unione dei comuni della bassa Romagna

ALFONSINE . BAGNACAVALLO . BAGNARA DI ROMAGNA . CONSELICE . COTIGNOLA . FUSIGNANO . LUGO . MASSA LOMBARDA . SANT'AGATA SUL SANTERNO

# AGGIORNAMENTO STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA 3° LIVELLO

COMUNI DI ALFONSINE, BAGNACAVALLO, BAGNARA DI ROMAGNA, CONSELICE, COTIGNOLA, FUSIGNANO, LUGO, MASSA LOMBARDA E SANT'AGATA SUL SANTERNO

AUDITORIUM ARCANGELO CORELLI
Via Alfredo Belletti n. 2, 48034 Fusignano (RA)

**Aldo Antoniazzi**

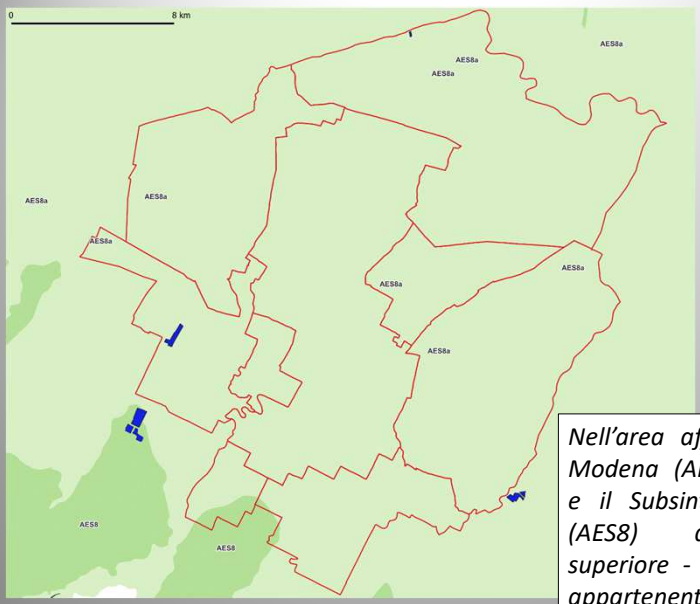
29 settembre 2026

## MICROZONAZIONE SISMICA DEFINIZIONI E OBIETTIVI

**Microzonazione Sismica:** suddivisione dettagliata del territorio in base al comportamento dei terreni durante un evento sismico e ai possibili effetti indotti dallo scuotimento (effetti locali o risposta sismica locale).

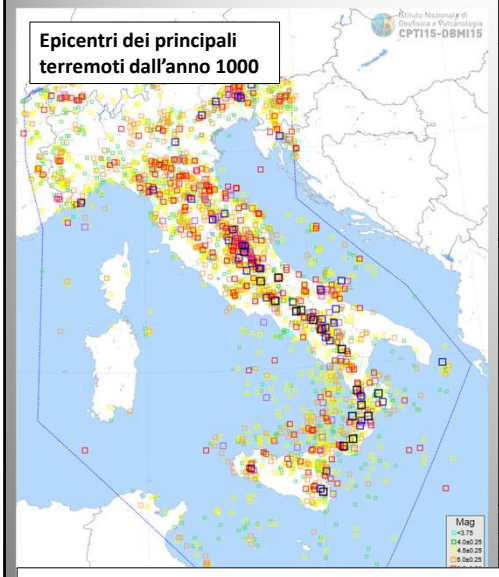
La **Microzonazione Sismica** è quindi uno strumento di prevenzione e riduzione del rischio sismico che può risultare di particolare efficacia se applicata fino dalle prime fasi della pianificazione urbanistica, in quanto consente di indirizzare le scelte urbanistiche verso aree a minore pericolosità sismica e/o fornire indicazioni per ridurre la vulnerabilità delle costruzioni nelle fasi di progettazione.

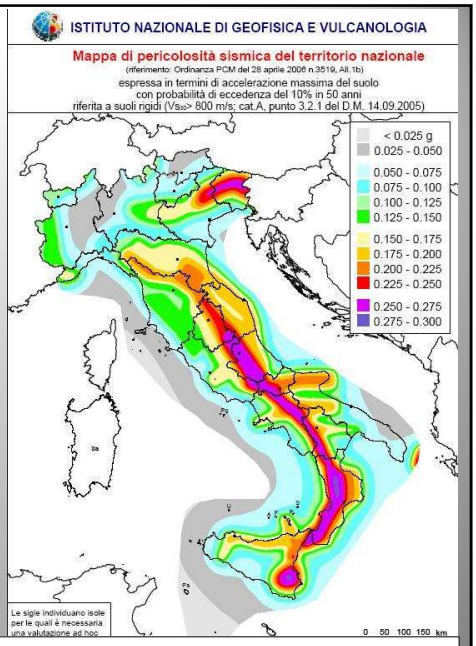
| | | |
|---|---|---|
| **RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO**: Dott. Ing. Sara Martini<br>Responsabile del Servizio Sismica - Area Economia e Territorio dell'Unione dei Comuni della Bassa Romagna | | |
| **GRUPPO DI LAVORO** | | |
| **Soggetto Incaricato** | | |
| Geologo Dott. Aldo Antoniazzi | Studio di Geologia Tecnica e Ambientale | |
| | | |
| **Professionisti** | Professione | Principali competenze |
| Dott. Aldo Antoniazzi (Capogruppo/Mandatario) | Geologo | Pianificazione territoriale, Microzonazione Sismica, idrogeologia, meccanica delle terre e rocce e Protezione Civile |
| Dott. Marco Baldi (Mandante) | Geologo | Pianificazione territoriale, Microzonazione Sismica, sistemi informativi territoriali (GIS) e telerilevamento |
| Dott. Arch. Giulia Mancini (Mandante) | Architetto | Pianificazione territoriale e CLE |
| Sogeo S.r.l. (Mandante) | Indagini geognostiche | |
| | | |
| **Collaboratori e specialisti** | | |
| Dott. Geol. Alberto Domenico Antoniazzi | Pianificazione territoriale, geopedologia ed evoluzione costiera | |
| Dott. Geol. Stefano Castagnetti | Pianificazione territoriale, Microzonazione Sismica, Protezione Civile e CLE | |
| Dott. Geol. Luca Castellucci | Sistemi informativi territoriali (GIS) | |
| Dott. Geol. Maurizio Moroni | Esplorazione del sottosuolo, geofisica applicata e geotecnica | |
| | | |
| **Esecuzione indagini** | | |
| Sogeo S.r.l. (sondaggi e prove in laboratorio) | | |
| Dott. Geol. Maurizio Moroni (indagini penetrometriche e geofisiche) | | |
| | | |
| **Fonte dati** | | |
| Uffici Tecnici Comunali - Comune di Alfonsine<br>Unione dei Comuni della Bassa Romagna<br>Provincia di Ravenna<br>Area Geologia, Suoli e Sismica - Regione Emilia-Romagna<br>Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (I.N.G.V.) | | |



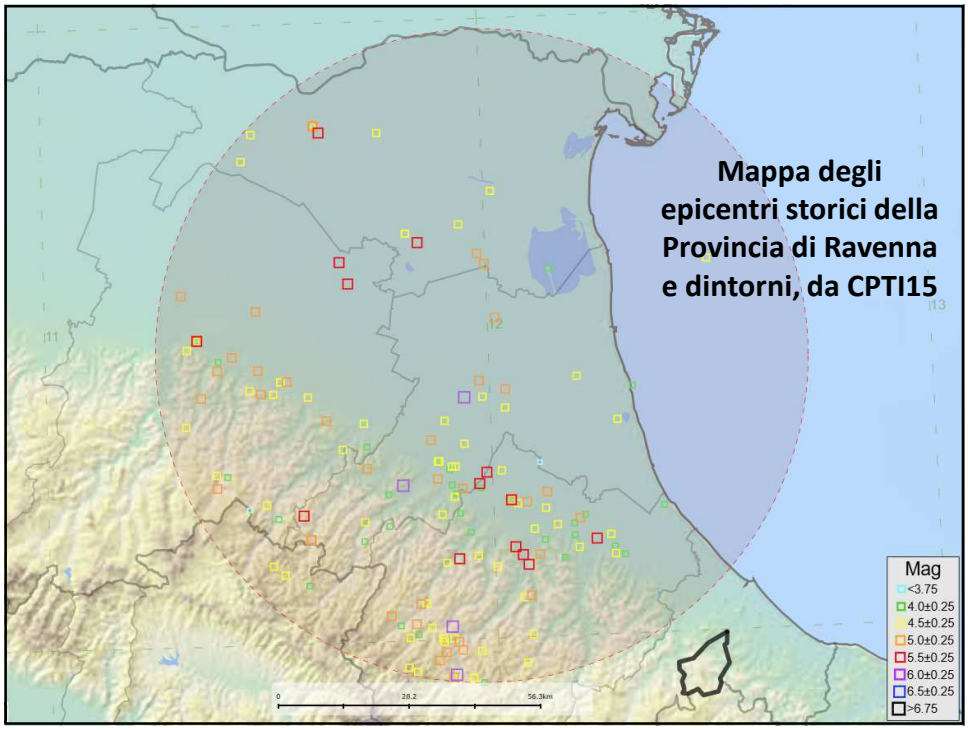

*Nell'area affiorano l'Unità di Modena (AES8a) dell'Olocene e il Subsintema di Ravenna (AES8) del Pleistocene superiore - Olocene entrambi appartenenti al Sintema Emiliano-Romagnolo superiore*

