

Concetto Green S.r.l.

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

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

Progetto Definitivo Impianto agrivoltaico

Allegato C.07 Relazione Sismica



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

Rev. 0

Giugno 2023

wood.

Indice

1	PREMESSA	4
	1.1 Area in esame	4
	1.1.1 Impianto agrivoltaico	4
	1.1.2 Percorso cavidotto MT	7
	1.2 Scopo della presente documentazione	8
	1.3 Indagini geognostiche di riferimento	8
	1.3.1 Impianto agrivoltaico	8
	1.3.2 Percorso cavidotto MT	8
2	QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO	9
3	RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA CONCERNENTE LA “PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE” DEL SITO DI COSTRUZIONE	10
	3.1 Descrizione della metodologia tromografica e HVSR e scopo dell’indagine	10
	3.2 Risultati dell’indagine tromografica eseguita	11
	3.3 Ulteriori elementi di Caratterizzazione	12
	3.4 Storia sismica locale	13
	3.5 Disaggregazione statistico- probabilistica dei dati sismici	18
4	CONCLUSIONI	21

Elaborati Grafici

Nome File	Descrizione elaborato	Scala	Rev.	Data
All. C.05 Tav. 01	Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche	-	0	Mag-23

Allegati

Nome File	Descrizione elaborato	Rev.	Data
All. C.07.01	Restituzione indagini sismiche	0	Giu-23
All. C.07.02	Studio di risposta sismica locale	0	Giu-23

Questo documento è di proprietà di Concetto Green S.r.l. e il detentore certifica che il documento è stato ricevuto legalmente. Ogni utilizzo, riproduzione o divulgazione del documento deve essere oggetto di specifica autorizzazione da parte di Concetto Green S.r.l.

1 PREMESSA

Il progetto consiste nella realizzazione di un impianto agrivoltaico da circa 69.423,2 kWp ed opere di connessione nei comuni di Lugo, Alfonsine, Fusignano, Bagnacavallo e Ravenna in Provincia di Ravenna (RA).

1.1 Area in esame

1.1.1 Impianto agrivoltaico

L'area in esame è ubicata a E-SE dell'abitato di Voltana e a N-NW dell'abitato di Alfonsine e ricade in ambito di pianura, a circa 2,00/4,00 m s.l.m.m.

La Figura 1 fornisce un inquadramento generale della zona di interesse su base cartografica C.T.R. 10.000 – Foglio 222080 ed identifica le N. 4 aree che costituiscono l'impianto agrivoltaico. Le Figure dalla 2 alla 6 rappresentano l'ubicazione delle indagini geognostiche e sismiche effettuate, su base orto-fotografica tratta da Google Earth ©, per ciascuna area di progetto.



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



Figura 2 - Ubicazione dell'Area 1 e dei punti di indagine su ortofoto Google Earth © in scala libera.



Figura 3 - Ubicazione dell'Area 2 e dei punti di indagine su ortofoto Google Earth © in scala libera.

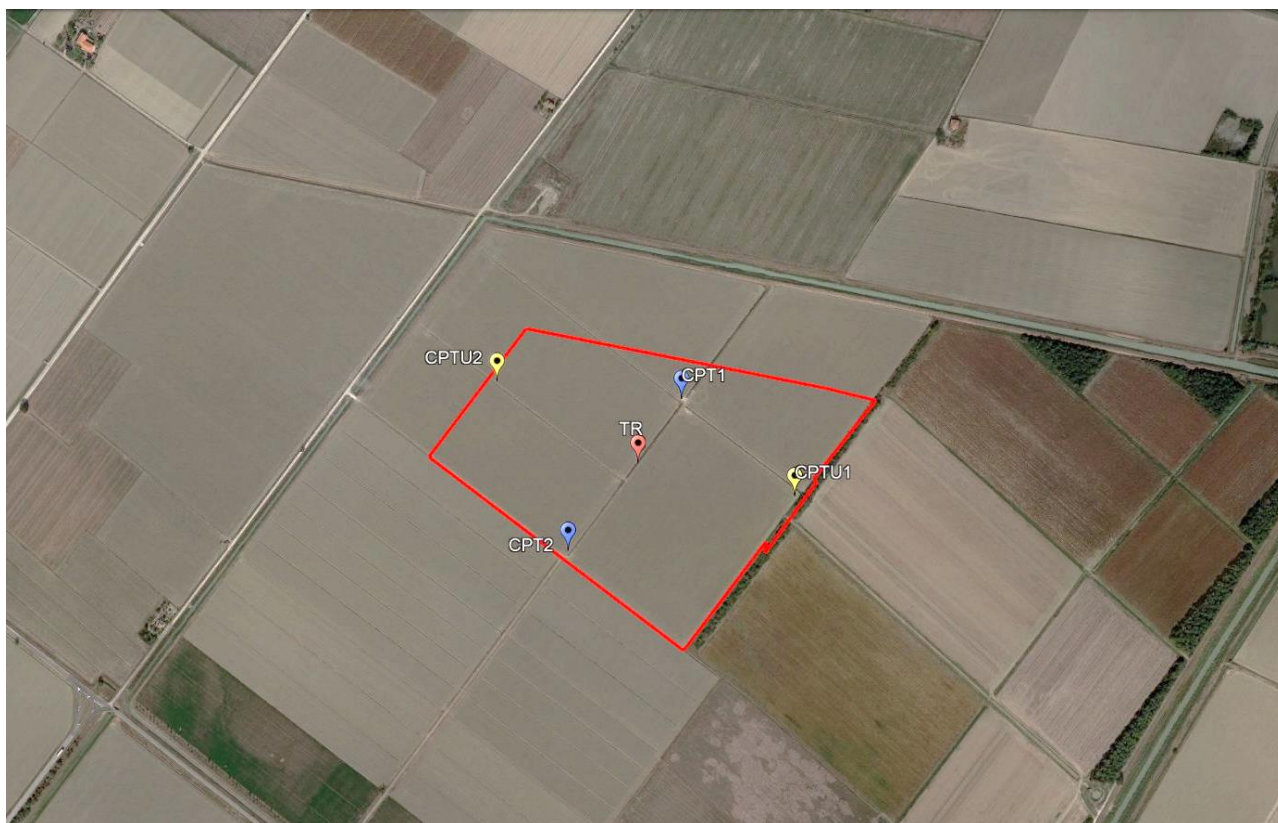


Figura 4 - Ubicazione dell'Area 3 dei punti di indagine su ortofoto Google Earth © in scala libera.



Figura 5 - Ubicazione dell'Area 4A-4B-4C e dei punti di indagine su ortofoto Google Earth © in scala libera.

1.1.2 Percorso cavidotto MT

Il cavidotto interrato che raggiungerà l'impianto di utenza, e quindi consentirà la connessione alla rete elettrica nazionale, si svilupperà nei territori del Comune di Lugo, Fusignano, Bagnacavallo e Ravenna. La lunghezza del cavidotto tra l'Area 4, a sud, e l'Impianto di Utenza è pari a circa 16 km. L'intera lunghezza del cavidotto dall'Area 1, all'estremo nord, al punto di connessione alla rete è pari a circa 22 km mentre la lunghezza del tracciato del cavidotto su strada è pari a circa 20 km.

Geograficamente il percorso del cavidotto è inquadrabile nella Carta Tecnica Regionale al Foglio 222080, 222120, 223090, e 223130 in scala 1:10.000.



Figura 6 - Ubicazione del percorso delle opere connesse fino all'impianto di utenza su ortofoto Google Earth © in scala libera.

1.2 Scopo della presente documentazione

La presente relazione di modellazione sismica è basata su di una campagna di indagini atta ad acquisire le necessarie conoscenze geologiche, litostratigrafiche, geotecniche e di caratterizzazione sismica dell'area in esame (anche sulla base di riscontri su dati relativi ad aree prossime ed assimilabili a quella in esame, conoscenze in possesso di bibliografia).

La presente modellazione è stata condotta nello spirito delle NTC vigenti e dell'O.P.C.M. 3274/2003 e seguenti.

La classificazione sismica dell'area in esame è stata individuata sulla base di una misura sismica passiva locale, di tipo H/V (di cui si dirà oltre) realizzata tramite apparecchiatura tromografica TROMINO © di costruzione MICROMED (e restituzione dei dati mediante apposito software GRILLA ©- MICROMED) e si è basata sui contenuti delle NTC vigenti.

