Carlo, frazione di Sant'Agostino, e di Mirabello, in provincia di Ferrara, dove, oltre alle evidenze sul terreno libero, hanno prodotto diffusi danneggiamenti a carico dei manufatti, che il solo scuotimento non avrebbe potuto provocare (Galli et al., 2012a). Gli effetti secondari successivi alla liquefazione hanno infatti reso temporaneamente inagibili alcuni edifici, tratti di strade e le reti di servizi presenti (Gruppo di Lavoro Liquefazione, 2012). Per una valutazione approfondita di tali effetti, diversi enti e istituti hanno costituito e inviato squadre di tecnici specializzati che hanno eseguito rilievi specifici nei giorni immediatamente successivi alle scosse, anche attraverso riprese aeree. Tra questi: la Regione Emilia-Romagna e il Dipartimento della Protezione Civile, che hanno istituito un Gruppo di lavoro interdisciplinare che ha coinvolto geologi, geotecnici e ingegneri strutturisti (Gruppo di Lavoro Liquefazione, 2012); l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, che ha attivato il gruppo di lavoro EMERGEIO (Emergeo Working Group, 2012; 2013); la GeoProCiv - Associazione Geologi Emilia-Romagna per la Protezione Civile, che ha fornito un sostegno tecnico alle azioni di prevenzione e protezione civile per quanto concerne tutte le problematiche di carattere geologico, oltre a singoli ricercatori che hanno mappato il settore orientale (Caputo e Papathanasiou, 2012).

5.2 Hazard sismico

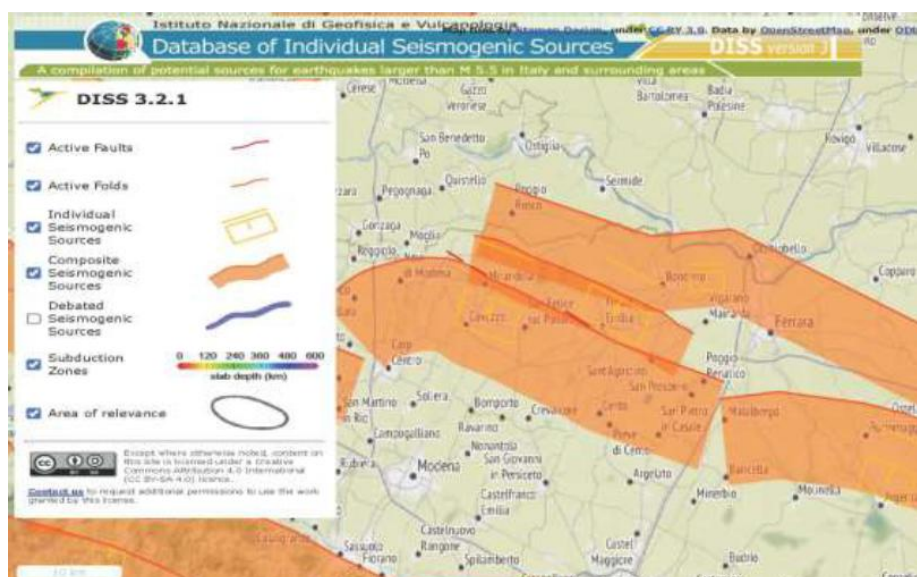


Figura 12 – DISS 3.2.1 Sorgenti sismogenetiche

Secondo il Database of Individual Seismogenic Sources (INGV - DISS Working Group, 2010; Basili et al., 2008), il Comune di Finale Emilia è interessato da tre strutture sismogeniche composite orientate approssimativamente ESE-WNW (Figura 22). Il settore nord del territorio comunale si trova in corrispondenza della sorgente composita Poggio Rusco-Migliarino (ITCS050) che delimita il settore esterno dell'Arco Ferrarese. A tale struttura è correlata la sorgente individuale di Ferrara (ITIS090) a cui è assegnata una magnitudo massima pari a 5,5. L'esistenza della sorgente di Ferrara è basata sull'evidenza di attività tettonica recente dell'Arco Ferrarese e su dati di sottosuolo (Pieri e Groppi, 1981; Boccaletti e Martelli, 2004; Burrato et al., 2003; 2012). Questa sorgente è tentativamente associata con il terremoto di Ferrara del 17 novembre 1570 ed è stata localizzata considerando la deviazione dell'alveo del fiume Po, in zona Stellata, come probabile conseguenza della deformazione cosismica indotta dall'attività tettonica di tale struttura sepolta.

La porzione meridionale del territorio comunale di Finale Emilia, invece, si trova sulla proiezione superficiale della sorgente composita di Carpi-Poggio Renatico (ITCS051) a cui è associata la sorgente individuale di Mirandola (ITIS107) caratterizzata da una magnitudo massima pari a 6,0. L'esistenza di quest'ultima sorgente individuale, coincidente con il sovrascorrimento responsabile

della strutturazione dell'anticlinale di Mirandola, è stata ipotizzata a partire dall'osservazione della presenza di anomalie nel reticolo idrografico sviluppatesi in corrispondenza dell'attraversamento dell'anticlinale sepolta.

La terza sorgente sismogenica composita è quella di Finale Emilia-Mirabello (ITCS103) associata alla sorgente individuale Finale Emilia (ITIS134). Entrambe le sorgenti sono state inserite nella banca dati soltanto dopo gli eventi del 2012 e ad esse è attribuita una magnitudo massima pari a 6,1 (DISS Working Group, 2018).

5.3 *Classificazione Sismica*

Le Norme Tecniche sulle Costruzioni, emanate con il DM Infrastrutture del 17.01.2018, hanno stabilito che per ogni costruzione ci si può riferire ad una accelerazione di riferimento propria in relazione sia alle coordinate geografiche dell'area di progetto, sia alla vita nominale della costruzione stessa.

I criteri di riclassificazione stabiliti dall'OPCM 3519/06 permettono di esprimere la pericolosità sismica in valori di accelerazione di picco su suolo rigido (a_g) suddivisa in sottoclassi per ogni zona sismica con intervalli di 0,025g.

Il territorio di Finale Emilia con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003, aggiornata con la Deliberazione della Giunta Regionale n.1435 del 21 luglio 2003 e successivamente con la n.1164 del 23 luglio 2018 è stato classificato in Zona **3** (Zona con pericolosità sismica bassa, che può essere soggetta a scuotimenti modesti) a cui corrisponde un range del valore di a_g compreso tra $0.05 \leq a_g < 0.15$. In base all'Allegato "C" delle norme citate, le opere in progetto assumono la **Classe d'Uso IV**.

La mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (GdL MPS, 2004; rif. Ordinanza PCM del 28 aprile 2006, n. 3519, All. 1b) è espressa in termini di accelerazione orizzontale del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s; cat. A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005). L'Ordinanza PCM n. 3519/2006 ha reso tale mappa uno strumento ufficiale di riferimento per il territorio nazionale

Oltre al valore di a_g , è necessario conoscere, per il sito in esame, i dati di disaggregazione (variabilità in termini di magnitudo e distanza). La disaggregazione della pericolosità sismica è un'operazione che permette di valutare i contributi di diverse sorgenti sismiche alla pericolosità di un sito.



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

Valori di pericolosità sismica del territorio nazionale

(riferimento: Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n.3519, All.1b)

espressi in termini di accelerazione massima del suolo
con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni

riferita a suoli rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s; cat.A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005)