# Pericolosità sismica



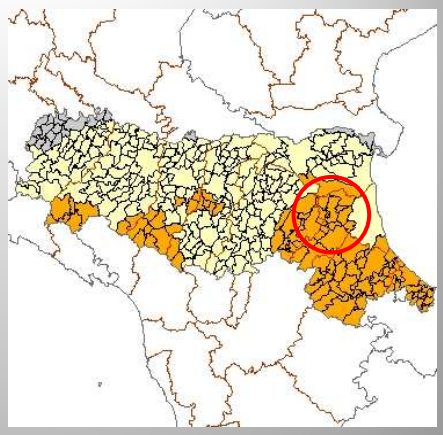




La pericolosità sismica di un territorio è rappresentata dalla frequenza e dalla forza dei terremoti che lo interessano, ovvero dalla sua sismicità



# PERICOLOSITÀ SISMICA



Vecchia classificazione

1ª 2ª 3ª NC

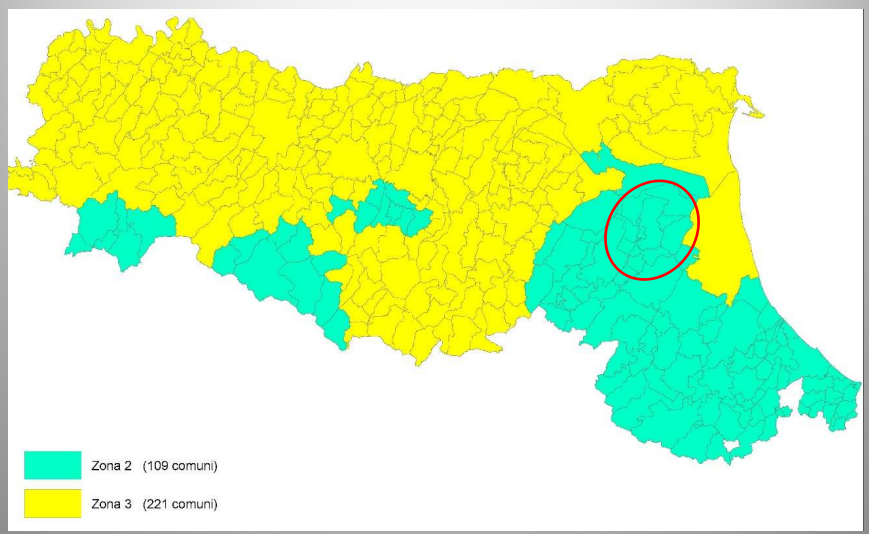
Nuova classificazione 2003

1ª 2ª 3ª 4ª

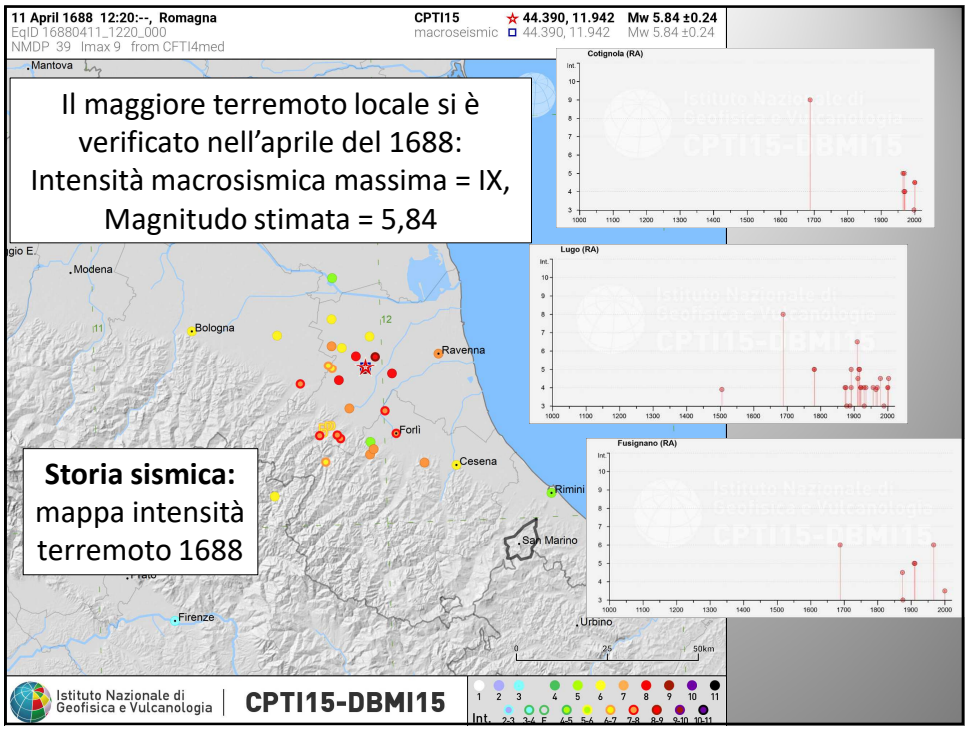
**Classificazione sismica OPCM 3274/2003**

**Tutto il territorio nazionale è considerato sismico**

# PERICOLOSITÀ SISMICA




*Classificazione sismica dei Comuni della Regione Emilia-Romagna. DGR n. 146 del 6 febbraio **2023** "Aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei comuni dell'Emilia-Romagna"*




***DISS (Versione 3.3.1):***

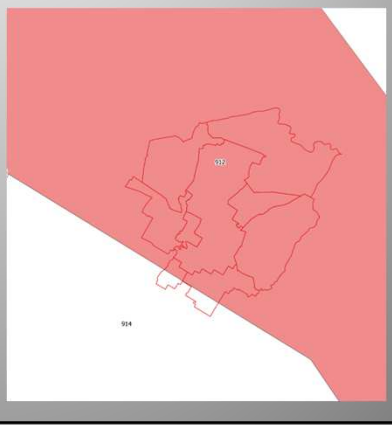
- sorgente sismogenetica composita ITCS012: Malalbergo-Ravenna con Mw max (magnitudo momento massima) **6,9**
- sorgente sismogenetica composita ITCS011: Ascensione-Armaia con Mw max (magnitudo momento massima) **7,0**
- sorgente sismogenetica individuale ITIS100: Bagnacavallo con Mw max (magnitudo momento massima) **5,8**