1.3 Indagini geognostiche di riferimento

1.3.1 Impianto agrivoltaico

Si è eseguita, in accordo con la Committenza, una indagine stratigrafica, sismica e geotecnica locale che è consistita nell'esecuzione delle prove:

- **AREA 1**
 - n. 2 prove CPT
 - n. 1 prova CPTU
 - n. 1 indagine sismica di tipo tromografico (TR).
- **AREA 2**
 - n. 2 prove CPT
 - n. 1 prove CPTU
 - n. 1 indagine sismica di tipo tromografico (TR).
- **AREA 3**
 - n. 2 prove CPT
 - n. 2 prove CPTU
 - n. 1 indagine sismica di tipo tromografico (TR).
- **AREA 4A-4B-4C**
 - n. 6 prove CPT
 - n. 2 prove CPTU
 - n. 2 indagini sismiche di tipo tromografico (TR).

Per l'espletamento delle prove sono stati utilizzati:

- CPT: penetrometro statico tipo Pagani a doppio effetto atta al rilievo dell'attrito laterale;
- CPTU: penetrometro Tecnopenta;
- Indagini tromografica TR: tromografo TROMINO ® e l'apposito software GRILLA ® di costruzione Micromed.

1.3.2 Percorso cavidotto MT

Non si è svolta alcuna indagine sismica lungo il tracciato trattandosi di reti tecnologiche interrato a soli 1,2 m di profondità. Si ritiene ad ogni modo opportuno ricordare che gli attraversamenti del cavidotto di aree demaniali (TOC) saranno soggette a domanda di concessione per l'occupazione di suolo/sottosuolo delle aree e dovranno essere rispettate le prescrizioni impartite all'interno dell'atto.

2 QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO

Per l'esecuzione dell'incarico si è fatto riferimento alle seguenti leggi nazionali e regionali:

- D.M. 11/03/1988 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, ed i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione" in particolare per quanto attiene alla sezione H:
 - o L. 02/02/1974 n. 64 "Provvedimenti per le costruzioni con particolare riferimento alle prescrizioni per le zone sismiche"(art.13);
 - o D.M. 16/01/1996 "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche" in particolare al punto C.6.1.1.: Azioni orizzontali - coefficiente di fondazione " ϵ ";
- O.P.C.M. 3274/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" e s.m.i. e decreti attuativi;
- L.R. 30/10/2008 n.19 "Norme per la riduzione del rischio sismico" e s.m.i. e circolari illustrative;
- D.G.R. 1373/2011 "Atto di indirizzo recante l'individuazione della documentazione attinente alla riduzione del rischio sismico necessaria per il rilascio del permesso di costruire e per gli altri titoli edilizi, alla individuazione degli elaborati costitutivi e dei contenuti del progetto esecutivo riguardante le strutture e alla definizione delle modalità di controllo degli stessi, ai sensi dell'art. 12, comma 1, e dell'art. 4, comma 1, della L.R. n. 19 del 2008.
- D.M.17/01/18 "Norme tecniche per le costruzioni".
- D.G.R. 630/2019 "Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica".

Si è fatto altresì riferimento a varia e numerosa bibliografia tecnica.

3 RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA CONCERNENTE LA “PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE” DEL SITO DI COSTRUZIONE

La classificazione sismica dell'area in esame è basata sui contenuti delle NTC vigenti ed è stata individuata sulla base di una misura sismica passiva locale, di tipo H/V (di cui si dirà oltre) realizzata tramite apparecchiatura tromografica TROMINO © di costruzione MICROMED (e restituzione dei dati mediante apposito software GRILLA ©- MICROMED).

3.1 Descrizione della metodologia tromografica e HVSR e scopo dell'indagine

La metodologia tromografica si basa sulla misura diretta delle frequenze di naturale vibrazione dei suoli (e/o di altri oggetti poggiati direttamente o indirettamente sul suolo), sfruttando in pratica l'effetto pendolo. Nel dominio della frequenza vengono coinvolti quattro spettri rappresentati dalle componenti orizzontali e verticali del moto in superficie (HS e VS) e alla base dello strato (HB e VB).

La tecnica di Nakamura si basa sulle seguenti ipotesi: le sorgenti dei microtremori sono locali, trascurando qualsiasi contributo dovuto a sorgenti profonde; le sorgenti dei microtremori in superficie non influenzano i microtremori alla base; la componente verticale del moto non risente di effetti di amplificazione locale.

Sotto queste ipotesi, il rapporto fra le componenti verticali del moto in superficie ed alla base contiene solo termini delle sorgenti locali $AS(f)$ e delle sorgenti alla base $AB(f)$, ed è pari a:

$$R_v(f) = V_s(f)/V_B(f) = A_s(f)/A_B(f).$$

Mentre il rapporto fra l'ampiezza dello spettro della componente orizzontale del moto in superficie (HS) e alla base dello strato (HB), contiene oltre che il termine di sorgente anche il termine di amplificazione di sito in superficie $S(f)$ e può essere espresso nel seguente modo:

$$R_h(f) = H_s(f)/H_B(f) = [A_s(f) * S_s(f)] / A_b(f).$$

Per rimuovere l'effetto di sorgente dai segnali, Nakamura divide i due rapporti R fra loro ottenendo così la seguente espressione per la funzione trasferimento di sito:

$$R_h(f)/R_v(f) = S_s(\omega) = H_s(f)/H_B(f) * V_B(f)/V_s(f).$$

Ipotizzando infine che alla base dei sedimenti l'ampiezza spettrale della componente verticale e di quella orizzontale siano uguali e cioè:

$$V_B(f)/H_B(f) = 1.$$

Il fattore di amplificazione del moto orizzontale in superficie potrà essere valutato direttamente nel seguente modo:

$$S(f) = H_s(f)/V_s(f).$$

Le varie ipotesi sono state verificate dallo stesso Nakamura (1989) con misure di microtremori in superficie e in pozzo.

Le stesse assunzioni sono state verificate anche da altri autori confrontando i risultati ottenuti con modelli di propagazione di onde di Rayleigh, modelli di propagazione 1-D di onde S e con modelli di generazione sintetica di rumore. Le conclusioni a cui sono giunti gli studi suddetti sono che il picco visibile nei rapporti H/V ottenuti con il rumore simulato è indipendente dalle caratteristiche della sorgente del rumore e che dipende invece fortemente dalla stratigrafia del terreno.

Tale picco è inoltre ben correlato con la frequenza fondamentale di risonanza del terreno soggetto alla propagazione di onde S verticali e con il picco fondamentale delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh.

La misura è stata eseguita con un apparecchio portatile compatto (TROMINO MICROMED) che alloggia in un unico contenitore rigido metallico tre sensori sismometrici, un digitalizzatore a 24 bit ed il sistema di archiviazione su flash memory. Tutte le operazioni descritte sono state fatte prevalentemente in campagna, mediante un programma applicativo appositamente implementato. Questo ha permesso di avere già al sito la possibilità di verificare le misure effettuate ed eventualmente ripeterle. La misura di microtremori è infatti soggetta ad influenze ambientali (vento, pioggia, copertura artificiale dei terreni, ecc.): per una descrizione dettagliata dei problemi legati alla corretta effettuazione delle misure si veda Mucciarelli (1998).

Di seguito si riporta una succinta bibliografia di riferimento circa metodologia, utilizzo e restituzione della metodologia tromografica: Mucciarelli, M. (1998). Reliability and applicability range of Nakamura's technique using microtremors: an experimental approach, J. Earthquake Engin., Vol. 2, n. 4, 1-14. Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. QR Railway Tech. Res. Inst. 30, 1.

Lo scopo della misura eseguita è l'individuazione dei seguenti parametri caratteristici dell'area in esame:

- V_s e conseguente categoria sismica dei suoli di fondazione, secondo i contenuti del D.M. - N.T.C.
- Frequenza propria (di vibrazione) dei suoli di fondazione.

Nel prossimo paragrafo si riportano anche gli altri parametri di caratterizzazione sismica per l'area in esame, come "richiesti" dalle N.T.C..

L'indagine tromografica si è appoggiata alle conoscenze stratigrafiche locali derivanti dall'esecuzione dell'indagine penetrometrica statica. Ciò è indispensabile data la natura della strumentazione utilizzata e date le possibilità offerte dalle esperienze di Nakamura (et Alii), di cui si è sopra già ampiamente riportato.