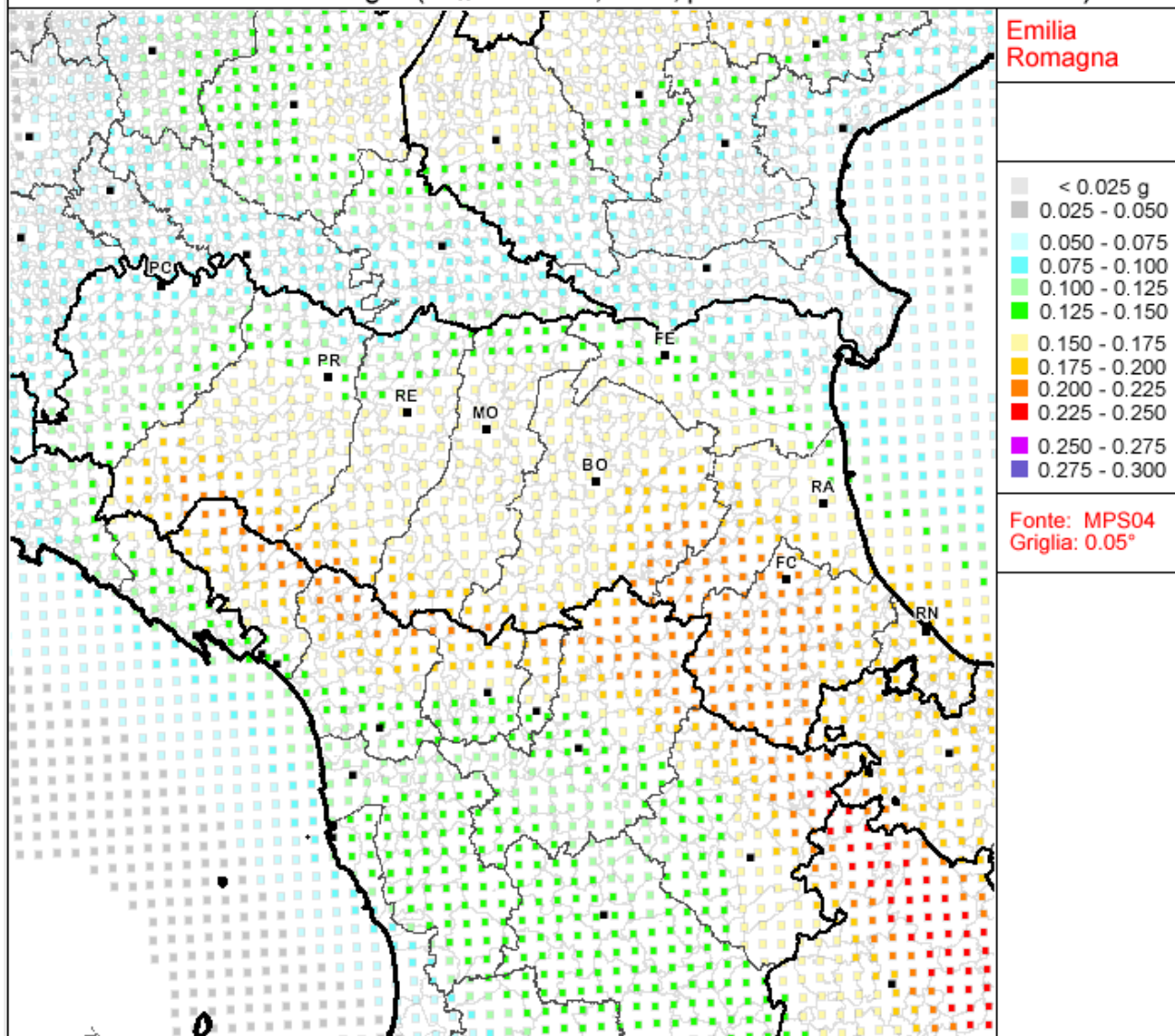


Figura 13 – Mappa di pericolosità sismica del territorio regionale dell'Emilia-Romagna. Ordinanza PCM 3519 del 28 aprile 2006, All. 1b (<http://esse1.mi.ingv.it/d2.html>)

L'INGV, nella sua “Mappa della pericolosità sismica” (sito <http://esse1-gis.mi.ingv.it>), elaborata con modello probabilistico sismotettonico, inserisce il Comune di Finale Emilia in una zona con un'accelerazione orizzontale attesa compresa nell'intervallo 0.150-0.175 ag/g riferita a suoli rigidi (categoria A, $V_{s,eq} > 800$ m/s) e con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Figura 14).

Modello di pericolosità sismica MPS04-S1

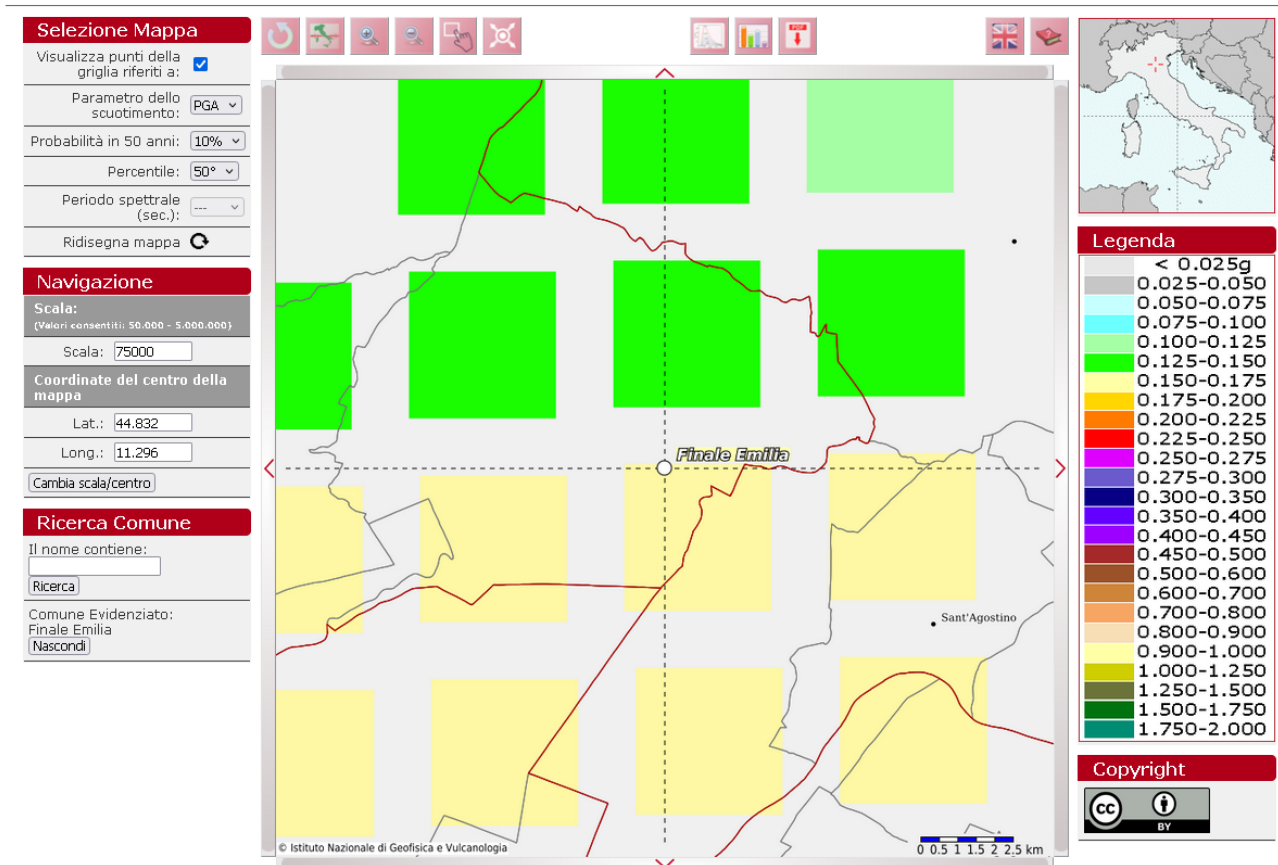


Figura 14 – Mappa interattiva della pericolosità sismica di Finale Emilia (<http://esse1-gis.mi.ingv.it>)

P_{v_k} (Stato Limite)	C_u	V_H [anni]
81% Operatività (SLO)	0.7 (I. Strutture secondarie)	≤ 10 (Opere provvisorie)
63% Danno (SLD)	1.0 (II. Strutture ordinarie)	≥ 50 (Opere ordinarie)
10% Salvaguardia della vita (SLV)	1.5 (III. Strutture importanti)	≥ 100 (Grandi opere)
5% Prevenzione del Collasso (SLC)	2.0 (IV. Strutture strategiche)	

Tabella 4 – Valori dei parametri per la definizione del periodo di ritorno

5.4 Magnitudo di riferimento

Per quanto riguarda il valore di Magnitudo di riferimento si è fatto uso dei dati ICMS 2008. Un metodo per stimare il valore di M_w da considerare ai fini delle valutazioni per le verifiche di liquefazione per l'area o la microzona di interesse è, nel caso in cui non sia ricompresa nella zonazione sismogenetica (ZS9; INGV, 2009), di determinare le minime distanze (R_i) dalle zone sismogenetiche circostanti (i) e successivamente si verifica per ciascuna di esse se la magnitudo della zona sismogenetica considerata (M_i) è inferiore o superiore alla magnitudo fornita dalla relazione $M_{si}=1+3*\log(R_i)$. Nel caso in cui almeno una M_{si} , calcolata per le zone sismogenetiche circostanti, è inferiore alla M_i della stessa zona per la quale è stata calcolata M_{si} , si assume per M_w il valore di magnitudo più alto tra le magnitudo delle zone sismogenetiche circostanti ($M_i=M_w$); se invece tutte le M_{si} sono superiori alle M_i , si determina la M_w con il metodo della disaggregazione. Visto che tutti i valori di M_{si} sono maggiori di M_i si è stimato il valore di magnitudo con il metodo della disaggregazione, ovvero, mediante il portale dell'INGV si è identificato il sito oggetto dello studio e si sono individuati i relativi "nodi" della maglia all'interno della quale è inserito lo stesso.

Secondo la Zonazione Sismogenetica del Territorio Italiano (ZS9) (Meletti e Valensise, 2004), che rappresenta il riferimento per le valutazioni di pericolosità sismica di base nel territorio nazionale, il Comune di Finale Emilia ricade nella "Zona 912" per la quale è stata stimato un valore di M_{wMax} pari a 6,14.