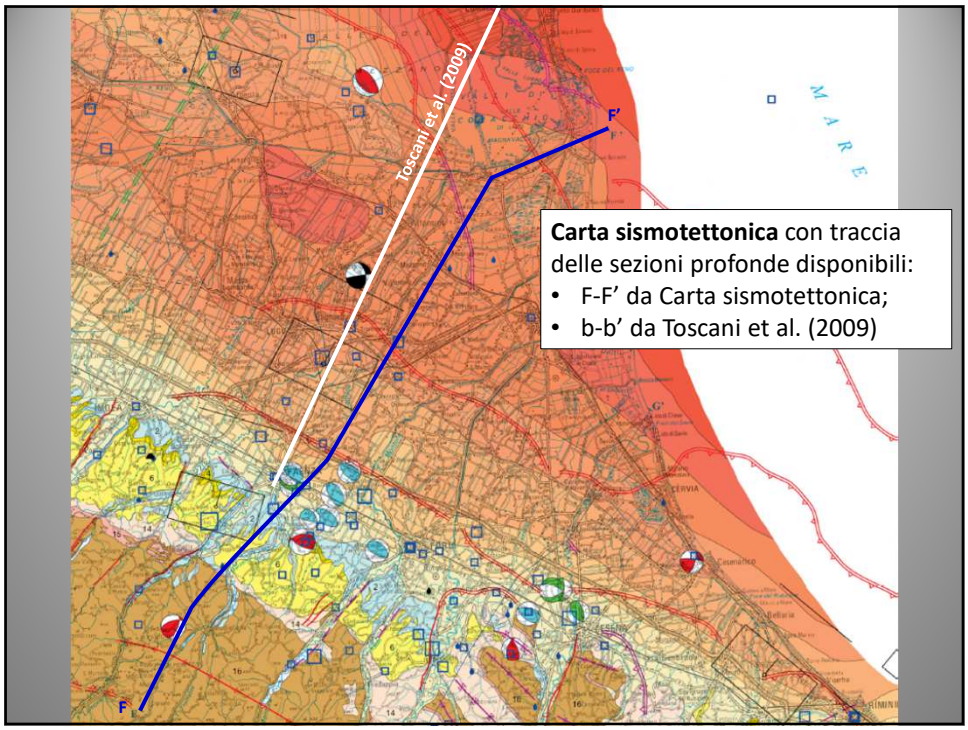


**Zonazione sismogenetica ZS9:**

- Dorsale Ferrarese 912
- Forlivese 914

entrambe con Mw max (magnitudo momento massima) di **6,14**

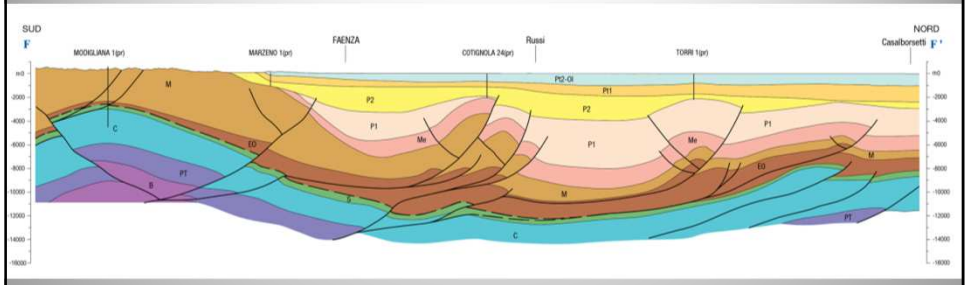




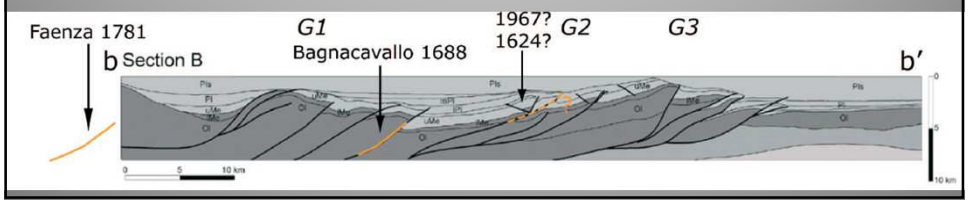

**Carta sismotettonica** con traccia delle sezioni profonde disponibili:

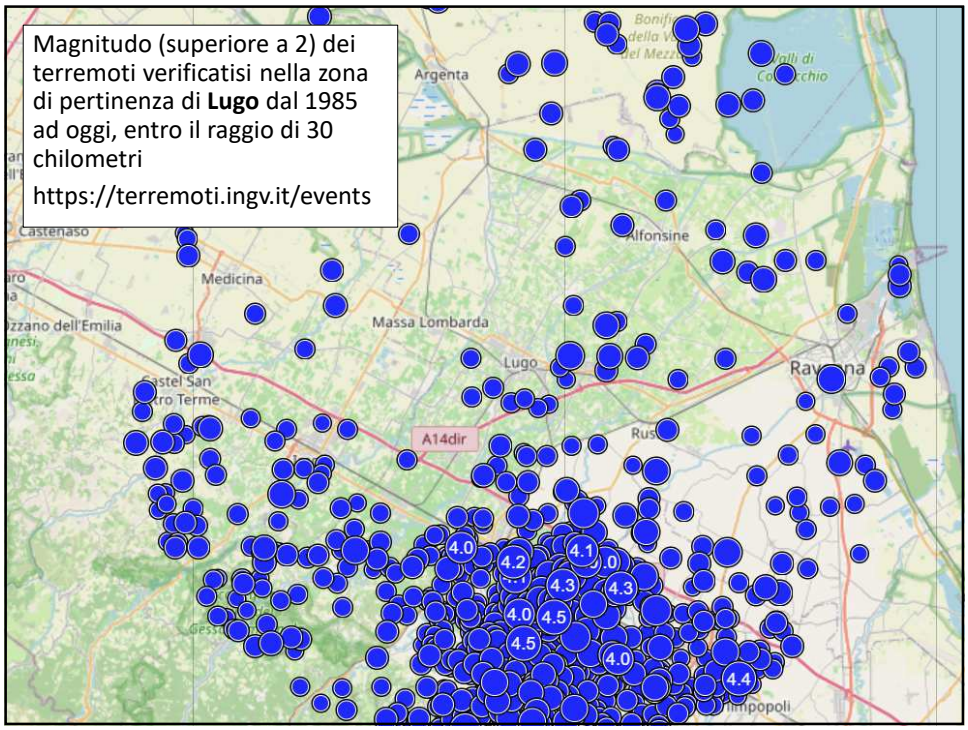
- F-F' da Carta sismotettonica;
- b-b' da Toscani et al. (2009)

Sezione F-F', da Carta sismotettonica RER 2017



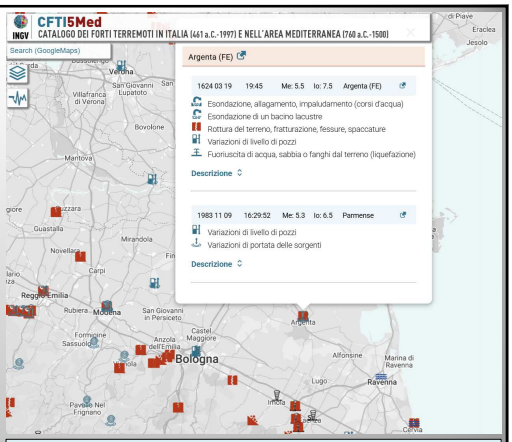

Sezione b-b', da Toscani et al. (2009), con interpretazione delle faglie che hanno generato i terremoti del **1781** (Appennino faentino) e del **1688** (Bassa Romagna)



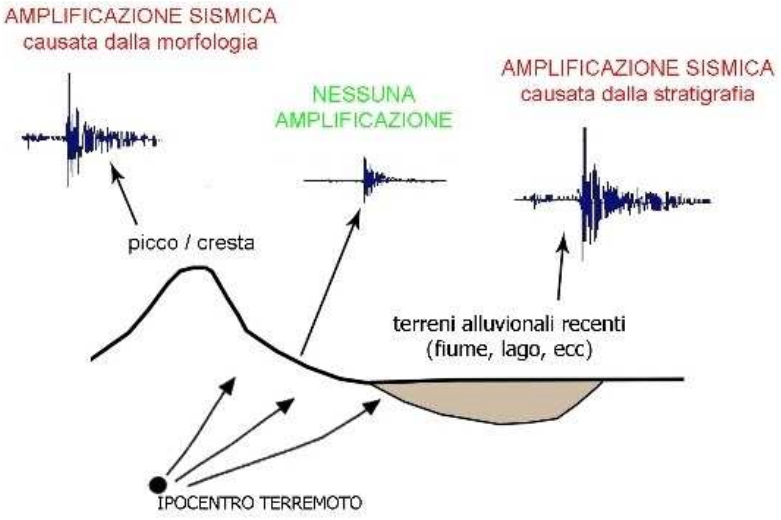



La documentazione storica a nostra disposizione ricorda:

1. La formazione di aperture nel terreno dalle quali fuoriuscirono acqua bollente e sabbia nera o grigia maleodorante
2. In seguito al terremoto le acque del Po invasero la piazza di Argenta
3. Anche le acque dei pozzi si agitarono e furono violentemente proiettate fuori miste a sabbia e cenere
4. Le acque delle valli da Argenta a Comacchio si sollevarono urtando contro le rive




Dalla sezione "Effetti sull'ambiente naturale" del Catalogo **CFTI5Med** si evince che il terremoto che colpì Argenta il 19 marzo 1624 (magnitudo stimata attorno a 5,5) si evince che causò fenomeni di liquefazione del terreno




# MICROZONAZIONE SISMICA

## Schema di MS per la pianificazione urbanistica

**I FASE**

carta **delle aree soggette ad effetti locali** o delle microzone omogenee in prospettiva sismica (**MOPS**) (approfondimento di I livello)

Aree **non** interessate da depositi e forme che possono determinare effetti locali: **no successivi livelli**