È importante far osservare come uno strumento tromografico sia l'unica strumentazione in grado di misurare la frequenza propria di oscillazione dei terreni. Da tali dati si possono poi ricostruire tutte le altre componenti caratterizzanti dal punto di vista sismico i terreni di un'area (e sopra indicati).

La possibilità di risalire ai dati di V_{s30} conoscendo le frequenze tipiche di un suolo e gli spessori (profondità) dei suoi riflettori sismici, discende dalle esperienze di Nakamura e del derivato metodo HSVR precedentemente descritto.

Il metodo di indagine utilizzato presuppone alcune approssimazioni legate ad esempio al fatto che le velocità di propagazione delle onde sismiche provocate aumentano dall'alto verso il basso (per questo il metodo consente la determinazione delle velocità intese come medie del volume di terra indagato non avendo un grado di definizione elevato); le velocità V_s così misurate sono comunque significative, trattandosi pur sempre di una misura diretta. Nei grafici H/V – f, che verranno in seguito riportati, si individuano le varie frequenze tipiche dei terreni di fondazione, dato di notevole importanza per una accurata progettazione delle strutture da realizzarsi sull'area in esame.

Soprattutto in considerazione della tipologia strutturale da realizzarsi, si dovranno evitare accoppiamenti fra le modalità di vibrazione delle strutture (prevedibili in fase di progettazione) e le modalità di vibrazione dei terreni di fondazione, di cui sopra.

3.2 Risultati dell'indagine tromografica eseguita

Le misure tromografiche hanno individuato valori di V_s tra **198 m/s** e **203 m/s**.

La misura individua quindi i terreni di fondazione come classificabili nella categoria di riferimento **C**.

Tale categoria è descritta come: "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_s compresi fra 180 e 360 m/s.

Relativamente all'attendibilità del suddetto valore di V_s , è comunque chiaro che ogni metodologia d'indagine che attiene al "campo" geologico (ancor più se si tratta di un metodo geofisico) è normalmente/fisiologicamente "afflitta" da una aliquota di imprecisione/indeterminatezza e poiché per il metodo in oggetto Autori quali S. Castellaro riportano valori pari al +/-15/20%, sarà il caso di valutare l'influenza di tale errore sui valori sopra riportati.

In relazione quindi ai valori di V_s , questi potrebbero essere compresi fra 158 m/s nel peggiore dei casi (e quindi Categoria D) circa e 244 m/s circa (e quindi sempre Categoria C).

Pertanto di seguito si assumerà la categoria C proposta (ferma restando la possibilità di una differente valutazione da parte del Progettista, nel qual caso quanto riportato all'apposito paragrafo di individuazione dei parametri sismici perderà ogni validità).

3.3 Ulteriori elementi di Caratterizzazione

Si è provveduto a caratterizzare l'area d'indagine secondo i contenuti delle N.T.C. Tale caratterizzazione viene riportata di seguito utilizzando il Software Geostru PS® (free- share disponibile on- line).

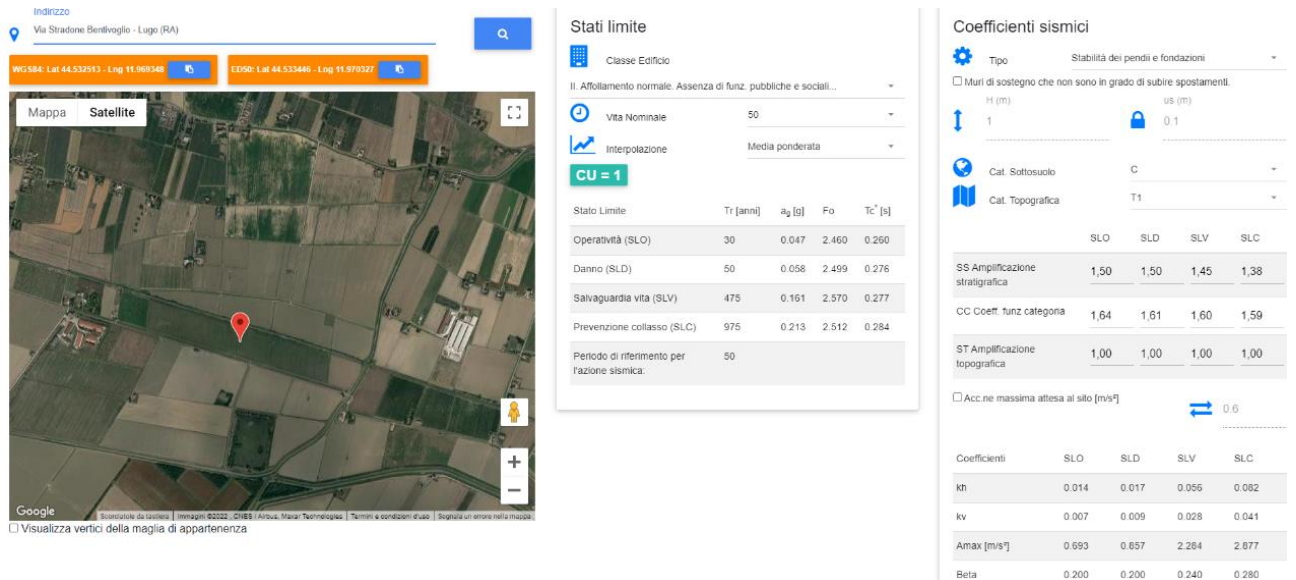


Figura 7 - Ubicazione Area 1 ed individuazione dei parametri sismici.

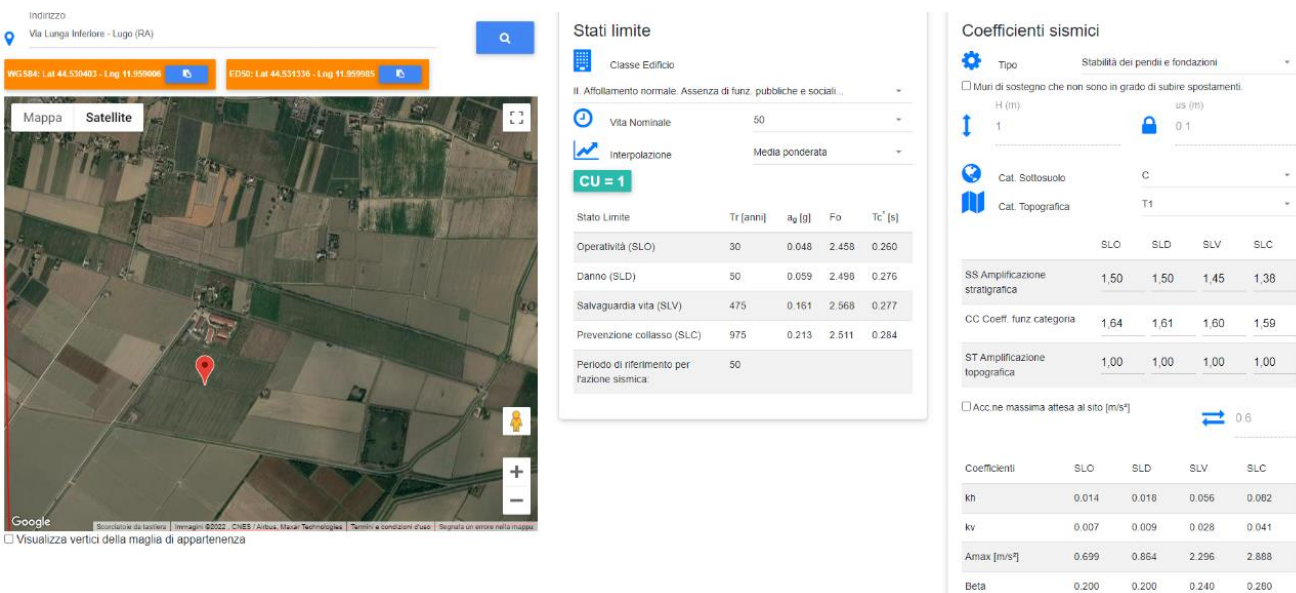


Figura 8 - Ubicazione Area 2 ed individuazione dei parametri sismici.