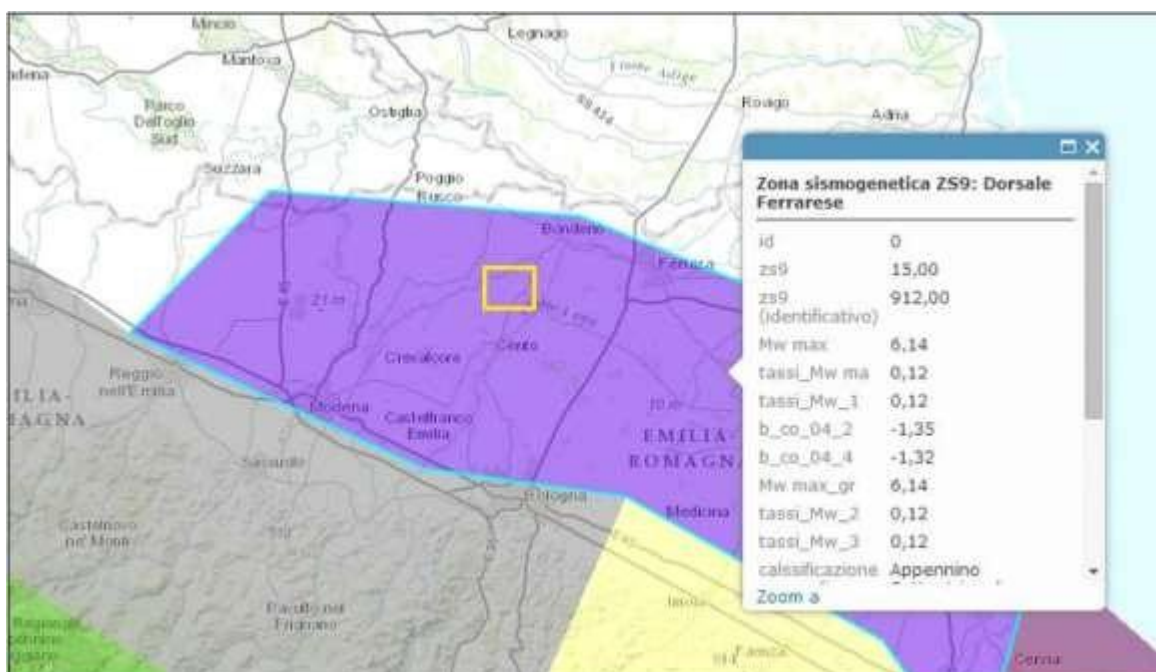
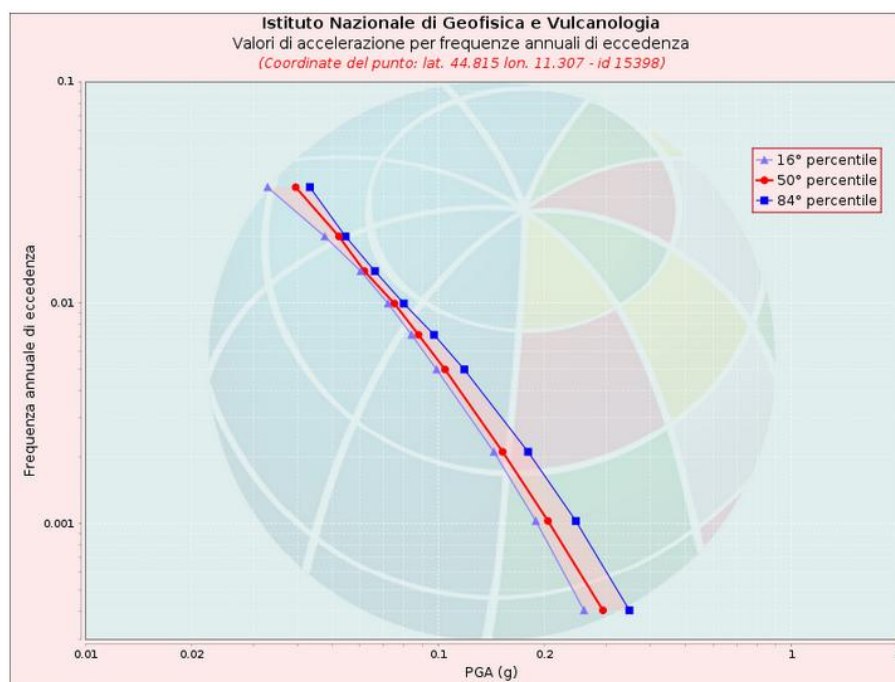


Figura 15 – Zone sismogenetiche della regione Emilia-Romagna

Curva di pericolosità

La pericolosità è l'insieme dei valori di scuotimento (in questo caso per la PGA) per diverse frequenze annuali di eccedenza (valore inverso del periodo di ritorno). La tabella riporta i valori mostrati nel grafico, relativi al valore mediano (50mo percentile) ed incertezza, espressa attraverso il 16° e l'84° percentile.



Spettri a pericolosità uniforme

Gli spettri indicano i valori di scuotimento calcolati per 11 periodi spettrali, compresi tra 0 e 2 secondi. La PGA corrisponde al periodo pari a 0 secondi. Il grafico è relativo alle stime mediane (50mo percentile) proposte dal modello di pericolosità. I diversi spettri nel grafico sono relativi a diverse probabilità di eccedenza (PoE) in 50 anni. La tabella riporta i valori mostrati nel grafico.

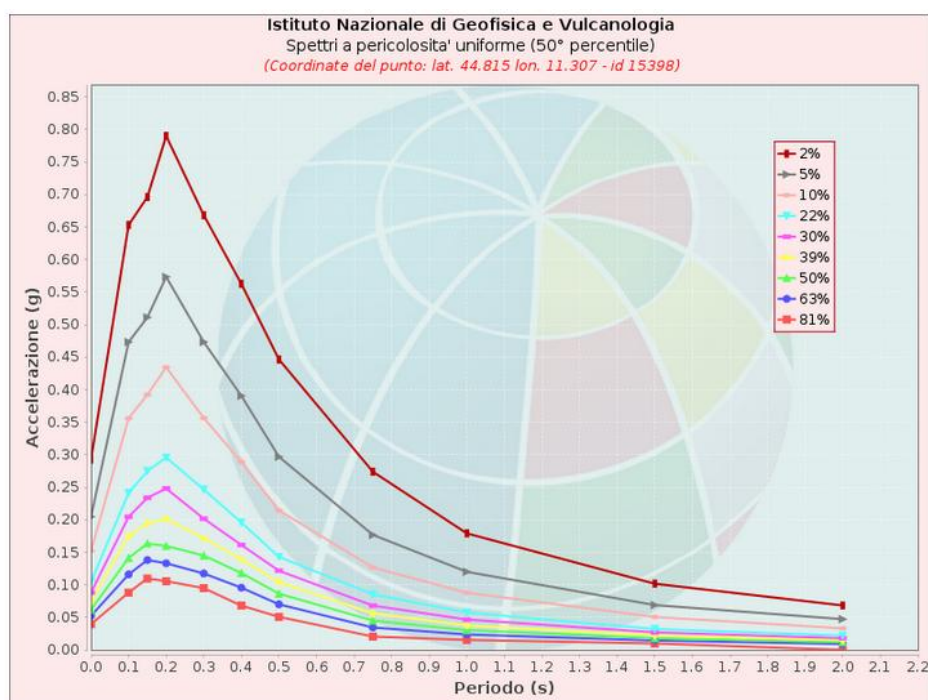
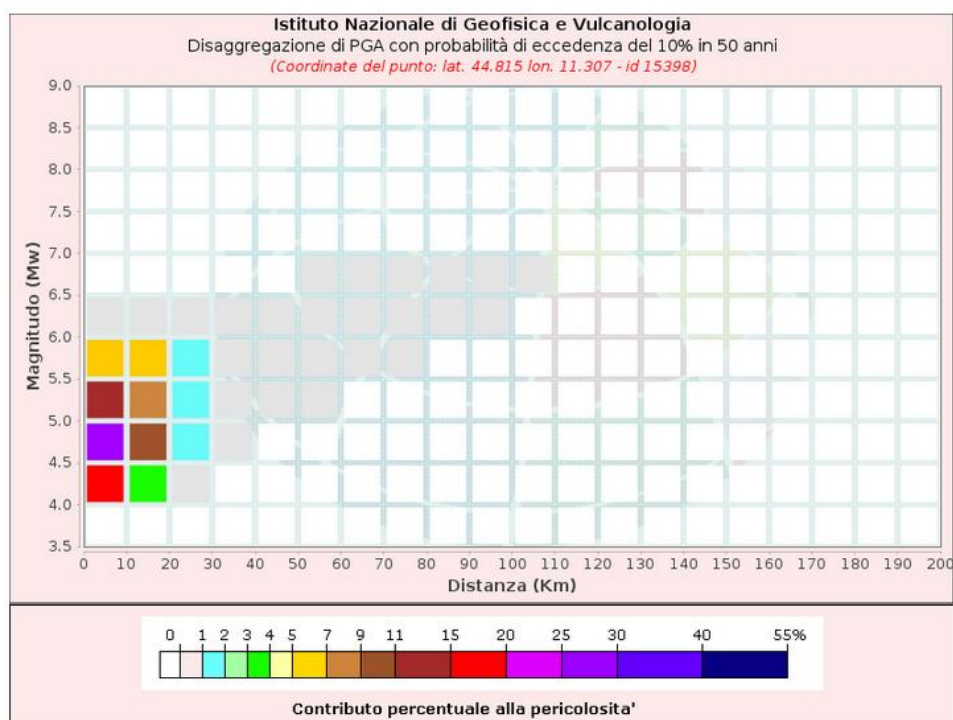


Grafico di disaggregazione

Il grafico rappresenta il contributo percentuale delle possibili coppie di valori di magnitudo-distanza epicentrale alla pericolosità del nodo, rappresentata in questo caso dal valore della PGA mediana, per una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.

La tabella riporta i valori mostrati nel grafico ed i valori medi di magnitudo, distanza ed epsilon.



Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto: lat. 44.815 lon. 11.307 - id 15398)											
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	15.8000	27.4000	14.0000	6.2200	0.6950	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	3.8600	9.8900	8.3000	5.5800	0.7930	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.2040	1.2900	1.9600	1.9800	0.3520	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0644	0.4350	0.6610	0.1220	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0401	0.1870	0.0343	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0358	0.0143	0.0010	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0066	0.0217	0.0049	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003	0.0130	0.0046	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0049	0.0029	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0012	0.0015	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0005	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
4.96	9.39	0.647

Tabella 5 – Valori medi Magnitudo e Distanza in base al metodo della disaggregazione

Come si nota, con tale metodo $M_{W\text{medio}} = 4.96$ per una distanza di 9.39 km.

5.5 Parametri per la determinazione dell'azione sismica di riferimento

Ai sensi del D.M. 17/01/2018, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto deve essere valutata l'influenza delle condizioni litologiche e geomorfologiche locali, determinando quindi la corrispondente categoria (o tipo) di sottosuolo nonché le condizioni topografiche del sito di interesse

5.5.1 Categoria di sottosuolo e frequenza propria di sito

La determinazione della classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{S,eq}$ (in m/s).