Aree con depositi e forme predisponenti a effetti locali

**II FASE**

aree pianeggianti/versanti poco inclinati con stratificazione orizzontale e piano-parallela, i.e. **zone in cui il modello geologico è assimilabile ad un modello 1D**

aree instabili e potenzialmente instabili: pendii in frana, terreni liquefacibili, terreni molto compressibili, zone di faglia attiva e capace, **zone in cui il modello geologico non è assimilabile ad un modello 1D**

**MS semplificata**

approfondimento di II livello

**MS di dettaglio**

approfondimento di III livello

## Contenuti degli elaborati in funzione del livello di approfondimento

### I fase/I livello - Individuazione gli scenari di pericolosità sismica locale

- **reperimento e interpretazione di dati esistenti**; in caso di dati insufficienti, eventuali indagini per definire spessori e geometrie delle coperture (**carta delle indagini**)
- definizione delle condizioni geologiche e morfologiche locali (**carta geologico-tecnica**);
- Carte delle zone suscettibili di effetti di sito (**carta delle MOPS - MS di livello 1**)

### II fase: Microzonazione Sismica

### II livello - MS semplificata

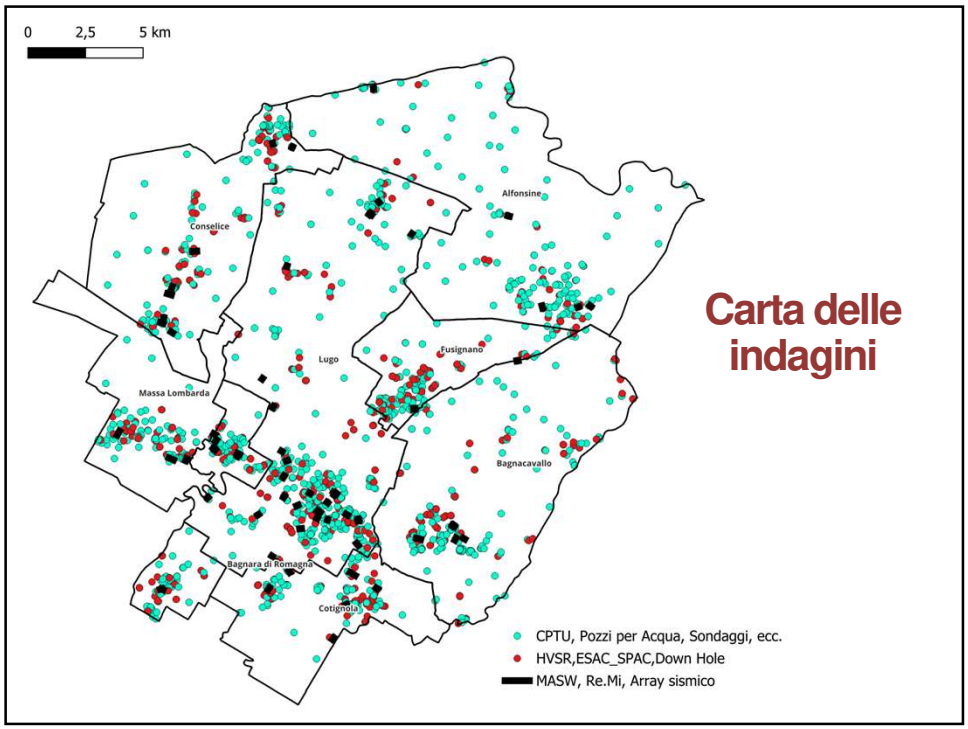
- **analisi più dettagliata delle condizioni locali** e determinazione dei parametri necessari per la definizione della RSL tramite indagini (geofisiche e geotecniche) di tipo corrente;
- **valutazione del fattore di amplificazione** tramite l'utilizzo di tabelle e formule sulla base dei parametri geologici, geomorfologici e geofisici individuati;
- **carte di MS livello 2**

### III livello - MS di dettaglio

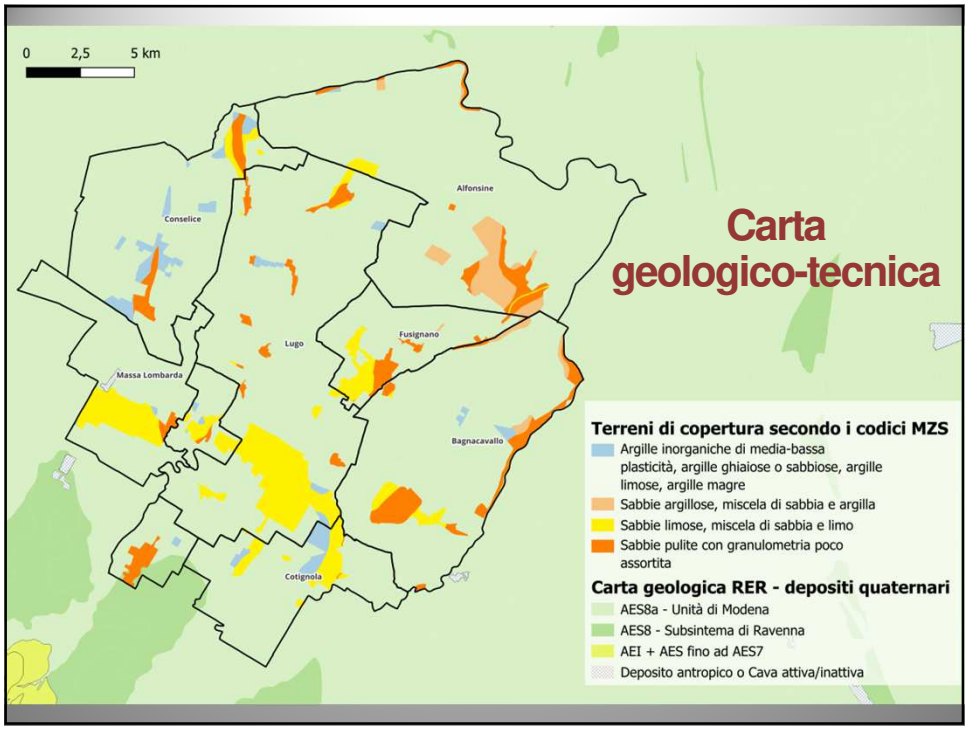
- **Caratterizzazione e migliore determinazione delle aree instabili** (pendii in frana, aree liquefacibili, zone di faglia attive e capaci, …), con quantificazione degli indici di rischio, sulla base di risultati di prove sperimentali, geofisiche e geotecniche, sia in sito che in laboratorio, di elevata affidabilità
- **RSL mediante specifici codici di calcolo** riconosciuti nella letteratura scientifica;
- **carte di MS livello 3**

## Indagini utilizzate nello studio

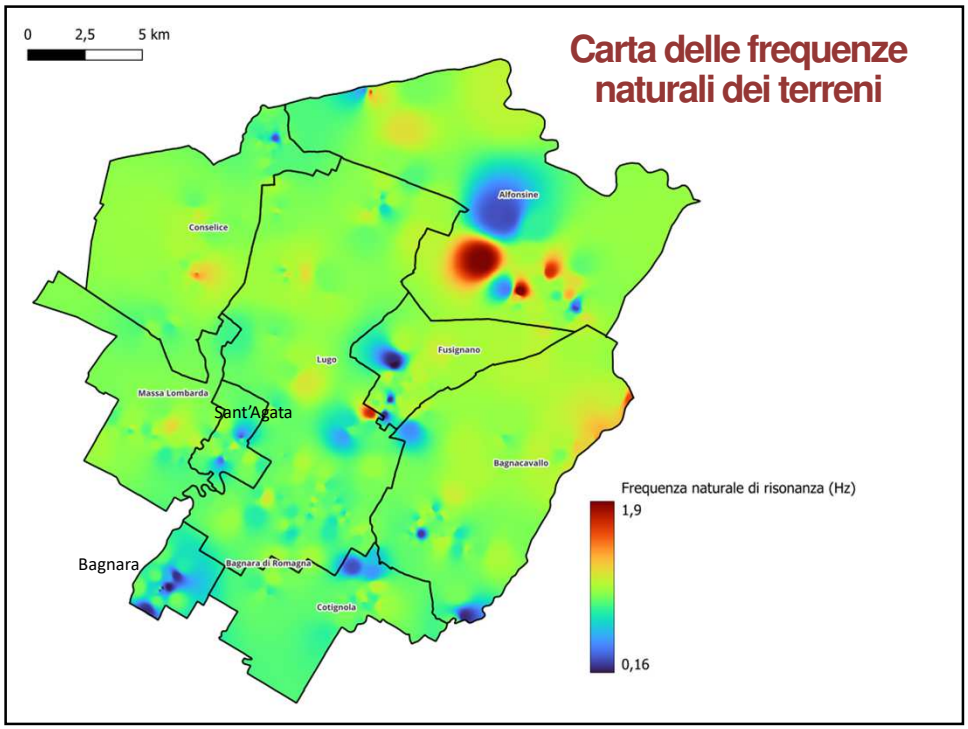
| Prove in sito | | MS precedente | Archivio | | | | | Prove realizzate in questa sede | Totale |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | RER | Comune | Unione | Sogeo S.r.l. | Archivio interno | | |
| Sondaggi a carotaggio continuo | | 53 | 0 | 4 | 8 | 0 | 0 | 3 | 68 |
| Pozzi per idrocarburi | | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Pozzi Acqua (PA) | | 35 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 35 |
| Sondaggi con piezometro (SC) | | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| SCPTU | Penetrometria | 13 | 0 | 5 | 0 | 3 | 0 | 45 | 66 |
| | Geofisica | 8 | 0 | 9 | 2 | 5 | 1 | 45 | 70 |
| Microtremori (HVSR) | | 293 | 0 | 119 | 22 | 0 | 0 | 32 | 466 |
| Prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU) | | 149 | 146 | 190 | 16 | 13 | 52 | 49 | 615 |
| Prove penetrometriche statiche con punta elettrica (CPTE) | | 113 | 0 | 42 | 1 | 0 | 4 | 0 | 160 |
| Prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT) | | 352 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 360 |
| ESAC | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 36 | 36 |
| Down Hole | | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 8 |
| MASW | | 21 | 0 | 6 | 12 | 0 | 0 | 3 | 42 |
| REMI | | 17 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 17 |
| Trincea esplorativa | | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Totale | | 1.063 | 146 | 375 | 61 | 21 | 65 | 216 | 1.947 |