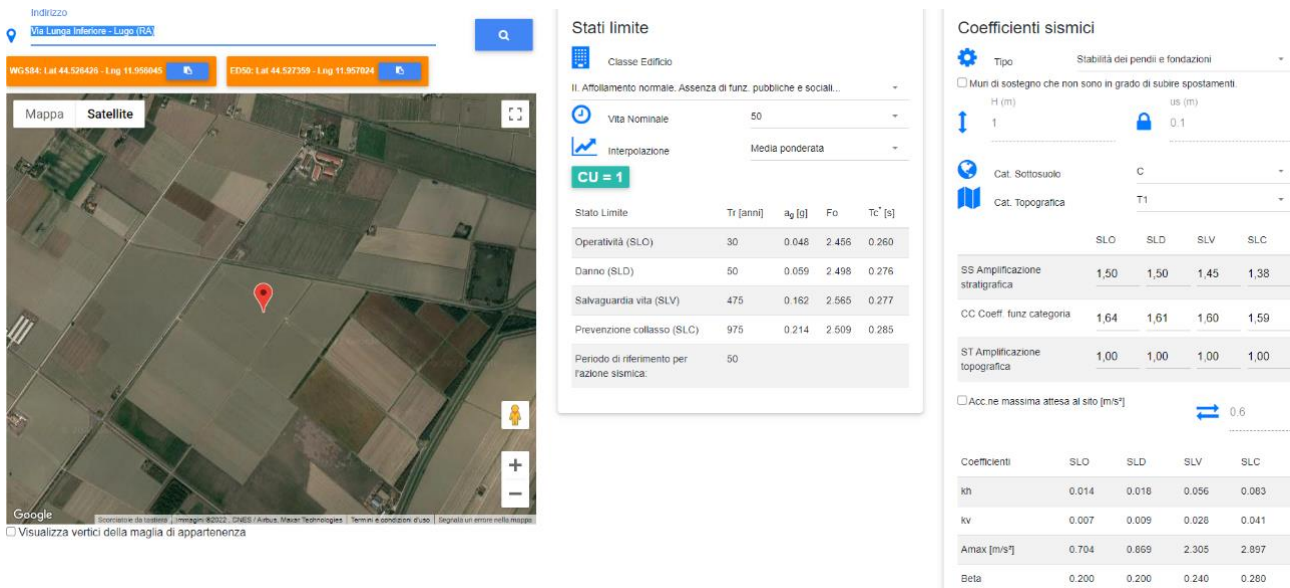


Figura 9 - Ubicazione Area 3 ed individuazione dei parametri sismici.

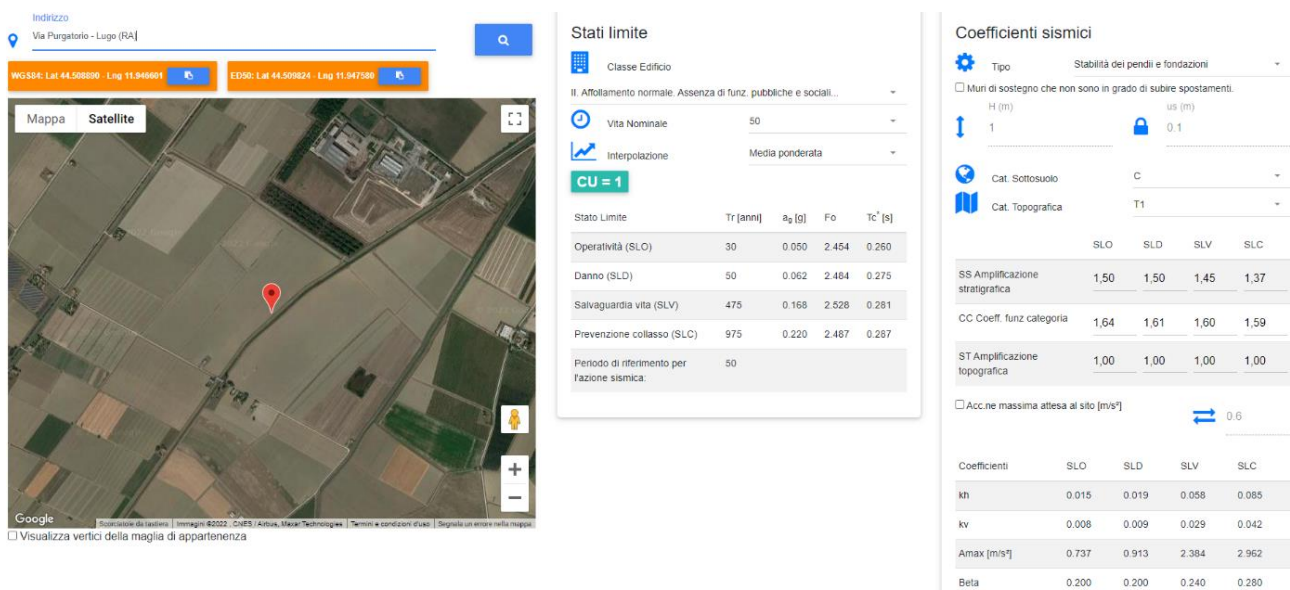


Figura 10 - Ubicazione Area 4A-4B-4C ed individuazione dei parametri sismici.

3.4 Storia sismica locale

L'Emilia-Romagna è interessata da una sismicità che può essere definita media relativamente alla sismicità nazionale, con terremoti storici di magnitudo massima compresa tra 5,50 e 6 e intensità massime risentite del IX-X grado della scala MCS. I maggiori terremoti 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 sono il margine appenninico-padano tra la Val d'Arda e Bologna, l'arco della dorsale ferrarese e il crinale appenninico. Tale sismicità è dovuta al processo ancora attivo di costruzione della catena appenninica. In particolare risultano attivi i sovrascorrimenti sepolti che danno luogo agli archi di Piacenza- Parma, Reggio Emilia e di Ferrara (Boccaletti et al., 2004).

A seguito del terremoto del Molise del 2002 è stata elaborata una nuova Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale e la progettazione in zona sismica non è più effettuata secondo zone di pari sismicità, ma viene effettuata a partire dai valori assoluti di scuotimento del suolo attesi secondo la nuova mappa di pericolosità sismica (che verranno riportate alle figure seguenti).

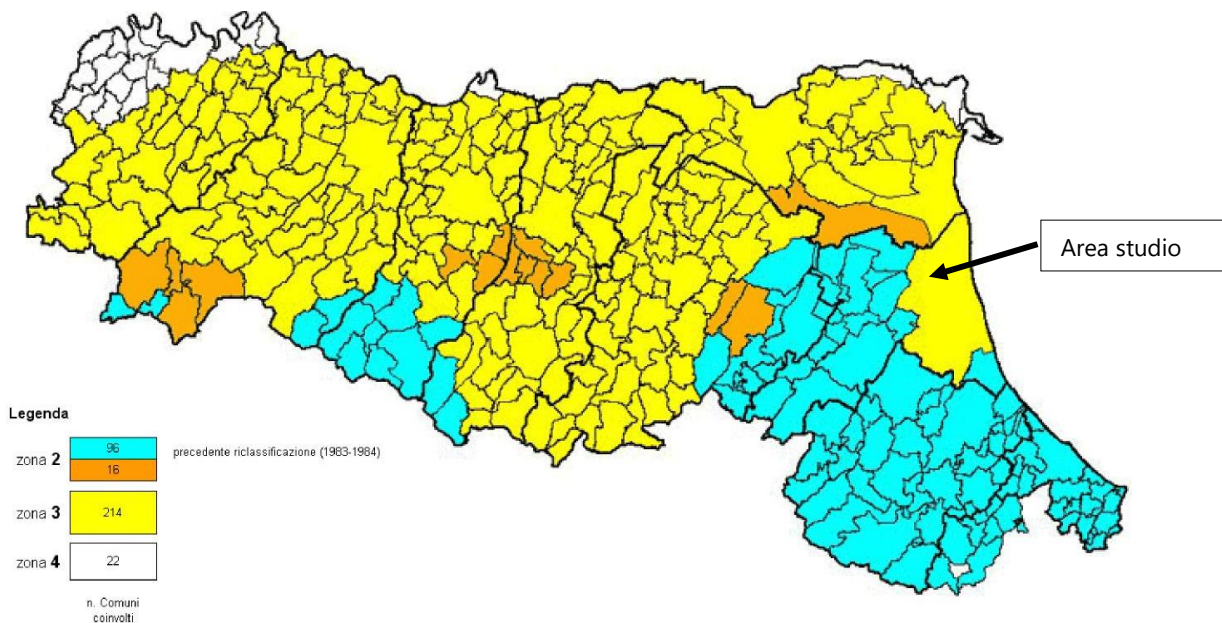


Figura 11 – Classificazione sismica del territorio regionale secondo l’OPCM 3274/2003. I Comuni di Alfonsine e di Lugo vengono attribuiti alla zona 2.