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$ ottenuto ponendo $H=30$ m dall'espressione riportata di seguito e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

L'analisi dell'assetto stratigrafico e dei valori di $V_{S,eq}$ è stato valutato con le misurazioni disponibili dalle prove sismiche M.A.S.W. di riferimento riportate nei paragrafi dedicati ed effettuate nelle vicinanze dell'area di studio, ha permesso di associare i terreni investigati e contigui all'area d'esame ad una **categoria di sottosuolo di tipo "C"**, ovvero "*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s*".

5.5.2 Condizioni topografiche

Per quanto concerne le caratteristiche della superficie topografica, essendo le aree in oggetto localizzate in ambito di pianura e non essendovi particolari emergenze topografiche che possano dar

luogo ad effetti di amplificazione sismica locale, le morfologie possono essere ricondotte ad una delle configurazioni superficiali semplici previste nel D.M. 17/01/2018 in Tabella 3.2.III.

Tab. 3.2.III – Categorie topografiche

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

In particolare, l'area d'esame può essere classificata di categoria **T1, "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ "**, caratterizzata da un coefficiente di amplificazione topografica $ST = 1,0$

5.6 Pericolosità sismica del sito

Dato che le porzioni dell'impianto ricadono in due reticoli sismici differenti, le aree saranno trattate separatamente.

5.6.1 Porzione ovest dell'impianto (Loc. Area industriale e loc. stazione elettrica)

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ : 5 %
 Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$: 1.000
 Categoria sottosuolo: A
 Categoria topografica:
 T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°

Muri di sostegno NTC 2008

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.011	0.015	0.058	0.081
kv	0.006	0.007	0.029	0.041
amax [m/s ²]	0.543	0.714	1.945	2.572
Beta	0.200	0.200	0.290	0.310

Paratie NTC 2008

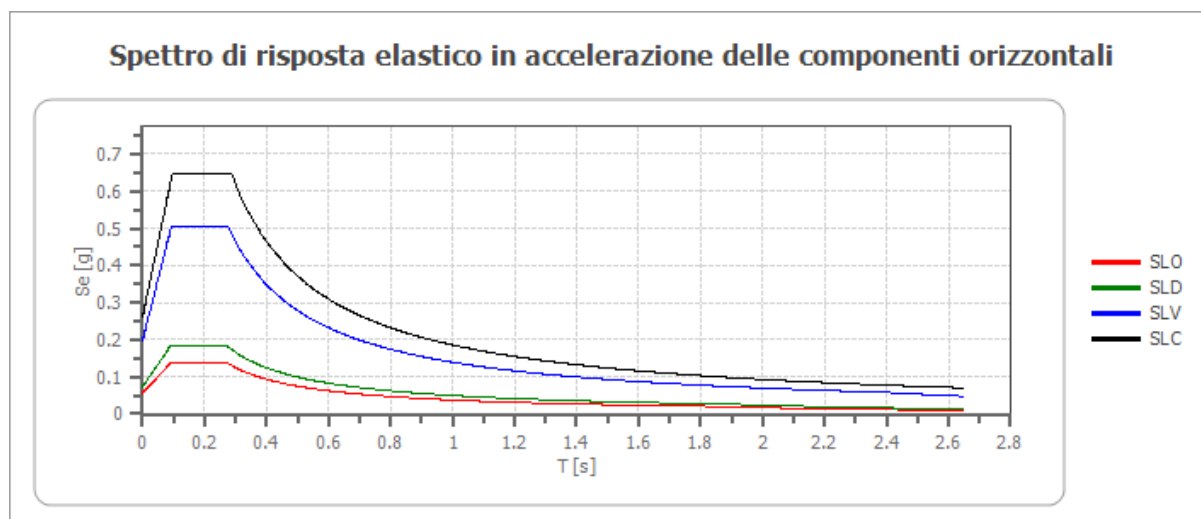
Altezza paratia (H): 3.0 [m]
 Spostamento ammissibile us: 0.015 [m]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.036	0.047	0.129	0.170
kv	--	--	--	--
amax [m/s ²]	0.543	0.714	1.945	2.572
Beta	0.650	0.650	0.650	0.650

Stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.011	0.015	0.054	0.079
kv	0.006	0.007	0.027	0.039
amax [m/s ²]	0.543	0.714	1.945	2.572
Beta	0.200	0.200	0.270	0.300

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

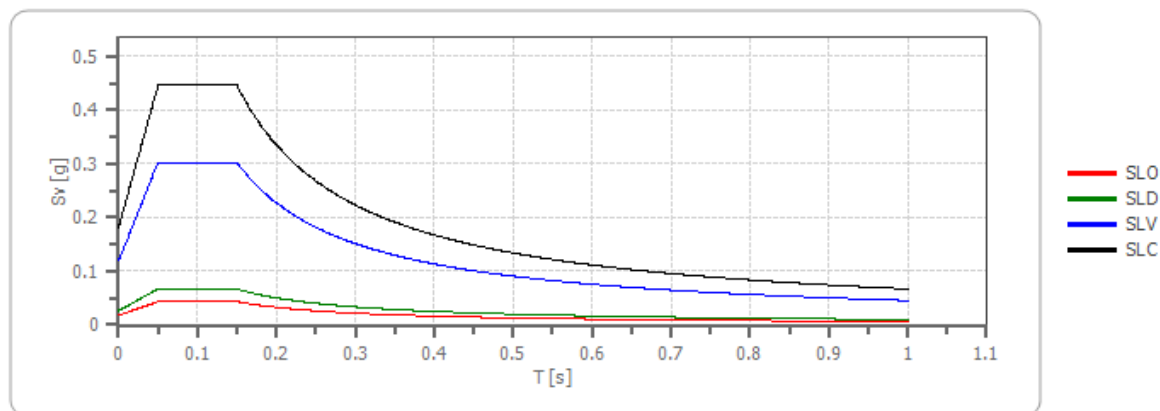


	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(T B) [g]
SLO	2.0	0.055	2.486	0.272	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.091	0.272	1.822	0.055	0.138
SLD	2.0	0.073	2.532	0.270	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.090	0.270	1.891	0.073	0.184
SLV	2.0	0.198	2.539	0.277	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.092	0.277	2.393	0.198	0.504
SLC	2.0	0.262	2.463	0.287	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.096	0.287	2.649	0.262	0.646

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ : 5 %
 Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$: 1.000

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



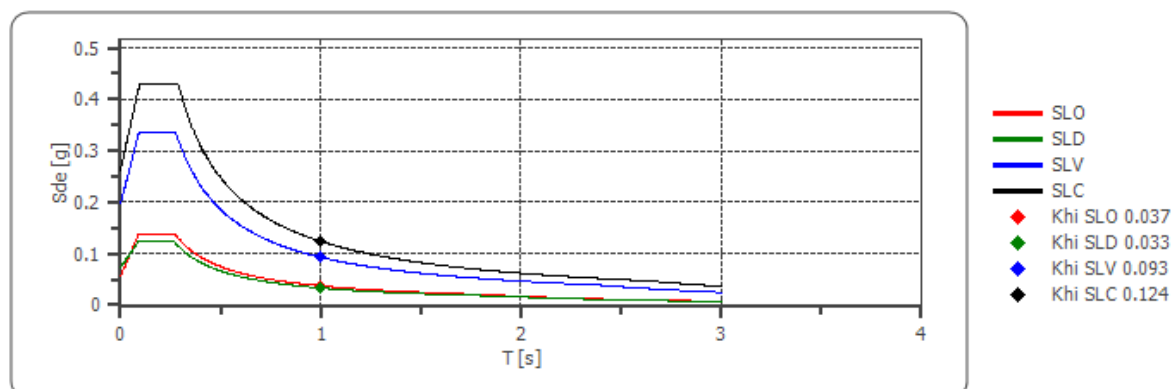
	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(T B) [g]
SLO	2.0	0.055	2.486	0.272	1	1.000	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.018	0.044
SLD	2.0	0.073	2.532	0.270	1	1.000	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.027	0.067
SLV	2.0	0.198	2.539	0.277	1	1.000	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.119	0.303
SLC	2.0	0.262	2.463	0.287	1	1.000	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.181	0.447

Spettro di progetto

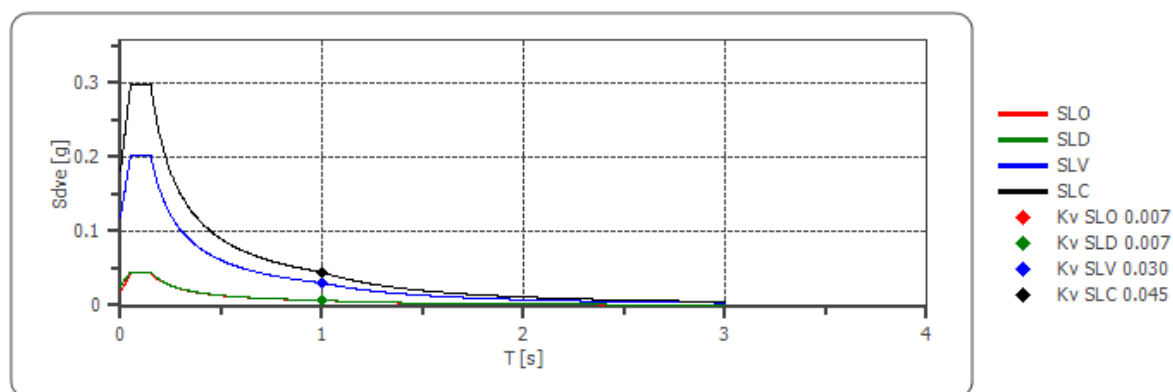
Fattore di struttura spettro orizzontale q: 1.50
 Fattore di struttura spettro verticale q: 1.50
 Periodo fondamentale T: 1.00 [s]