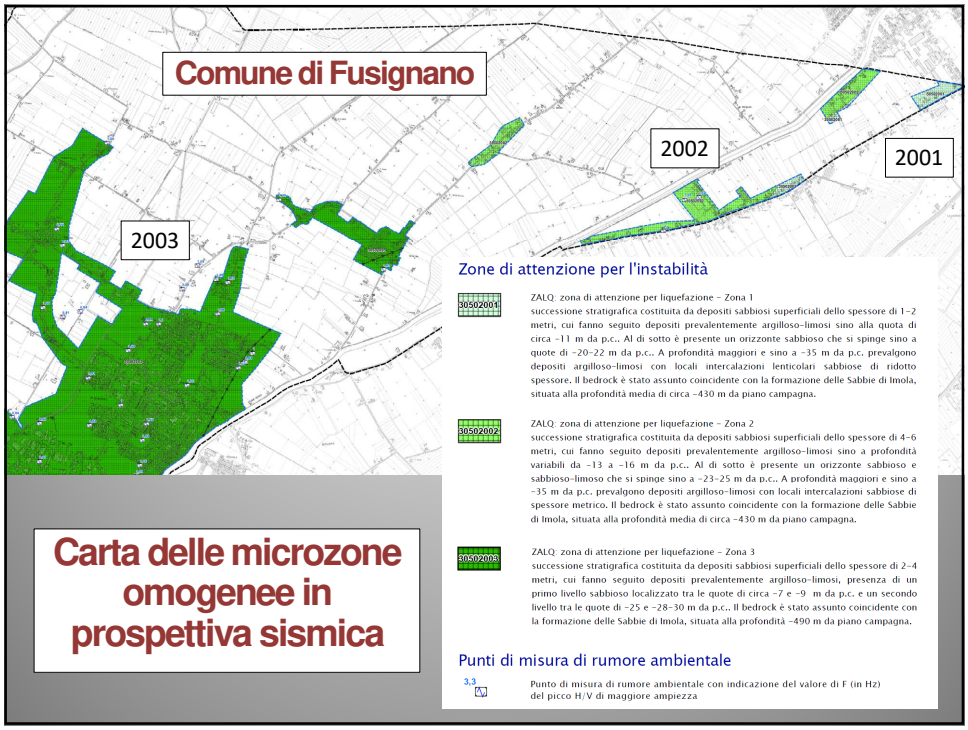


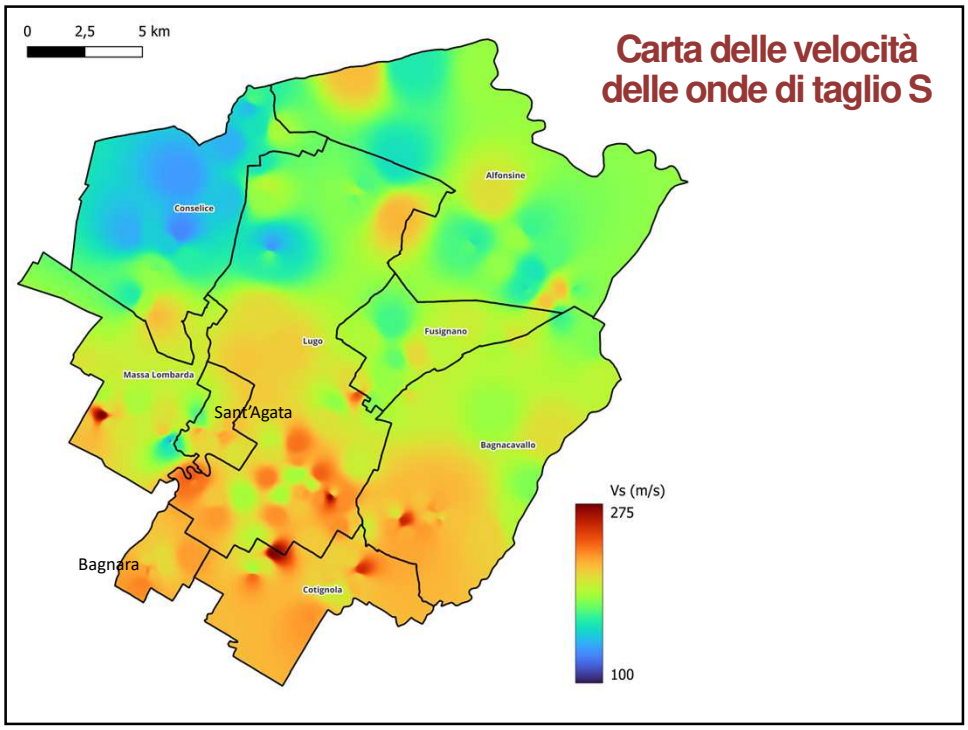

## Carta delle indagini




## Carta geologico-tecnica


0 2,5 5 km
Carta delle frequenze naturali dei terreni
Alfonsine
Conselice
Lugo
Fusignano
Massa Lombarda
Sant'Agata
Bagnacavallo
Bagnara
Bagnara di Romagna
Cotignola
Frequenza naturale di risonanza (Hz)
1,9
0,16


Comune di Fusignano
2003
2002
2001
Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica
Zone di attenzione per l'instabilità
30502001
ZALQ: zona di attenzione per liquefazione – Zona 1
successione stratigrafica costituita da depositi sabbiosi superficiali dello spessore di 1–2 metri, cui fanno seguito depositi prevalentemente argilloso-limosi sino alla quota di circa –11 m da p.c.. Al di sotto è presente un orizzonte sabbioso che si spinge sino a quote di –20–22 m da p.c.. A profondità maggiori e sino a –35 m da p.c. prevalgono depositi argilloso-limosi con locali intercalazioni lenticolari sabbiose di ridotto spessore. Il bedrock è stato assunto coincidente con la formazione delle Sabbie di Imola, situata alla profondità media di circa –430 m da piano campagna.
30502002
ZALQ: zona di attenzione per liquefazione – Zona 2
successione stratigrafica costituita da depositi sabbiosi superficiali dello spessore di 4–6 metri, cui fanno seguito depositi prevalentemente argilloso-limosi sino a profondità variabili da –13 a –16 m da p.c.. Al di sotto è presente un orizzonte sabbioso e sabbioso-limoso che si spinge sino a –23–25 m da p.c.. A profondità maggiori e sino a –35 m da p.c. prevalgono depositi argilloso-limosi con locali intercalazioni sabbiose di spessore metrico. Il bedrock è stato assunto coincidente con la formazione delle Sabbie di Imola, situata alla profondità media di circa –430 m da piano campagna.
30502003
ZALQ: zona di attenzione per liquefazione – Zona 3
successione stratigrafica costituita da depositi sabbiosi superficiali dello spessore di 2–4 metri, cui fanno seguito depositi prevalentemente argilloso-limosi, presenza di un primo livello sabbioso localizzato tra le quote di circa –7 e –9 m da p.c. e un secondo livello tra le quote di –25 e –28–30 m da p.c.. Il bedrock è stato assunto coincidente con la formazione delle Sabbie di Imola, situata alla profondità –490 m da piano campagna.
Punti di misura di rumore ambientale
3,3
Punto di misura di rumore ambientale con indicazione del valore di F (in Hz) del picco H/V di maggiore ampiezza




# Risposta sismica locale

La risposta sismica locale esprime le variazioni di ampiezza, durata e contenuto in frequenza che il moto sismico di riferimento, relativo a un sito rigido con superficie orizzontale, subisce per effetto delle condizioni topografiche e stratigrafiche del sito e delle proprietà fisico-meccaniche dei terreni e degli ammassi rocciosi attraversati.