L’Intensità Massima IMax attesa è pari a 9. L’area è sita all’interno della Zona Sismogenetica (ZS9) di riferimento 912, come verrà illustrato di seguito.

Il territorio dei Comuni di Alfonsine e di Lugo è correttamente classificato come zona sismica 2 e ad esso (per la maggior parte) è associato un valore di accelerazione massima al suolo compreso tra 0,150 e 0,175g.

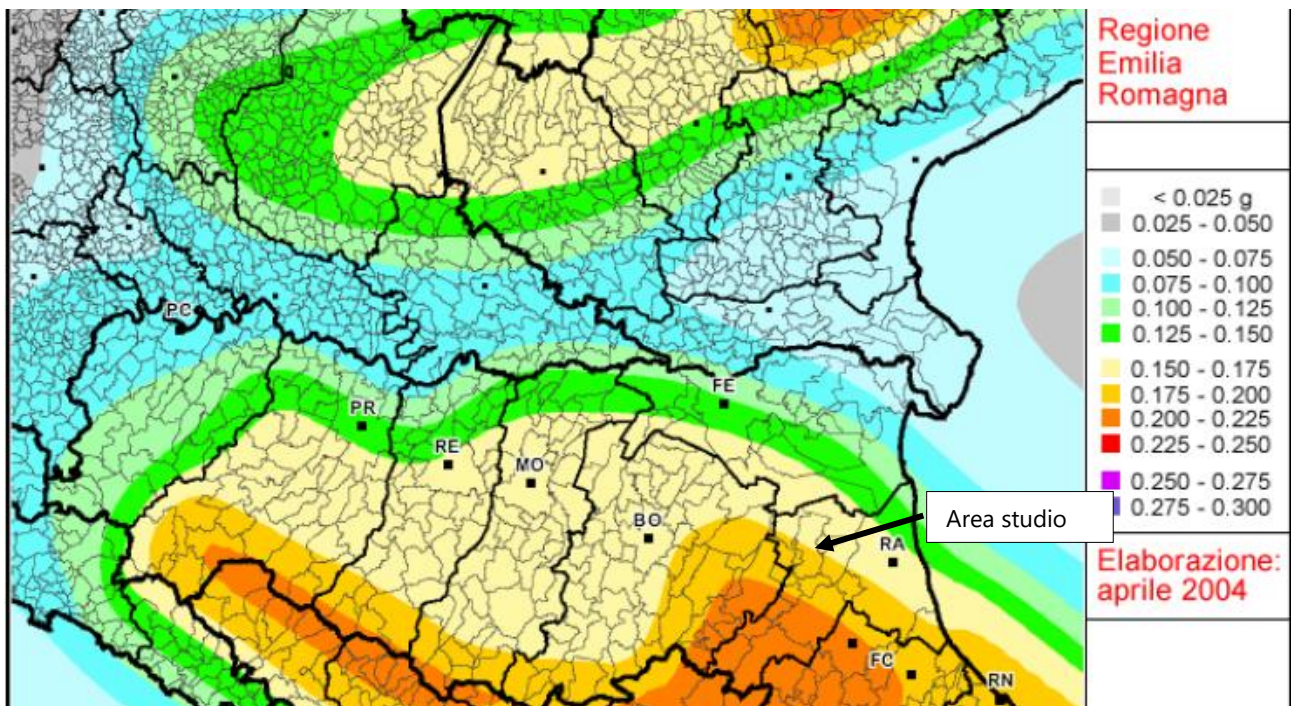


Figura 12 – Mappa di pericolosità sismica della Regione Emilia-Romagna espressa in termini di accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi (Cat. A). All’area dei Comuni di Alfonsine e di Lugo è associata un’accelerazione compresa tra 0,150 e 0,175 g (Meletti & Montalbo, 2007).

Di seguito si riporta una mappa degli epicentri dei terremoti avvenuti nella Regione Emilia-Romagna dal XIII secolo ad oggi. Si può osservare che la maggior sismicità è concentrata nella zona dell'Appennino Romagnolo. Relativamente ai pressi (molto allargati invero) dell'area in esame si osservano alcuni eventi di magnitudo compresa tra 5.0 e 5.9 (Mw).

Sia per il Comune di Lugo che per il Comune di Alfonsine, vengono segnalati i seguenti terremoti all'interno della medesima ZS912:

- nel 1909 – Bassa Padana (Intensità 6-7, M $5,36 \pm 0,08$);
- nel 1956 – Argenta (Intensità 5-6, M $4,96 \pm 0,36$).

Poiché l'area di studio si trova al confine con il territorio comunale di Alfonsine si prederanno come riferimento le intensità rilevate.

La magnitudo attesa per il territorio dei Comuni di Alfonsine e la porzione settentrionale del Comune di Lugo (e di una ulteriore fascia molto estesa della Provincia di Ravenna, nella Zona Sismogenetica 912) è pari a $M=6,1$ circa, ciò sulla base di considerazioni statistico-probabilistiche (determinazioni tramite il Metodo di Gumbel, 1997) che tengono in considerazione distanza epicentrale degli eventi dall'area in esame e della regressione temporale degli stessi, per le ZS 912/914. Questo valore è molto penalizzante per l'area in esame, ricordando le magnitudo storiche sopra citate e considerando che la scala di misura della magnitudo è logaritmica.

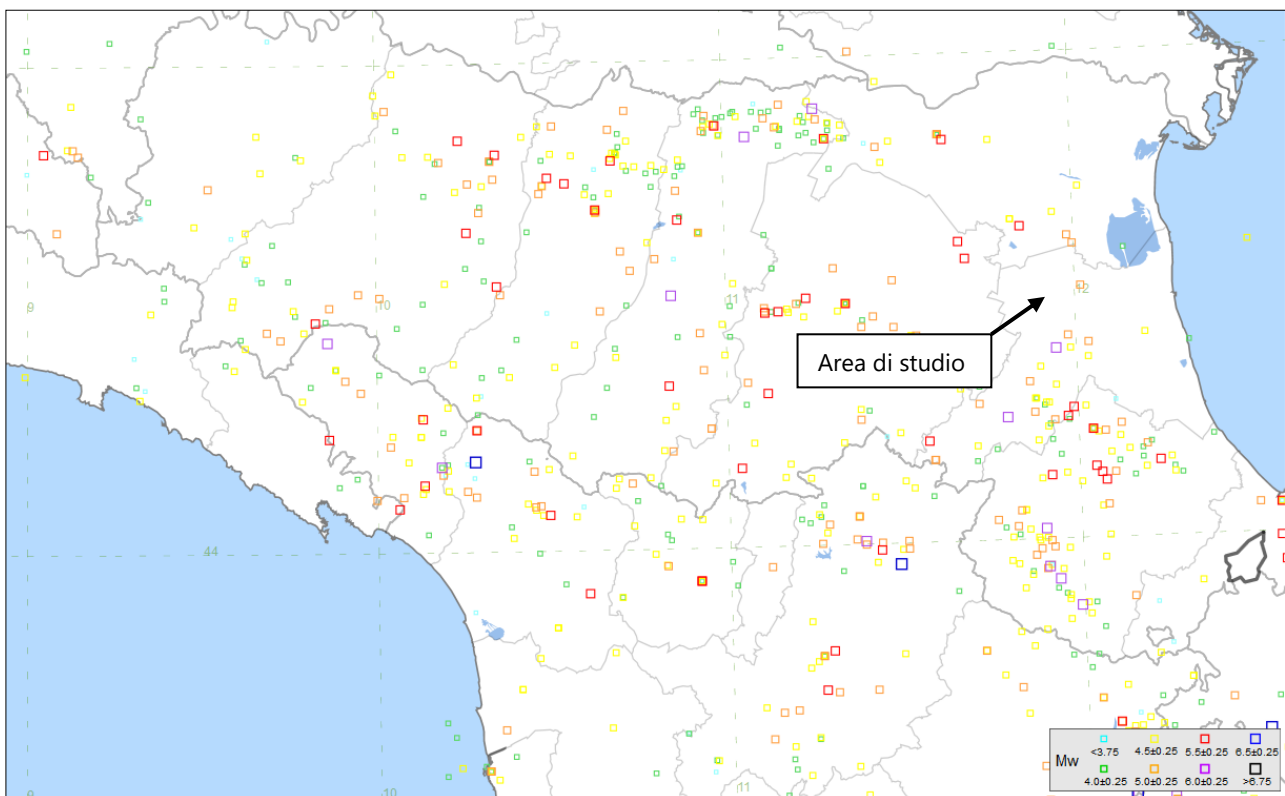


Figura 13 – Mappa degli epicentri dei terremoti avvenuti in Emilia Romagna dal 1200 ad oggi (CPTI2015).