	SLO	SLD	SLV	SLC
khi = Sde(T) Orizzontale [g]	0.037	0.033	0.093	0.124
kv = Sdve(T) Verticale [g]	0.007	0.007	0.030	0.045

Spettro di progetto delle componenti orizzontali



Spettro di progetto delle componenti verticali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	q [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Sd(0) [g]	Sd(T B) [g]
SLO orizz ontale	2.0	0.055	2.486	0.272	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.091	0.272	1.822	0.055	0.138
SLO vertic ale	2.0	0.055	2.486	0.272	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.018	0.044
SLD orizz ontale	2.0	0.073	2.532	0.270	1.000	1.000	1.000	1.000	1.500	0.090	0.270	1.891	0.073	0.123
SLD vertic ale	2.0	0.073	2.532	0.270	1.000	1.000	1.000	1.000	1.500	0.050	0.150	1.000	0.027	0.045

SLV orizz ontale	2.0	0.198	2.539	0.277	1.000	1.000	1.000	1.000	1.500	0.092	0.277	2.393	0.198	0.336
SLV vertic ale	2.0	0.198	2.539	0.277	1.000	1.000	1.000	1.000	1.500	0.050	0.150	1.000	0.119	0.202
SLC orizz ontale	2.0	0.262	2.463	0.287	1.000	1.000	1.000	1.000	1.500	0.096	0.287	2.649	0.262	0.431
SLC vertic ale	2.0	0.262	2.463	0.287	1.000	1.000	1.000	1.000	1.500	0.050	0.150	1.000	0.181	0.298

5.6.2 Porzione est dell'impianto (loc. le Casette)

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ :

5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$:

1.000

Categoria sottosuolo: A

Categoria topografica:

T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°

Muri di sostegno NTC 2008

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.011	0.014	0.057	0.080
kv	0.005	0.007	0.028	0.040
amax [m/s ²]	0.534	0.701	1.920	2.541
Beta	0.200	0.200	0.290	0.310

Paratie NTC 2008

Altezza paratia (H):

3.0 [m]

Spostamento ammissibile us:

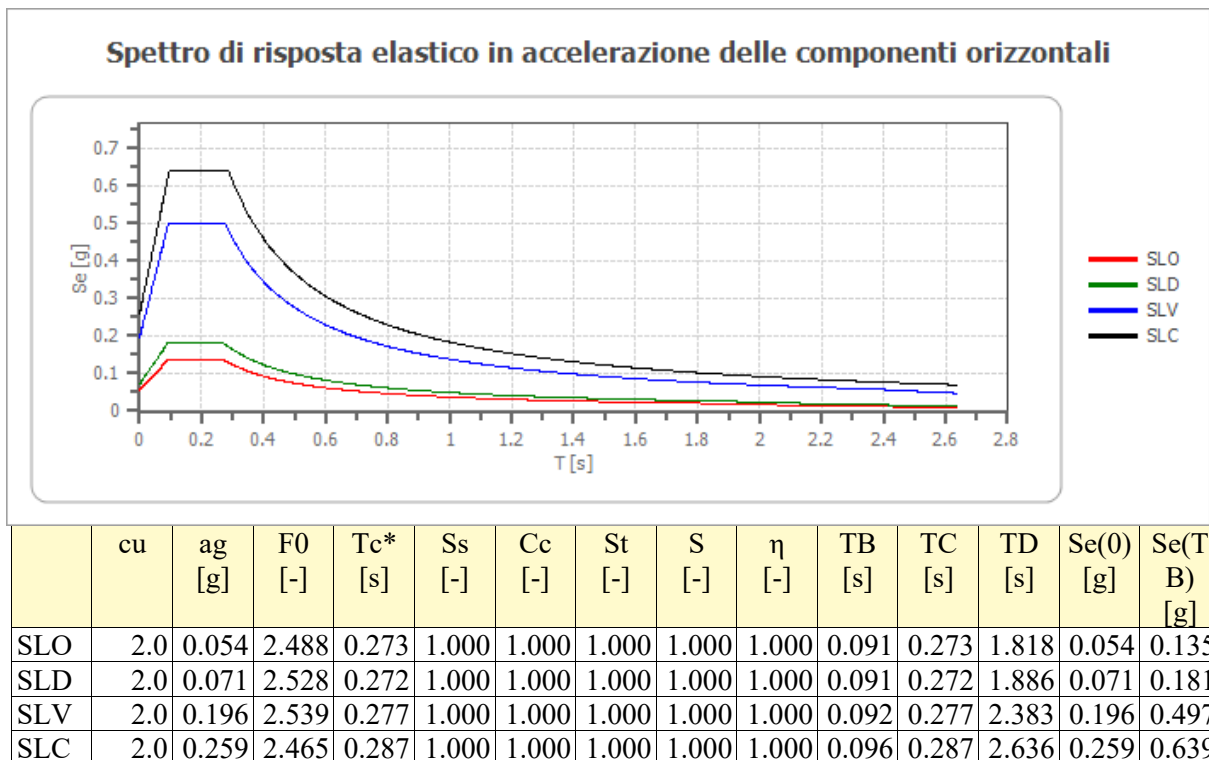
0.015 [m]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.035	0.046	0.127	0.168
kv	--	--	--	--
amax [m/s ²]	0.534	0.701	1.920	2.541
Beta	0.650	0.650	0.650	0.650

Stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.011	0.014	0.053	0.078
kv	0.005	0.007	0.026	0.039
amax [m/s ²]	0.534	0.701	1.920	2.541
Beta	0.200	0.200	0.270	0.300

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



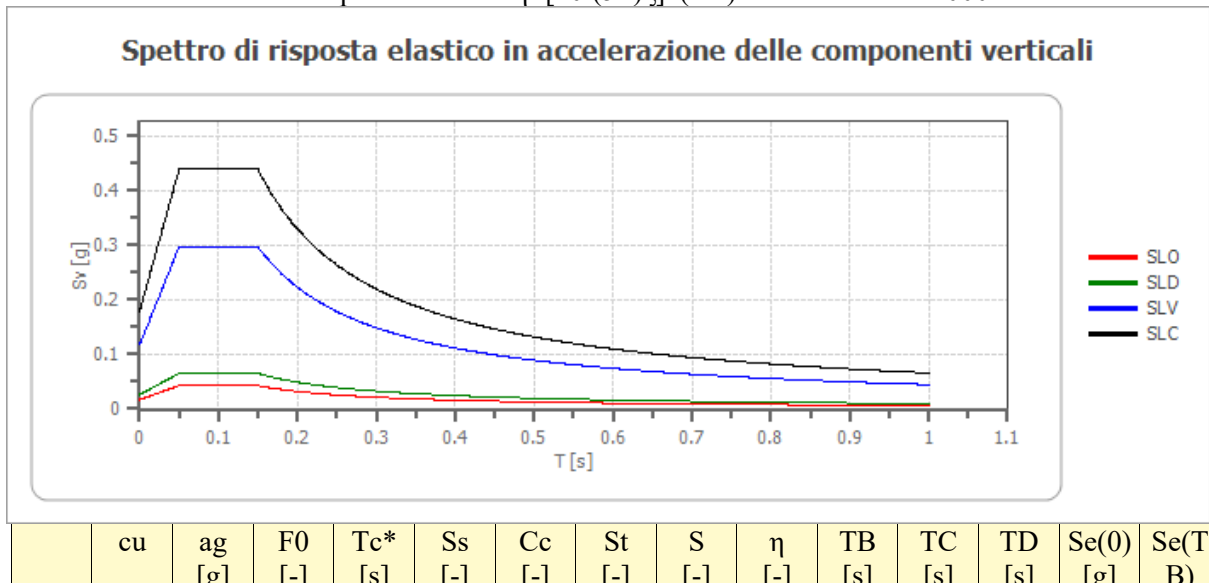
Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ :

5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$:

1.000



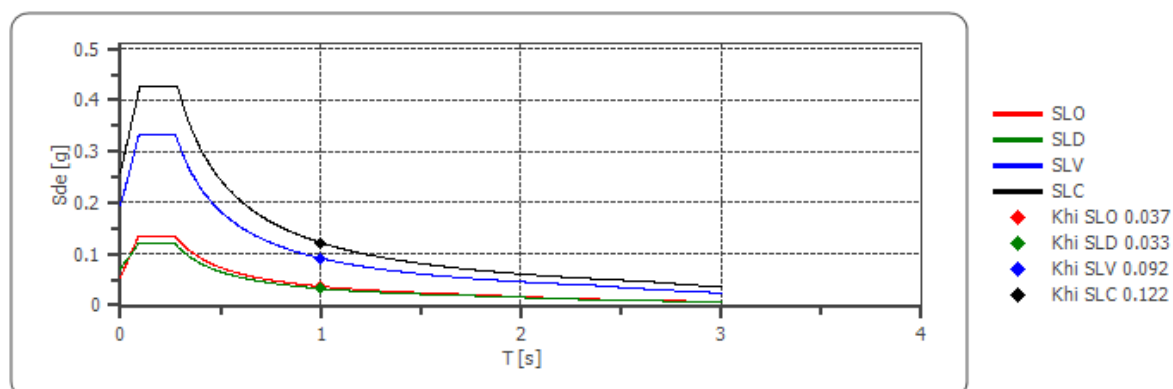
														[g]
SLO	2.0	0.054	2.488	0.273	1	1.000	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.017	0.043
SLD	2.0	0.071	2.528	0.272	1	1.000	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.026	0.065
SLV	2.0	0.196	2.539	0.277	1	1.000	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.117	0.297
SLC	2.0	0.259	2.465	0.287	1	1.000	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.178	0.439