I passi da seguire nello studio della risposta sismica locale sono:

1. **definizione del modello geofisico del sottosuolo;**
2. **stima dell'accelerazione di base;**
3. **esecuzione dell'analisi e restituzione grafica in termini di**:
   - serie temporali;
   - spettri di risposta elastica in superficie.

Nel presente studio la RSL è stata condotta con **metodo monodimensionale su ciascuna delle MOPS stabili e soggette ad instabilità**

## Modello geofisico del sottosuolo

La valutazione della risposta sismica locale richiede un'accurata modellazione delle caratteristiche geofisiche del sottosuolo, principalmente basata sui seguenti parametri:

- litologia;
- velocità delle onde sismiche di taglio (VS) e bedrock sismico;
- densità dei litotipi indagati;
- curve di variazione dello smorzamento (D) e della rigidezza (G/G0) in funzione della deformazione.

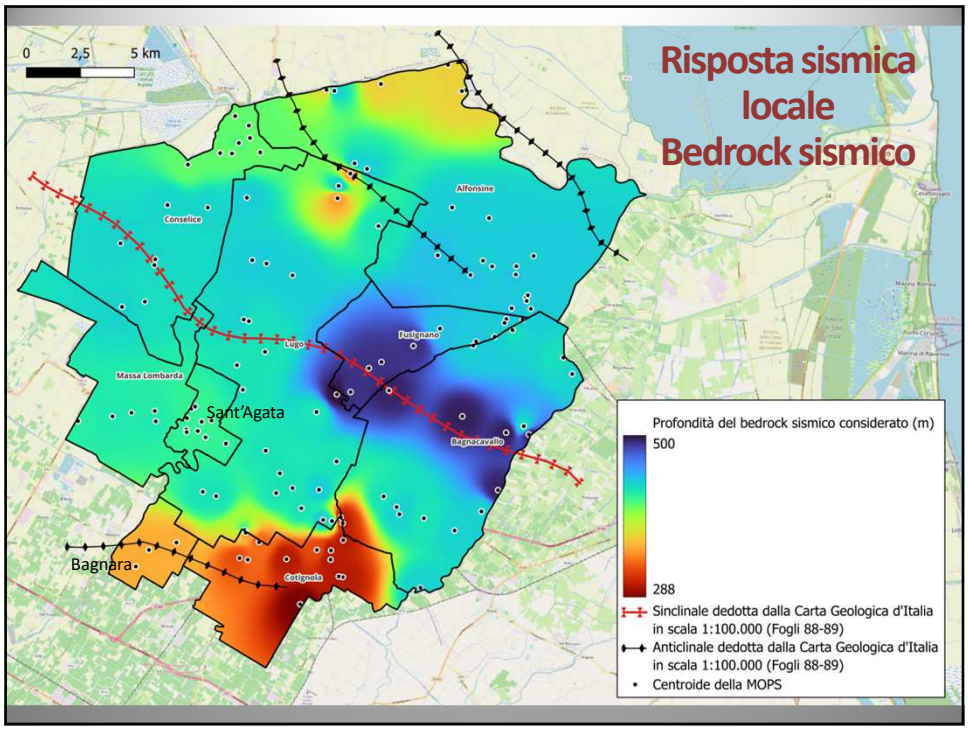
Tale modellazione va spinta in profondità fino a raggiungere il bedrock sismico, che teoricamente dovrebbe essere uno strato con velocità VS>800 m/s, oppure un passaggio tra due materiali caratterizzato da elevato contrasto di impedenza sismica.

## Determinazione delle Vs e del Bedrock Sismico

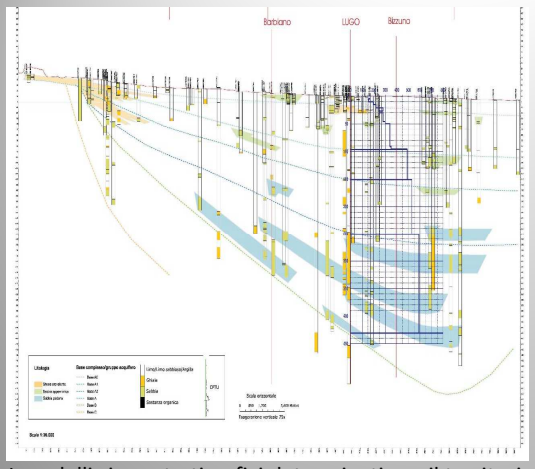
La valutazione di risposta sismica locale è stata definita considerando le sismostratigrafie derivanti dall'interpretazione delle indagini pregresse e di quelle appositamente realizzate nel corso di questo studio.

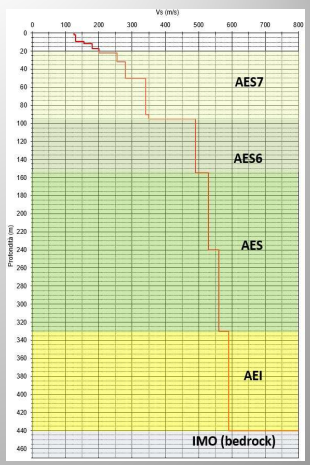
In particolare, le misure dirette di **Vs attraverso prove con cono sismico**, hanno consentito una dettagliata ricostruzione del profilo di Vs sino alla profondità di circa -30 metri dal piano campagna.

Per **profondità maggiori** sono stati utilizzati modelli sismostratigrafici derivanti dalla interpretazione delle misure di **microtremori a stazione singola**. Tali interpretazioni sono state effettuate sulla base di dati stratigrafici derivanti da **pozzi profondi per ricerca di idrocarburi e dalle sezioni geologiche della RER.**




## Definizione del modello sismostratigrafico

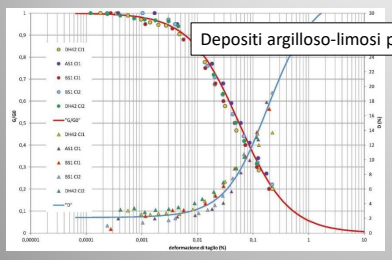


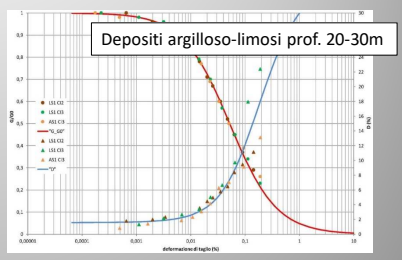



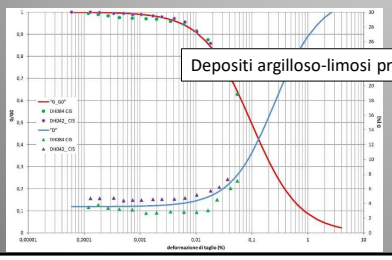

I modelli sismostratigrafici determinati per il territorio del **Comune di Lugo** evidenziano la presenta di un **primo contrasto di impedenza** a profondità variabili da **-90 m a -100 m da p.c.**, localizzato in corrispondenza del tetto del Subsintema di Bazzano AES6. Tale contrasto di impedenza è associato al **picco degli spettri H/V** delle misure HVSR alla frequenza di **0,8÷0,9 Hz.** Ulteriori contrasti di impedenza, anche se di entità minore, sono stati associati alla base del Sintema Emiliano-Romagnolo Sup. (AES) e al tetto del substrato marino localizzato a profondità variabili da **-400 a -500 m da p.c..**

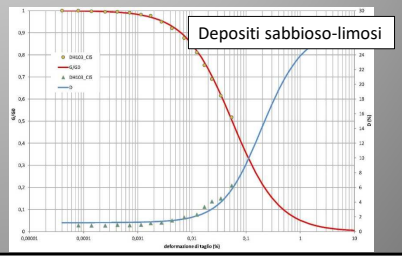
## Curve di variazione dello smorzamento (D) e della rigidezza (G/G0)

Sono state ottenute dai risultati delle prove di laboratorio (**colonna risonante**) eseguite su campioni di terreno estratti dai sondaggi realizzati nelle aree di MS, **raggruppandoli per litologia, indice di plasticità e profondità** ed elaborandoli attraverso il modello iperbolico di Yokota (1981). Per i depositi situati a **profondità maggiori di 50 metri**, sono state utilizzate curve di **letteratura**.