Poiché il progetto si localizza al confine tra i Comuni di Lugo e Alfonsine, e che i dati relativi al Comune di Lugo si riferiscono principalmente ai dati rilevati all'interno del centro abitato, si è deciso di prendere come riferimento i dati relativi all'abitato di Alfonsine, in quanto più prossimo all'area di studio. Dalla consultazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15, l'area del Comune Alfonsine ha registrato nel tempo gli eventi sismici riportati nelle figure di seguito.

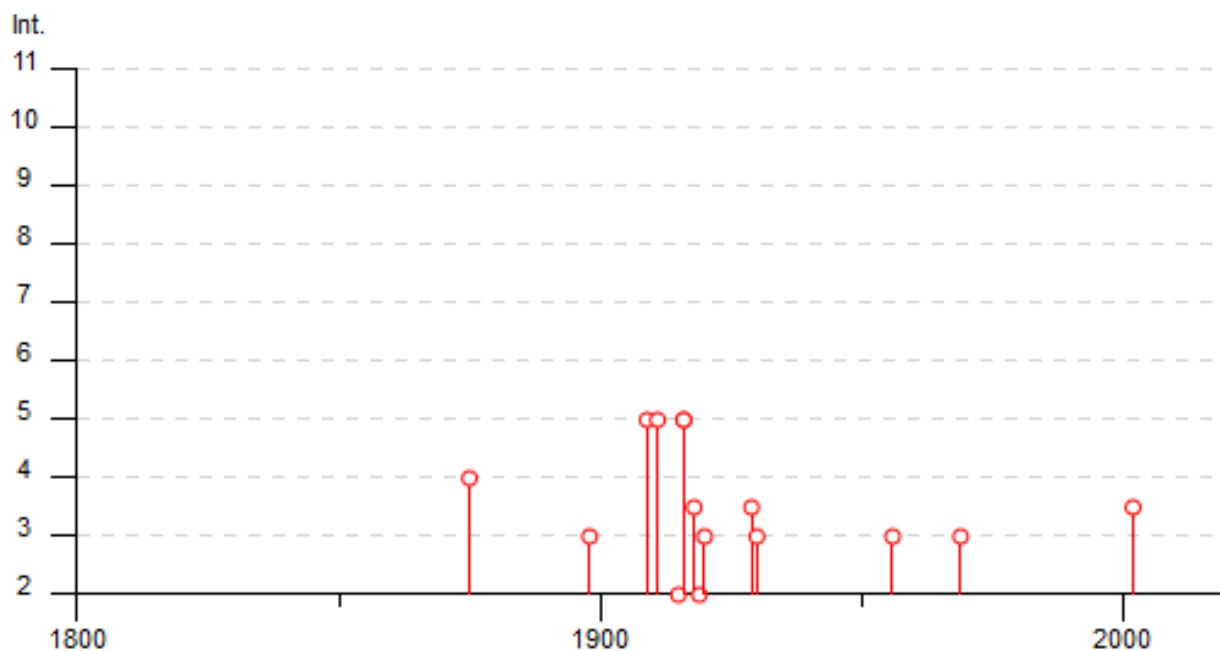


Figura 14 – Storia sismica del Comune di Alfonsine. L'Intensità Sismica (Is) massima registrata è 5.

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
4	1875	03	17	23	51		Costa romagnola	144	8	5.74
3	1898	01	16	13	10		Romagna settentrionale	110	6	4.59
F	1898	03	09	11	43		Romagna settentrionale	68	6	4.59
NF	1904	11	17	05	02		Piacense	204	7	5.10
5	1909	01	13	00	45		Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
5	1911	02	19	07	18	3	Forlivese	181	7	5.26
NF	1913	07	21	22	35		Appennino romagnolo	43	5-6	4.79
2	1915	01	13	06	52	4	Marsica	1041	11	7.08
5	1916	05	17	12	50		Riminese	132	8	5.82
5	1916	08	16	07	06	1	Riminese	257	8	5.82
3-4	1918	11	10	15	12	2	Appennino forlivese	187	9	5.96
2	1919	06	29	15	06	1	Mugello	565	10	6.38
3	1920	09	07	05	55	4	Garfagnana	750	10	6.53
3-4	1929	04	10	05	44		Bolognese	87	6	5.05
3	1930	10	30	07	13		Senigallia	268	8	5.83
NF	1953	12	14	07	11	0	Appennino forlivese	48	5-6	4.70
3	1956	02	20	01	29	4	Argenta	17	5-6	4.96
NF	1961	05	08	22	45	5	Forlivese	40	5	4.37
3	1969	01	10	16	17	3	Pianura Ravennate	22	5	4.38
NF	1986	12	06	17	07	1	Ferrarese	604	6	4.43
NF	2000	05	06	22	07	0	Faentino	85	5	4.08
3-4	2002	11	02	10	57	4	Ferrarese	79	4	4.21
NF	2005	07	15	15	17	1	Forlivese	173	4-5	4.29

Figura 15 – Elenco dei terremoti per il Comune di Alfonsine

Il territorio del comune di Alfonsine è stato colpito dal forte terremoto del 1909 (IS= 6-7, Mw 5.36±0,08); per tale evento il valore di IS è 5.

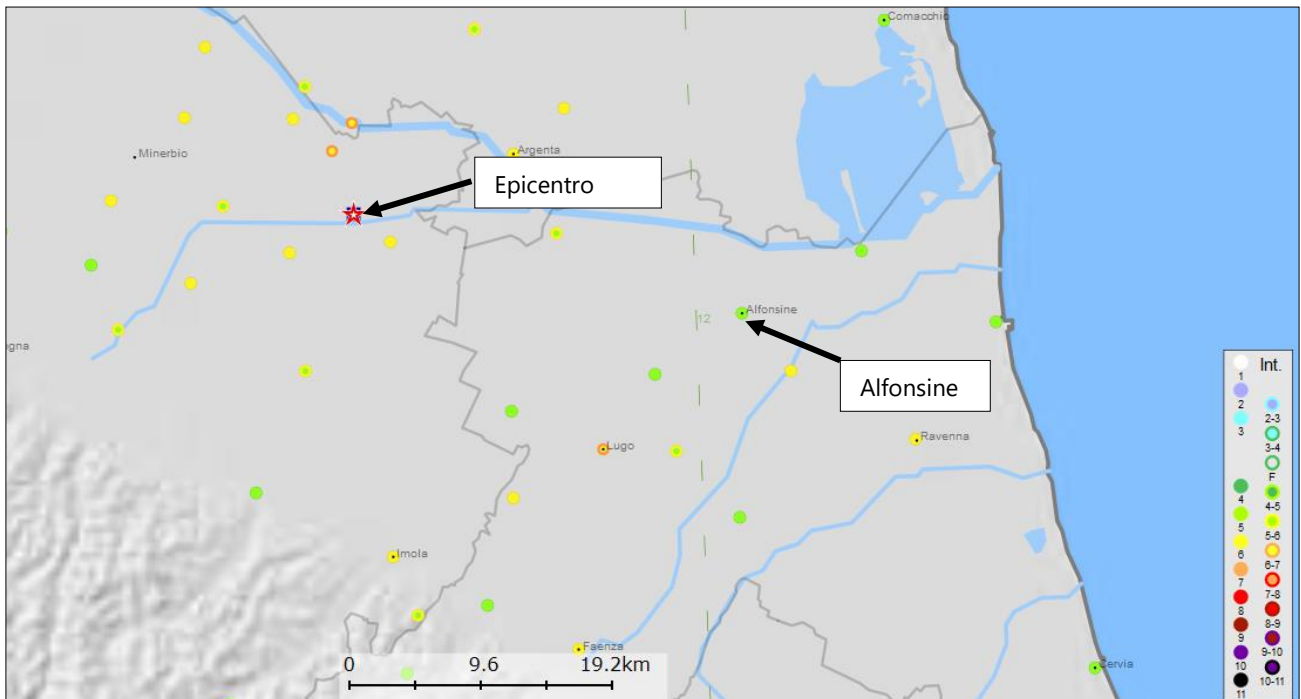


Figura 16 – distribuzione dei risentimenti dell’evento del 1909 – Emilia Romagna orientale in scala libera. Come tratto dal sito dell’I.N.G.V. (DBMI15).