Spettro di progetto

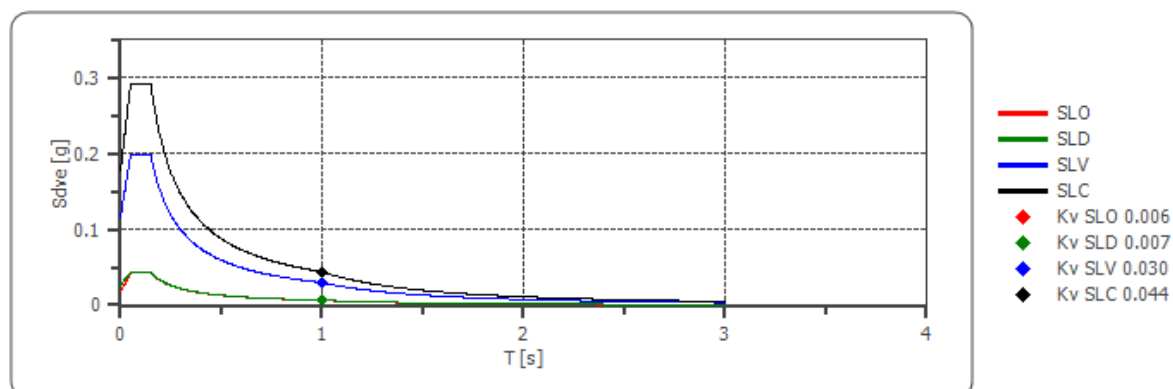
Fattore di struttura spettro orizzontale q: 1.50
Fattore di struttura spettro verticale q: 1.50
Periodo fondamentale T: 1.00 [s]

	SLO	SLD	SLV	SLC
khi = Sde(T) Orizzontale [g]	0.037	0.033	0.092	0.122
kv = Sdve(T) Verticale [g]	0.006	0.007	0.030	0.044

Spettro di progetto delle componenti orizzontali



Spettro di progetto delle componenti verticali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	q [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Sd(0) [g]	Sd(T B) [g]
SLO orizz ontal e	2.0	0.054	2.488	0.273	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.091	0.273	1.818	0.054	0.135
SLO vertic ale	2.0	0.054	2.488	0.273	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.017	0.043
SLD orizz ontal e	2.0	0.071	2.528	0.272	1.000	1.000	1.000	1.000	1.500	0.091	0.272	1.886	0.071	0.120
SLD vertic ale	2.0	0.071	2.528	0.272	1.000	1.000	1.000	1.000	1.500	0.050	0.150	1.000	0.026	0.043
SLV orizz ontal e	2.0	0.196	2.539	0.277	1.000	1.000	1.000	1.000	1.500	0.092	0.277	2.383	0.196	0.331
SLV vertic ale	2.0	0.196	2.539	0.277	1.000	1.000	1.000	1.000	1.500	0.050	0.150	1.000	0.117	0.198
SLC orizz ontal e	2.0	0.259	2.465	0.287	1.000	1.000	1.000	1.000	1.500	0.096	0.287	2.636	0.259	0.426
SLC vertic ale	2.0	0.259	2.465	0.287	1.000	1.000	1.000	1.000	1.500	0.050	0.150	1.000	0.178	0.293

5.7 Verifica a liquefazione

Le nuove norme sulle costruzioni (NTC2018) al punto 7.11.3.4.2 tracciano le linee guida per valutare la suscettibilità alla liquefazione dei terreni. La normativa specifica in modo molto chiaro che la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- accelerazioni massime attese al p.c. minori di 0.1g;
- profondità della falda superiore a 15 m dal p.c.;
- distribuzione esterna al campo granulometrico delle sabbie;
- resistenze penetrometriche normalizzate $q_c > 180$.

Una delle criticità che interessa il territorio comunale di Finale Emilia è legata alla presenza di terreni potenzialmente suscettibili di liquefazione.

La manifestazione in superficie di effetti di sito legati a fenomeni di liquefazione è stata documentata, in occasione del sisma del 2012, anche in diverse aree del territorio del Comune di Finale Emilia anche se in modo estremamente limitato negli ambiti urbanizzati ed urbanizzabili analizzati.

A seguito di tale attività si sono ottenuti numerosi dati puntuali che hanno fornito un quadro piuttosto completo dei fenomeni di liquefazione verificatisi a seguito della scossa del 20 maggio ed in misura minore, limitata alla porzione più occidentale dell'area epicentrale, a seguito di quella del 29 maggio. Si tratta di oltre 2000 punti rilevati sul terreno e da riprese aeree da tutti i gruppi coinvolti, anche se in molti casi si tratta della stessa emergenza rilevata più volte da gruppi diversi. Inoltre, le informazioni associate ai punti rilevati sono di natura diversa per i diversi gruppi e non sempre è stata rilevata la tipologia del fenomeno osservato. Per queste ragioni il rilievo più completo ad oggi disponibile appare quello del gruppo di lavoro EMERGEIO di INGV (Emergeo Working Group, 2013) di cui, in Figura 16, è riportata la localizzazione dei fenomeni di liquefazione segnalati.

È bene ricordare che la mancanza di evidenze superficiali quali la fuoriuscita di sabbia dal terreno, non esclude che il fenomeno della liquefazione possa essersi comunque verificato a carico dei depositi sabbiosi saturi presenti in profondità, dando luogo, in ogni caso, a cedimenti del terreno più o meno evidenti in superficie.

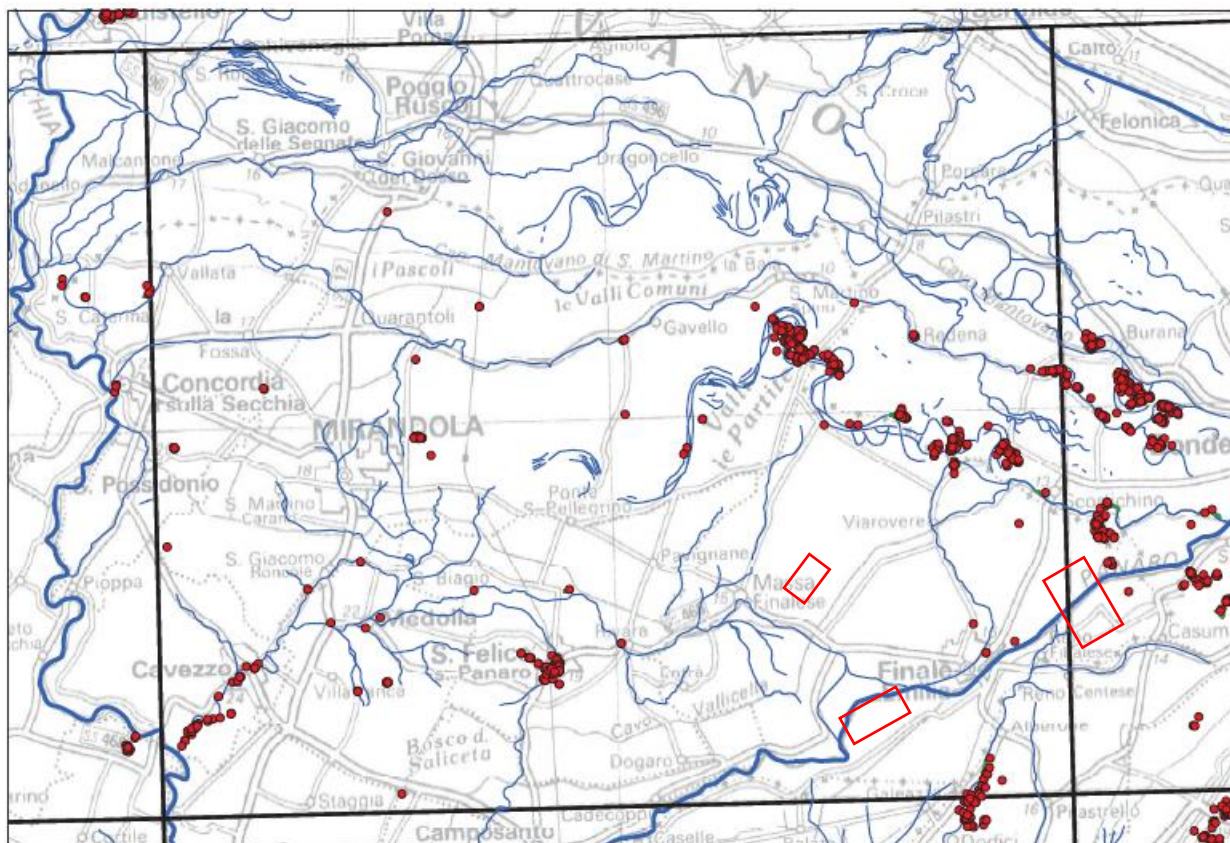


Figura 16 – Aree in cui sono stati segnalati fenomeni di liquefazione superficiali in occasione del sisma del 2012 (informazione estratta dalla banca dati di Regione Emilia-Romagna) con indicazione dell'area di progetto

Inoltre si segnala che nell'ambito dell'Ordinanza del Commissario delegato per la ricostruzione n.70 del 13 novembre 2012 è stata realizzata la “Carta dei fattori di amplificazione e del rischio liquefazione” nello studio di microzonazione sismica del Comune di Finale Emilia in cui oltre la classificazione delle zone suscettibili di amplificazione e liquefazione è stato assegnato un valore indice di liquefazione (classificazione secondo Sommez, 2003) definendo, ai fini della progettazione (Norme Tecniche per le Costruzioni 2008), delle zone (categoria di sottosuolo S2) in cui non è ammessa la definizione dell'azione sismica tramite l'approccio semplificato descritto al punto 3.2.2 delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008.