Depositi argilloso-limosi prof. 0-20m


Depositi argilloso-limosi prof. 20-30m


Depositi argilloso-limosi prof. 30-50m


Depositi sabbioso-limosi

## Caratteristiche del modello sismostratigrafico

Per ogni MOPS è stato definito uno specifico modello sismostratigrafico sulla base delle stratigrafie e dei dati geofisici locali.

Esempio: MOPS 2001 LUGO

| Strato | Descrizione | S [m] | ρ [Kg/m³] | Vs [m/s] | Curva decadimento |
|---|---|---|---|---|---|
| strato 1 | sabbia | 2.00 | 1800 | 125 | bassa_romagna sabbia |
| strato 2 | argilla e limo | 7.00 | 1850 | 130 | bassa_romagna 0-20 m LA |
| strato 3 | argilla e limo | 3.00 | 1850 | 155 | bassa_romagna 0-20 m LA |
| strato 4 | argilla e limo | 5.00 | 1850 | 180 | bassa_romagna 0-20 m LA |
| strato 5 | argilla e limo | 3.50 | 1900 | 200 | bassa_romagna 0-20 m LA |
| strato 6 | sabbia | 1.50 | 1900 | 200 | bassa_romagna sabbia |
| strato 7 | argilla e limo | 9.00 | 1900 | 255 | bassa_romagna 20-30 m LA |
| strato 8 | sabbia | 1.00 | 1900 | 255 | bassa_romagna sabbia |
| strato 9 | argilla e limo | 18.00 | 1950 | 280 | bassa_romagna 30-50 m LA |
| strato 10 | argilla e limo | 40.00 | 1950 | 340 | bassa_romagna 30-50 m LA |
| strato 11 | sabbia | 5.00 | 1950 | 350 | Darendeli (2001) IP=0 - 16 atm |
| strato 12 | sabbia | 60.00 | 2100 | 490 | Darendeli (2001) IP=15 - 16 atm |
| strato 13 | argilla e limo | 85.00 | 2100 | 530 | Darendeli (2001) IP=15 - 16 atm |
| strato 14 | argilla e limo | 90.00 | 2100 | 560 | Darendeli (2001) IP=15 - 16 atm |
| strato 15 | sabbia- argilla | 110.00 | 2100 | 590 | EPRI (93), 500-1000 ft |
| bedrock | | | 2200 | 800 | |

## Accelerogrammi

Quali segnali di **input sismico** sono stati utilizzati quelli forniti dalla piattaforma **WebGIS sviluppata da EUCENTRE** per la Regione Emilia-Romagna, che consente l'estrazione di **7 accelerogrammi** per ciascun nodo del reticolo di riferimento della pericolosità sismica locale dell'Allegato A delle NTC 2008. Gli accelerogrammi utilizzati sono quelli per **tempi di ritorno di 475 anni**.
Tutti i sismi sono scalati in accelerazione per ottenere un valore massimo di input compatibile con quello previsto per la localizzazione del sito.

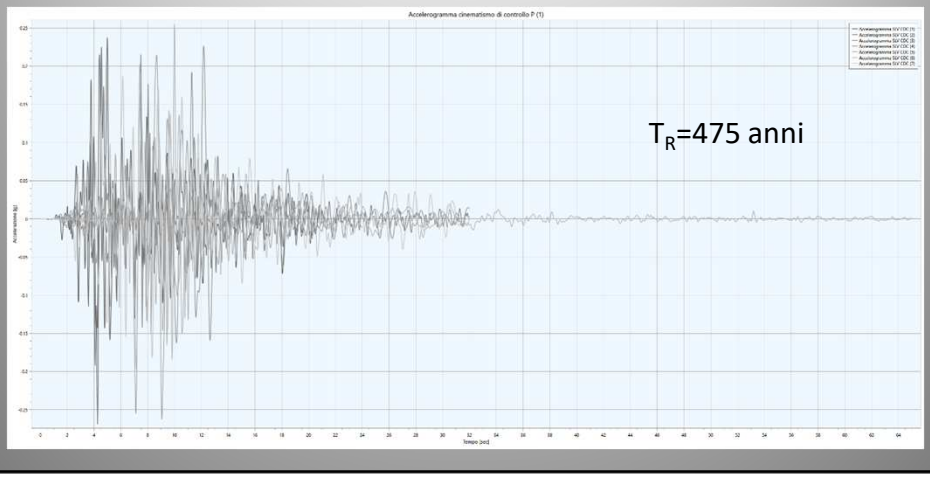
Esempio: accelerogrammi forniti per il nodo 16738

| $M_W$ | Distanza epicentrale | Fattore di scala | File |
|---|---|---|---|
| 6,20 | 29,90 | 2,20 | ESM EU.HRZ..HNE.D.19790524.172317.C.ACC.ASC |
| 5,74 | 12,57 | 1,44 | NGA RSN146_COYOTELK_G01320.AT2 |
| 5,99 | 54,21 | 2,72 | NGA RSN703_WHITTIER.A_A-VAS000.AT2 |
| 6,93 | 83,53 | 1,60 | NGA RSN804_LOMAP_SSF205.AT2 |
| 6,69 | 38,07 | 1,21 | NGA RSN1091_NORTHR_VAS090.AT2 |
| 6,60 | 31,00 | 0,68 | KiKnet SMNH100010061330.EW2 |
| 5,90 | 14,40 | 2,87 | ESM IT.SLO..HGE.D.20161026.191806.C.ACC.ASC |

## Risultati RSL

I risultati delle analisi, condotte con un software specifico ed elaborati nel dominio del tempo e delle frequenze, hanno consentito di definire **per ogni MOPS in esame**:

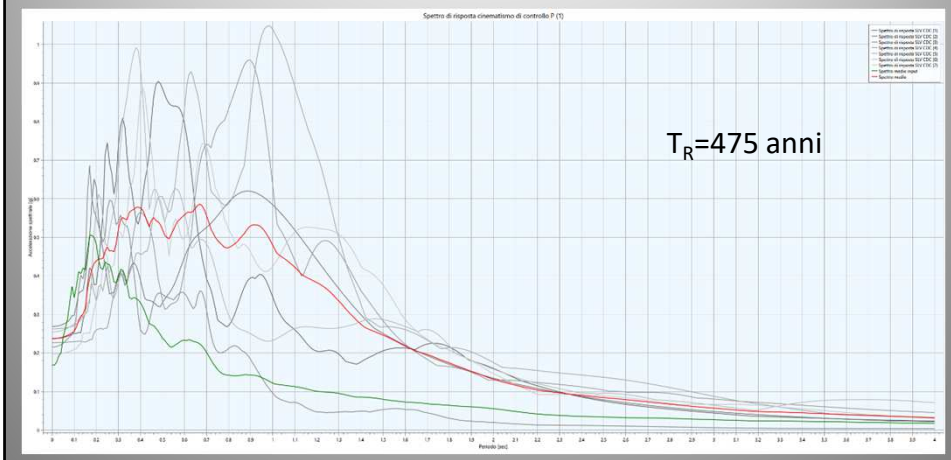
- **accelerogrammi di output**



# Risultati RSL

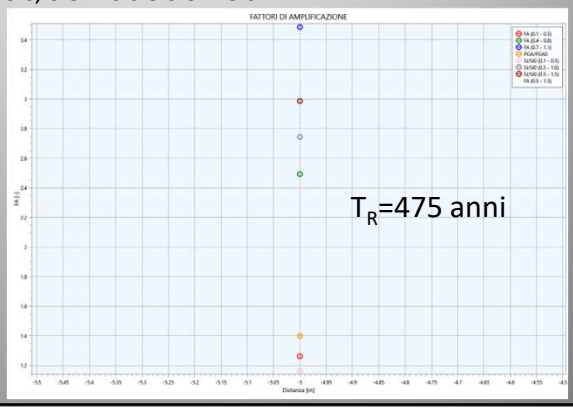
- **spettro di risposta** elastico in pseudoaccelerazione

gli spettri rappresentati sono ottenuti come **mediana** dei valori degli spettri di tutti i segnali sismici in output;