Durante il terremoto del 1956 – Argenta (IS 5-6, M 4,96±0,36) il Comune di Alfonsine ha avuto un valore di IS di 3.

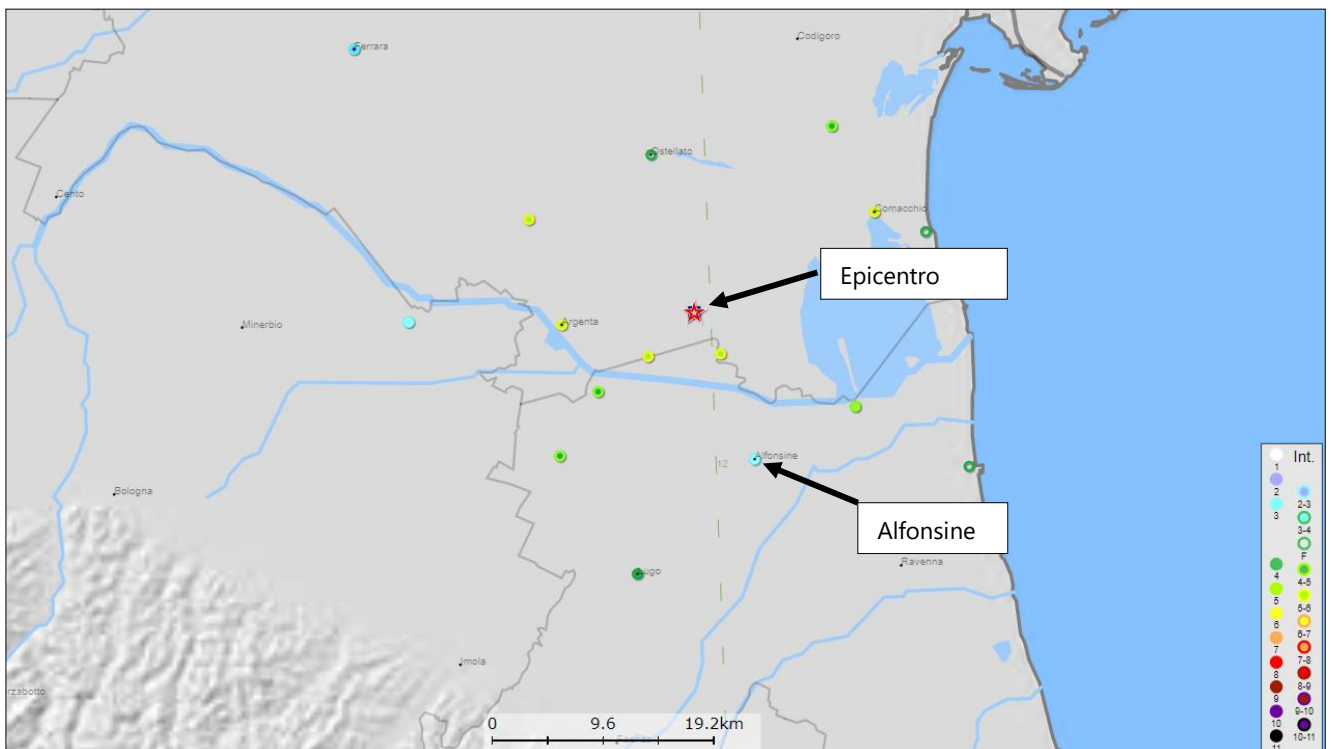


Figura 17 – distribuzione dei risentimenti dell’evento del 1956 – Emilia Romagna orientale in scala libera. Come tratto dal sito dell’I.N.G.V. (DBMI15).

Evidentemente occorrerà aggiungere come gli eventi sismici del 20-29/05/2012, nonché la prolungata sequenza sismica annessa, abbiano profondamente “aggiornato” la sismicità della Pianura Padana.

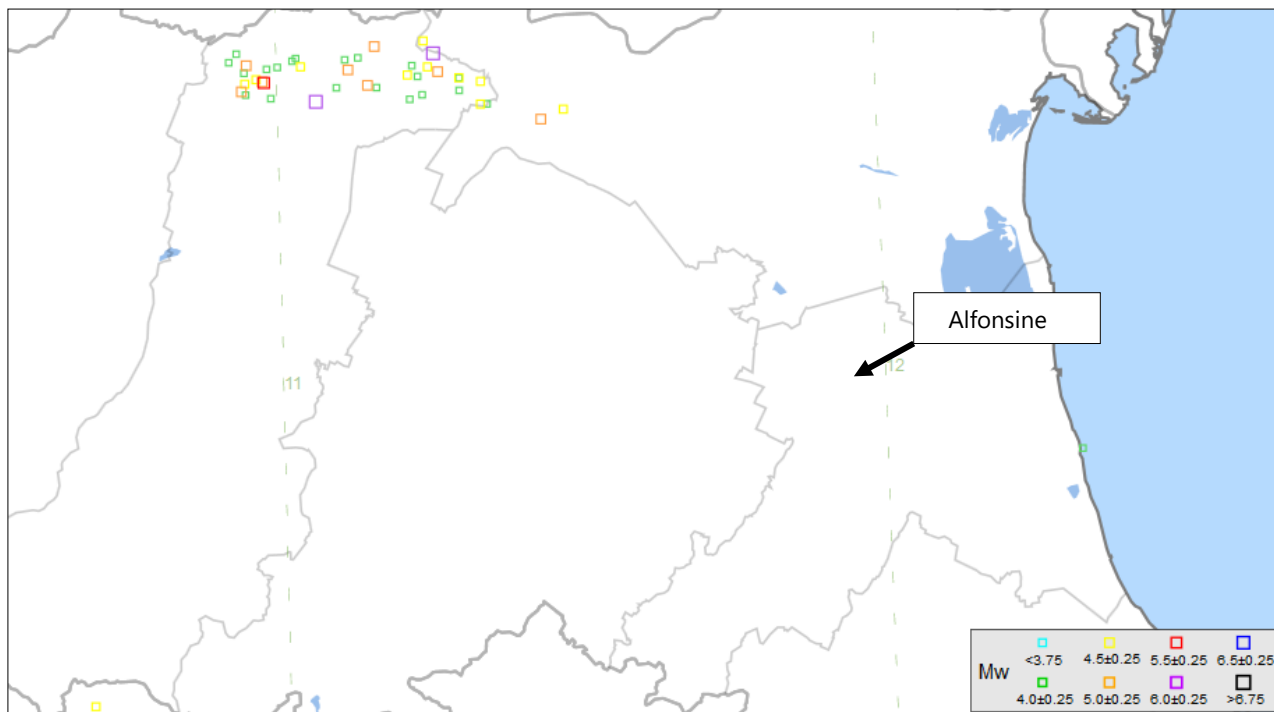


Figura 18 – Sismicità recente in Emilia-Romagna in scala libera

Il 06/06/2012, un evento di Magnitudo 4,21 con epicentro appena fuori la costa di fronte a Ravenna e con ipocentro stimato alla profondità di oltre 25 km (e quindi molto più profondo di quelli della sequenza emiliana) ha ulteriormente modificato il quadro sismico locale. Fortunatamente la magnitudo molto modesta ed il ridotto “sciame” sismico riconduce la scossa ad un evento “accessorio”, comunque segnale che la sismicità dell’area ravennate è evidentemente presente.

3.5 Disaggregazione statistico- probabilistica dei dati sismici

Come visto nel capitolo precedente, il territorio del Comune di Alfonsine e la porzione settentrionale del Comune di Lugo sono stati sede di epicentri di eventi sismici caratterizzati da Intensità e Magnitudo NON trascurabili e si è già potuta constatare la complessità geologica profonda, caratterizzata da sovrascorrimenti riattivati in prossimità dell’abitato di Alfonsine.