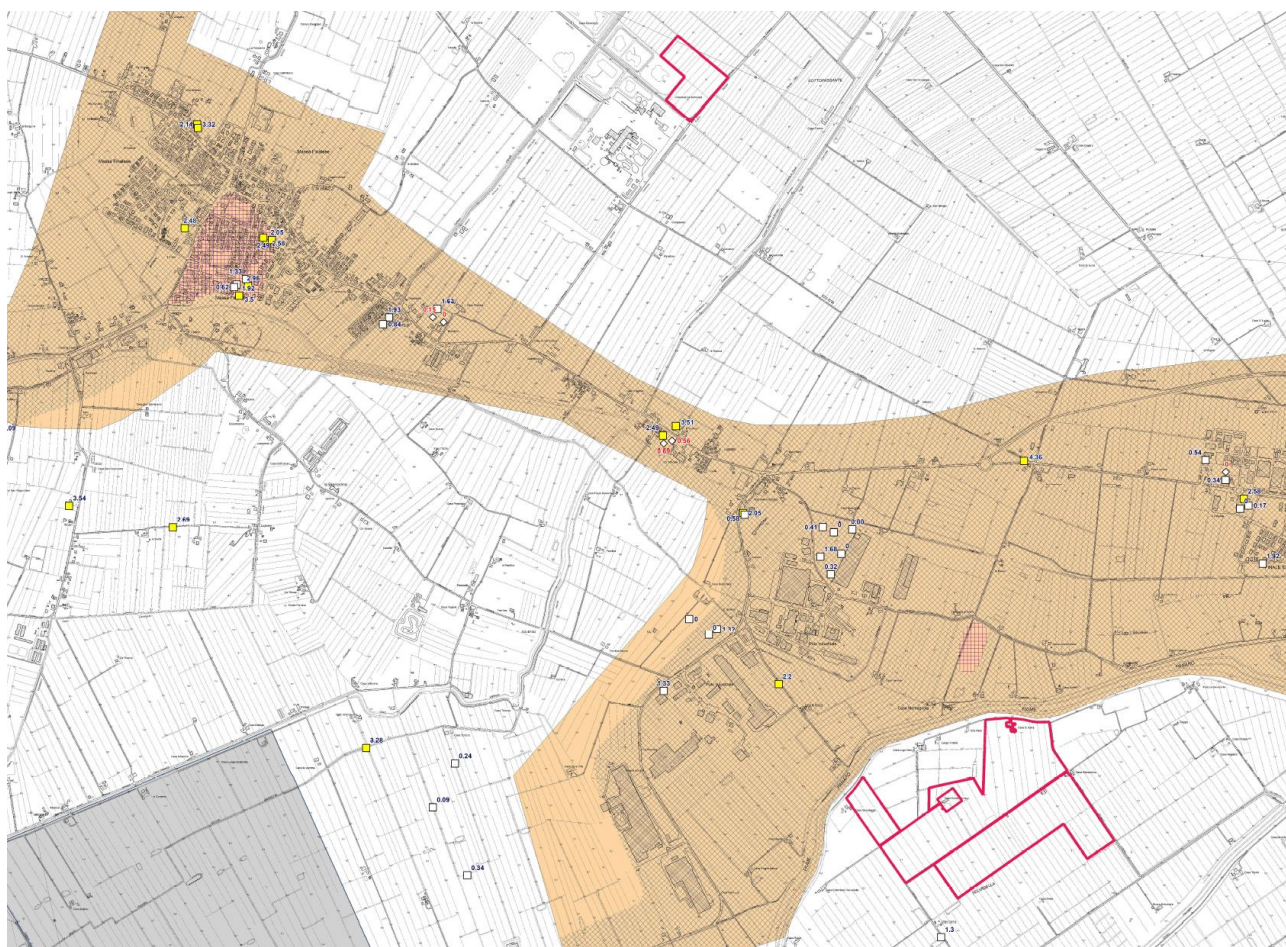
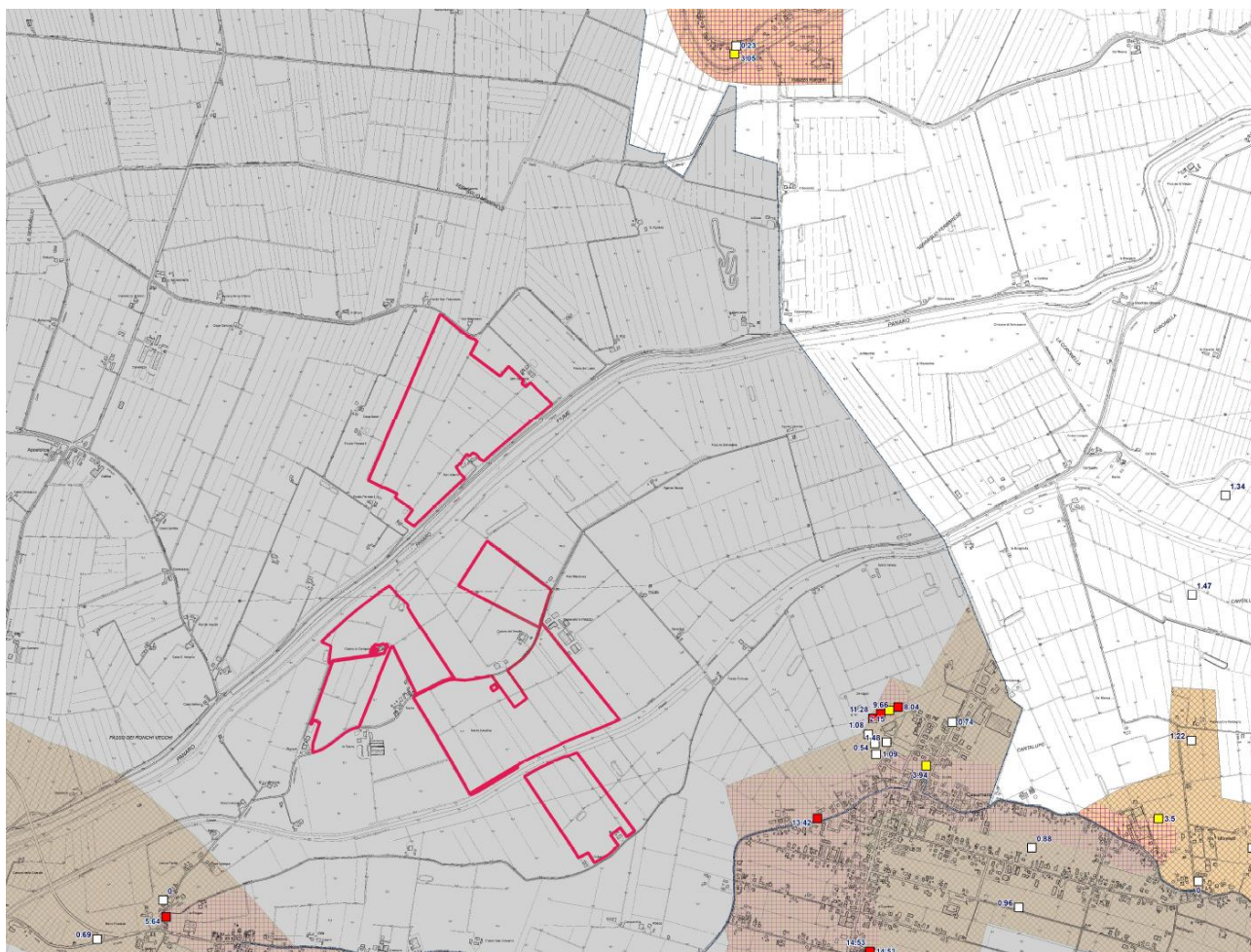
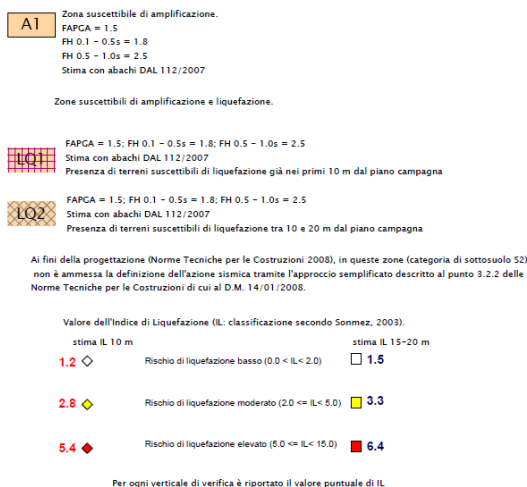


Figura 17 – Stralcio della Carta dei fattori di amplificazione e del rischio liquefazione del Comune di Finale Emilia Tav.1/2 con indicazione della porzione ovest dell’impianto



**Figura 18 – Stralcio della Carta dei fattori di amplificazione e del rischio liquefazione del Comune di Bondeno
Tav.4/6 con indicazione della porzione est dell’impianto**

Legenda



Come evidente dalla cartografia riportata e dai dati storici la porzione ovest dell'impianto ricade in Area C (in grigio) dove il rischio di liquefazione risulta basso/nullo ma può comunque essere soggetto a fenomeni di amplificazione sismica. Per quanto riguarda le porzioni ad est dell'impianto si noti come esse sono costituite da associazioni litologiche analoghe il rischio di liquefazione risulta basso (es. come dalla verticale RL: 1.3) e dai dati storici non sono stati segnalati eventi di liquefazione in seguito al terremoto del 2012.

Da queste considerazioni è possibile considerare nella presente fase progettuale il sito di progetto adeguato dal punto di vista della liquefazione e si può quindi omettere la verifica. Se richiesto dal progettista in fase esecutiva si raccomanda di eseguire prove ad-hoc per la verifica puntuale.

6 Conclusioni

Con lo studio eseguito è stata caratterizzata l'area di sedime del Parco solare fotovoltaico "Energia del Panaro" da 83.2 MWp sotto il profilo geologico e sismico in ottemperanza alle vigenti norme della Regione Emilia-Romagna e le NTC2018.