Da una analisi di disaggregazione statistico- probabilistica dei dati sismici relativi a distanza e valori di magnitudo ed avente come riferimento l’area in esame (analisi che verrà di seguito riportata) si può evincere che, con un tempo di ritorno di 50 anni:

- il valore di M avente localmente maggiori probabilità di ripetersi è pari a 5,00 e ha una probabilità di accadimento del 25-30% entro 10 km e del 9-11% entro 20 km
- i valori di M =5,50 hanno una probabilità di accadimento di 11-15% entro 10km e 7-9% entro 20 km
- i valori di M =4,50 hanno una probabilità di accadimento di 15-20% entro 10km e 3-4% entro 20 km
- i valori di M=6 ha una probabilità di accadimento del 5-7% entro 10 km e 5-7% entro 20 km

Si ricorda l’evento con magnitudo massima del 1909 con un valore di M pari a 5,36.

Modello di pericolosità sismica MPS04-S1

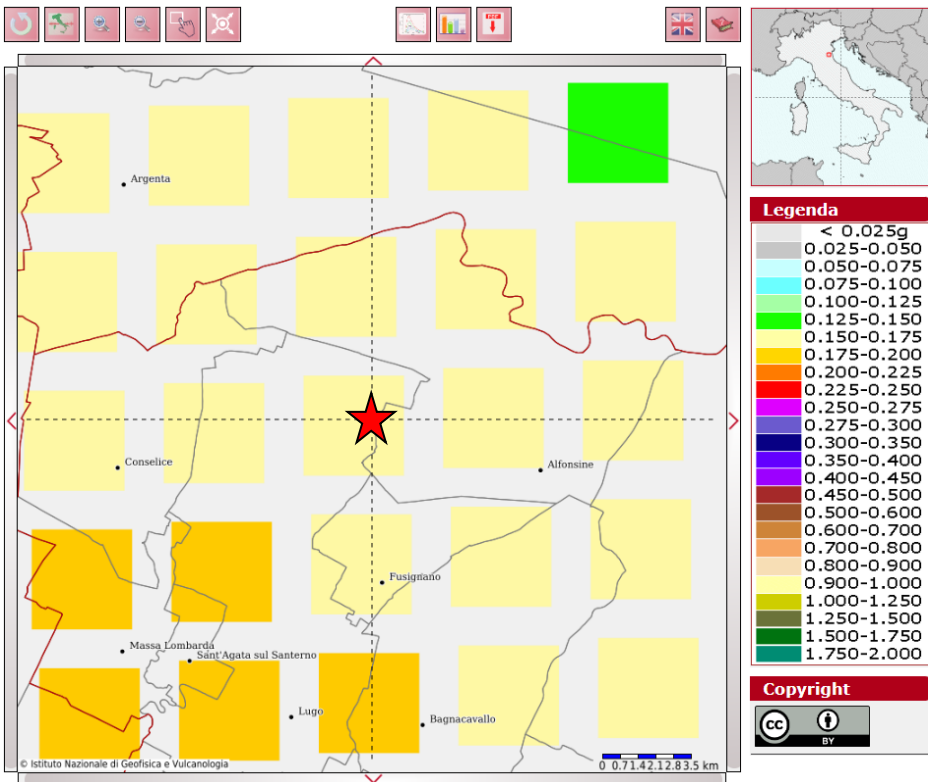


Figura 19 – Pericolosità sismica in prossimità dell'area di studio

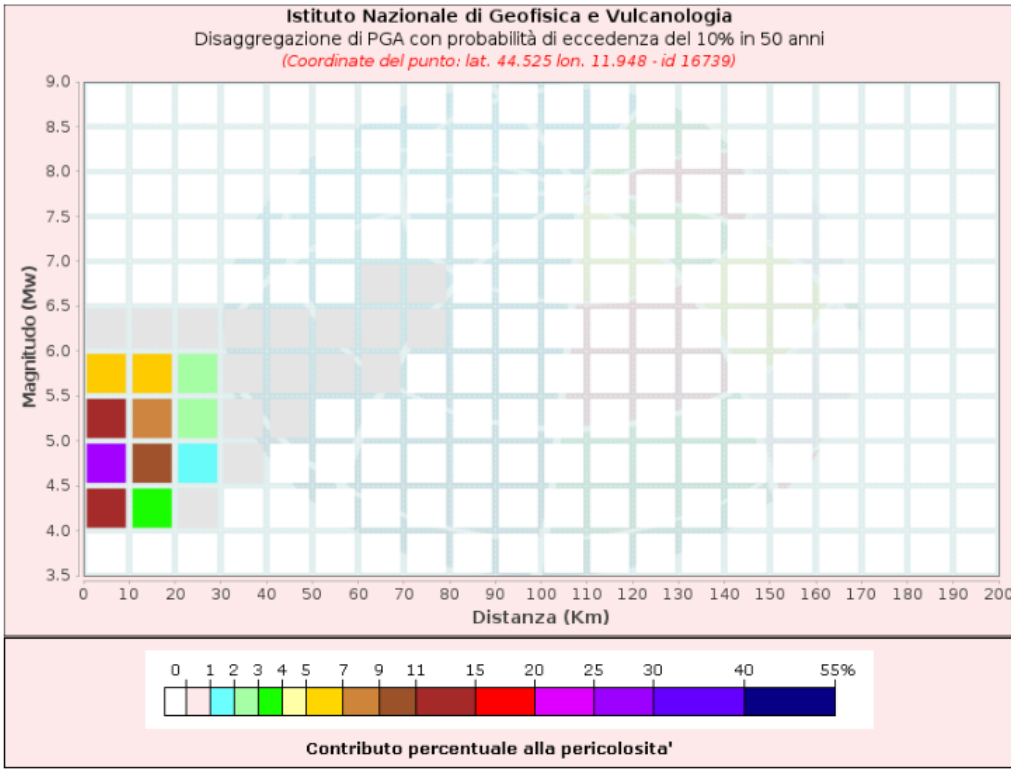


Figura 20 – Probabilità del verificarsi di un evento sismico in prossimità dell'area di studio

Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto: lat. 44.525 lon. 11.948 - id 16739)											
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	14.8000	26.3000	14.1000	6.4700	0.7380	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	3.5000	9.7200	8.8800	6.3300	0.8970	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.1170	1.3000	2.5900	2.5100	0.3050	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0152	0.3710	0.6990	0.0852	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0180	0.1930	0.0395	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0323	0.0178	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0027	0.0077	0.0011	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0007	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	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

Figura 21 – Probabilità del verificarsi di un evento sismico

4 CONCLUSIONI

Il presente studio è stato redatto conformemente ai contenuti tecnici delle NTC ed in ottemperanza al D.M. 17/01/2018.

Le campagne d'indagine eseguite hanno permesso di approfondire aspetti utili alla progettazione, fornendo informazioni sulle caratteristiche sismiche del territorio esaminato, di seguito riassunte:

- Le misure tromografiche hanno individuato valori di **Vs** tra **198 m/s** e **203 m/s**.
- La categoria dei terreni di fondazione risulta essere di Categoria C ovvero "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m", caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi fra 180 e 360 m/s.
- Dalla verifica del potenziale di liquefazione è risultato che:
 - ✓ Nell'Area 1 e 2, si sono rilevati vari livelli potenzialmente liquefacibili oltre -10,00 m dal p.c. L'indice ILP è risultato sempre inferiore a 2 per tutte le magnitudo considerate.
 - ✓ Nell'Area 3 si rileva localmente in una sola prova, ovvero nella CPTU2, alcuni livelli tra -4,50/-14,00 m dal p.c. potenzialmente liquefacibili e che comunque sono sovrastati da uno spessore di oltre 4 metri di materiale non liquefacibile. L'indice ILP è risultato 4,45 per M=6.14 e 3,15 per M=6.00 e quindi non per eventi sismici con maggior probabilità di accadimento e comunque con un rischio potenziale moderato.
 - ✓ Nell'Area 4 si rileva localmente in una sola prova, ovvero nella CPTU1, alcuni spessori superficiali tra -3,70/-4,00 m e tra -4,40/4,80 m dal p.c. potenzialmente liquefacibili e poi solo oltre -9,00 m dal p.c. su più livelli. L'indice ILP è risultato superiore a 2, ma non per eventi sismici con maggior probabilità di accadimento. Gli spessori più superficiali avendo uno spessore inferiore al metro non possono rientrare nella definizione di "strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda" e comunque sono sovrastati da uno spessore di oltre 3 metri di materiale non liquefacibile. L'indice ILP è risultato 3,12 per M=6.14 e 2,28 per M=6.00 e quindi non per eventi sismici con maggior probabilità di accadimento e comunque prossimo al valore 2.