Lo studio per la caratterizzazione geolitologica geotecnica e sismica si è avvalso delle risultanze delle indagini e sperimentazioni specialistiche ricavata dalla letteratura. In base all'intero novero dei dati sperimentali è stato elaborato il modello geotecnico preliminare del sottosuolo d'imposta del Parco Fotovoltaico.

L'area di studio, divisa in tre porzioni è situata ad ovest ed a est rispetto al centro abitato del Comune di Finale Emilia, in aree a valenza agricola. Presenta una morfologia subpianeggiante e non soggetta a variazioni e, pertanto, stabile sotto tale profilo (Categoria topografica T1).

Per la valutazione del Rischio Sismico Locale è stato eseguito lo studio specifico richiesto dalle norme. Per i parametri sismici si faccia riferimento all'analisi svolta nella specifica relazione sismica; in ogni caso, in fase esecutiva è necessario elaborare uno studio specifico per la definizione degli spettri elastici individuando la classificazione del suolo tramite apposite indagini MASW.

In fase esecutiva, i dati ricavati dall'elaborazione delle indagini di riferimento suggeriscono le seguenti considerazioni:

- si consiglia eseguire preventivamente prove di carico sui piani fondali prescelti;
- un'apposita indagine in situ completa di prove di laboratorio per caratterizzare puntualmente i terreni;
- indagini geofisiche puntuali ed analisi della risposta sismica locale;
- i sostegni in acciaio per le basi di fondazione dei pannelli se battuti in situ (pali) offrono una buona soluzione.
- per quanto concerne le strutture di fondazioni dei locali tecnici e di trasformazione, è preferibile localizzare le platee in cemento al di fuori delle zone di avvallamenti topografici e lontano dalle linee di deflusso idrico superficiale.

Infine, per quanto attiene ai potenziali fenomeni di instabilità dei fronti di scavo, si pone in evidenza che è comunque necessario il rispetto delle seguenti norme sulla sicurezza:

D. Lgs 81/2008, art. 118: Nei lavori di splateamento o sbancamento eseguiti senza l'impiego di escavatori meccanici, le pareti delle fronti di attacco devono avere una inclinazione o un tracciato tali, in relazione alla natura del terreno, da impedire franamenti. Quando la parete del fronte di attacco supera l'altezza di m 1,50, è vietato il sistema di scavo manuale per scalzamento alla base e conseguente franamento della parete. Quando per la particolare natura del terreno o per causa di piogge, di infiltrazione, di gelo o disgelo, o per altri motivi, siano da temere frane o scoscendimenti, deve essere provveduto all'armatura o al consolidamento del terreno;

D. Lgs 81/2008, art. 118: Nello scavo di pozzi e di trincee profondi più di m 1,50, quando la consistenza del terreno non dia sufficiente garanzia di stabilità, anche in relazione alla pendenza delle pareti, si deve provvedere, man mano che procede lo scavo, all'applicazione delle necessarie armature di sostegno;

D. Lgs 81/2008, art. 120: È vietato costituire depositi di materiali presso il ciglio degli scavi. Qualora tali depositi siano necessari per le condizioni del lavoro, si deve provvedere alle necessarie puntellature;

DM 14 01 08 "Norme tecniche sulle costruzioni", 6.8.6. (fronti di scavo): Per scavi trincea a fronte verticale di altezza superiore ai 2 m, nei quali sia prevista la permanenza di operai, e per scavi che ricadano in prossimità di manufatti esistenti, deve essere prevista una armatura di sostegno delle pareti di scavo.

Tutti i materiali di scavo vanno stoccati e lavorati, se occorre, in sito, altrimenti vanno smaltiti secondo le norme vigenti.

Napoli, agosto 2025

Dr. Gaetano Ciccarelli

7 Limitazioni

Questa relazione è fornita per l'uso esclusivo del firmatario solo per questo progetto e per gli scopi di cui descritto nella relazione. Non deve essere utilizzato o invocato per altri progetti o scopi sullo stesso o altro sito o da una terza parte.

Nella redazione del presente rapporto si è necessariamente avvalsi delle informazioni fornite dal cliente e/o dai suoi tecnici.

Le conclusioni e le raccomandazioni presentate in questo rapporto si basano sulle informazioni fornite dai progettisti ed inquadrare nell'analisi delle indagini sul campo e di laboratorio di riferimento.

I risultati forniti nella relazione sono indicativi delle condizioni nello stato di fatto dei terreni così come indagato con le sperimentazioni di riferimento. Le condizioni del sottosuolo, ritenute adatte alla presente fase progettuale, possono cambiare bruscamente a causa di processi geologici variabili e anche a causa di interventi antropici.

Se la costruzione proposta viene trasferita o riprogettata, o se le condizioni locali cambiano anche per interventi al contorno delle aree studiate ed oggetto del presente lavoro, le conclusioni e le raccomandazioni contenute in questo rapporto devono essere considerate non valide a meno che le modifiche non vengano, previe comunicazioni tecniche ufficiali rese per iscritto, successivamente esaminate e validate dagli scriventi sì che possano essere riconsiderate e/o validate.

Le condizioni del sito modificate o il trasferimento delle strutture proposte possono richiedere ulteriori indagini e prove specifiche per determinare se le nostre conclusioni e raccomandazioni sono applicabili in considerazione delle mutate condizioni.

La presente relazione deve essere letta unitamente a tutte le note allegate e deve essere conservata integralmente senza separazione di singole pagine o sezioni.

La CG Associati Srls non può essere ritenuta responsabile per interpretazioni o conclusioni fatte da altri a meno che non siano supportate da una dichiarazione espressamente resa alla scrivente che deve accettare le interpretazioni e le implicazioni geologico-tecniche.

I nostri servizi professionali sono stati eseguiti e resi, unitamente alle raccomandazioni in conformità con i principi e le buone pratiche ingegneristiche generalmente accettate. Questa garanzia è sostitutiva di tutte le altre garanzie espresse o implicite.

8 Bibliografia

- Amorosi, A., & Bruno, L. (2024, October 3). Note Illustrative della Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000 F. 184 Mirandola, Servizio Geologico d'Italia - ISPRA.
<http://doi.org/10.15161/oar.it/211808>
- Basili, Roberto, et al. "The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology." *Tectonophysics* 453.1-4 (2008): 20-43.
- Boccaletti, Mario, Giacomo Corti, and Luca Martelli. "Recent and active tectonics of the external zone of the Northern Apennines (Italy)." *International Journal of Earth Sciences* 100.6 (2011): 1331-1348.
- CASTELLARIN, ALBERTO, et al. "GIORNALE DI GEOLOGIA." *Giornale di geologia* 47 (1985): 1.
- Castiglioni, G. B., et al. "Carta Geomorfologica della Pianura Padana a scala 1: 250.000." (1997).
- Devoti, Roberto, et al. "Evidence of large scale deformation patterns from GPS data in the Italian subduction boundary." *Earth and Planetary Science Letters* 311.3-4 (2011): 230-241.
- Emergeo Working Group. "Liquefaction phenomena associated with the Emilia earthquake sequence of May–June 2012 (Northern Italy)." *Natural Hazards and Earth System Sciences* 13.4 (2013): 935-947.
- Emilia-Romagna, Regione. "ENI-AGIP (1998) Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna." *S. EL. CA, Firenze*: 120.
- Galli, Paolo, Sergio Castenetto, and Edoardo Peronace. "The MCS macroseismic survey of the Emilia 2012 earthquakes." *Annals of Geophysics* 55.4 (2012).
- Iadanza C., Trigila A., Starace P., Dragoni A., Roccisano M., Biondo T. (2021) IdroGEO: A Collaborative Web Mapping Application Based on REST API Services and Open Data on Landslides and Floods in Italy. [ISPRS International Journal of Geo-Information. 2021; 10\(2\):89.](#)

- *Indagine geotecnica preventiva sui terreni di fondazione e caratterizzazione sismica elab. 19_geologica x richiesta Var n 27 - Adozione 23 Variante P.R.G.*” del Comune di Finale Emilia
- INGV; 2009: Mappe di pericolosità sismica (http://esse1-gis.mi.ingv.it/s1_en.php).
- Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D’Amico S., Antonucci A. (2022). Database Macrosismico Italiano (DBMI15), versione 4.0 [Data set]. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/dbmi/dbmi15.4>
- Montone, Paola, Maria Teresa Mariucci, and Simona Pierdominici. "The Italian present-day stress map." *Geophysical Journal International* 189.2 (2012): 705-716.
- Pieri M. & Groppi G. (1981): Subsurface geological structure of the Po Plain, Italy. Pubbl. 434 P. F. Geodinamica, C.N.R., pp. 1-23, Milano
- PO, AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME. "Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI)." (2003).
- Pondrelli, Silvia, et al. "Quick regional centroid moment tensor solutions for the Emilia 2012 (northern Italy) seismic sequence." *Annals of Geophysics* 55.4 (2012).
- Progetto per la realizzazione e l’esercizio di un parco agrivoltaico avanzato della potenza di 60,49484 MW, delle opere connesse e delle infrastrutture indispensabili denominato “Valletta”. Relazione Geologica in ambito di PFTE a cura del Dott. Geol. Eugenio Martire del 15/07/2024
- Scognamiglio, Laura, et al. "The 2012 Pianura Padana Emiliana seismic sequence: locations, moment tensors and magnitudes." *Annals of Geophysics* 55.4 (2012).
- Servizio Geologico d'Italia. (2024). Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, F. 184 Mirandola [Data set]. <http://doi.org/10.15161/oar.it/211806>
- Stucchi, M., et al. "Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri del 20 Marzo 2003, n. 3274." (2004).