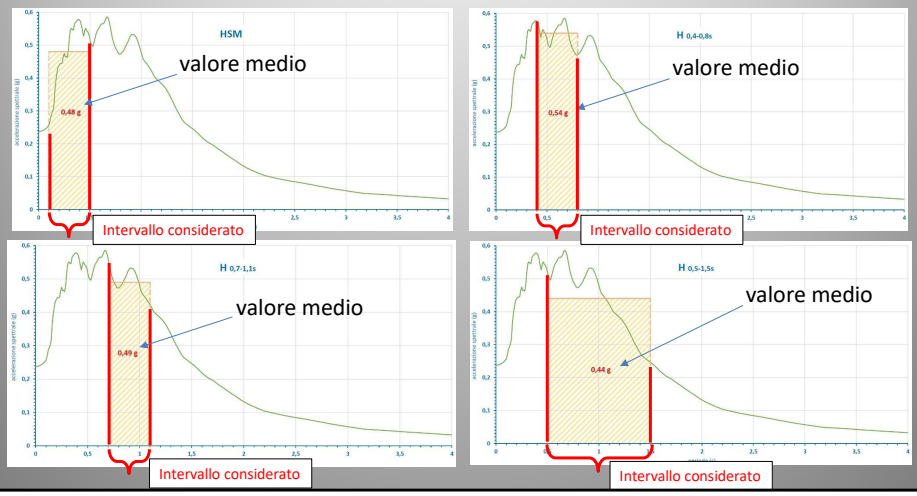

- **fattore di amplificazione** in termini di **picco di accelerazione** (**$FA_{PGA}$**), definito come il rapporto tra l'accelerazione massima in superficie ed il valore di riferimento per il sito su suolo rigido;
- **fattori di amplificazione** di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in **accelerazione** (**FA**) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s, 0.5-1.5 e 0.7-1.1 s;
- **fattori di amplificazione** di sito in termini di rapporto tra intensità dello spettro di risposta in **velocità** (**FH**) calcolato in superficie e quello calcolato su suolo rigido negli intervalli 0.1-0.5 s, 0.5-1.0 s e 0.5-1.5 s.

# Risultati RSL

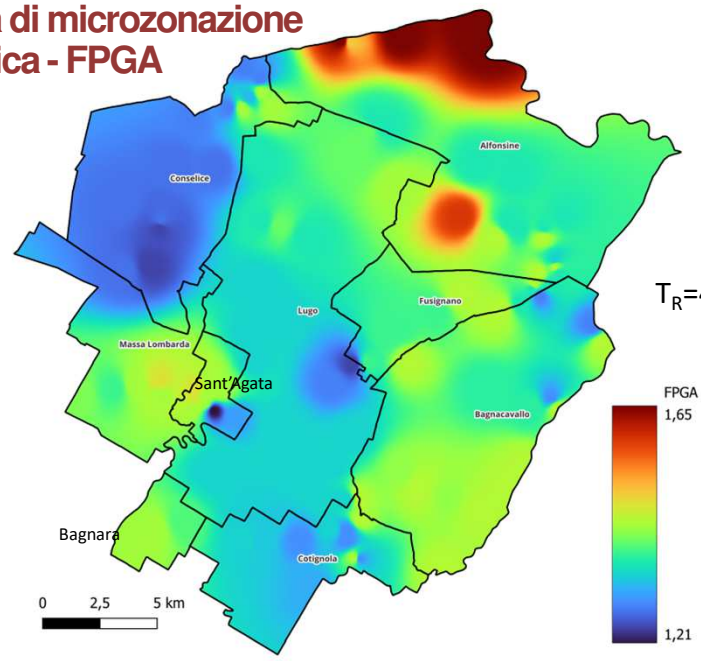


# Risultati RSL - Pericolosità sismica

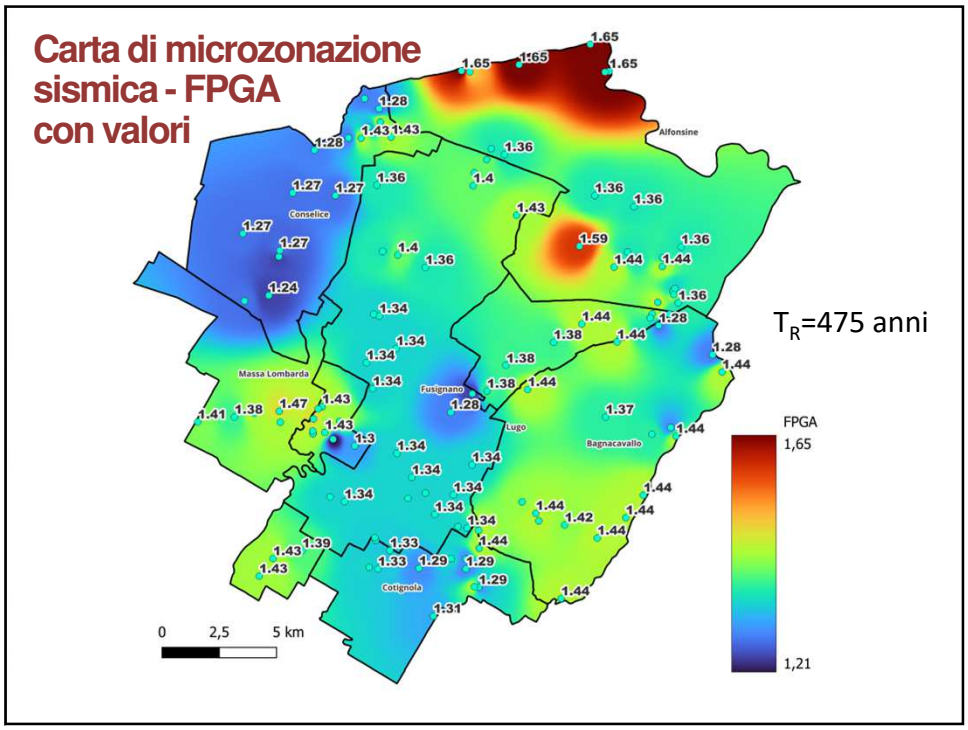
L'introduzione del parametro H (Hazard), accelerazione attesa ($T_R$=**475 anni**) espressa in percentuale dell'accelerazione di gravità g, previsto dalle "*Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da amplificazioni*" (Commissione Tecnica per la Microzonazione, 2022), si è reso necessario in quanto i fattori di amplificazione non rappresentano in maniera "completa" la pericolosità sismica reale di un'area e non permettono eventuali confronti tra aree diverse. Esso **rappresenta l'accelerazione spettrale media in superficie nell'intervallo di periodo considerato**.

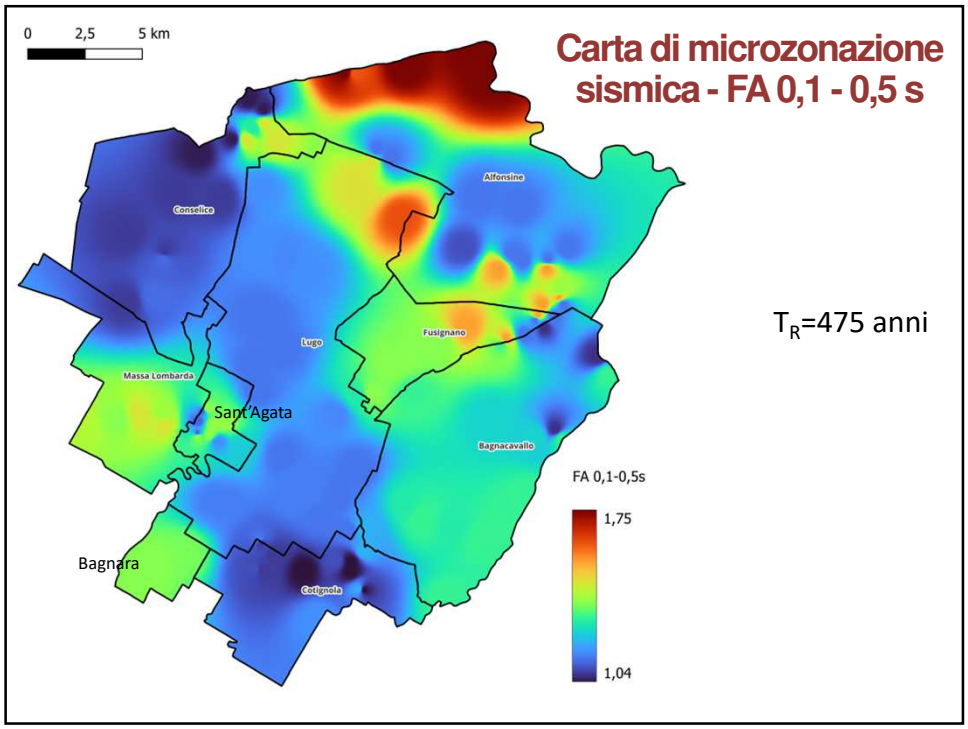


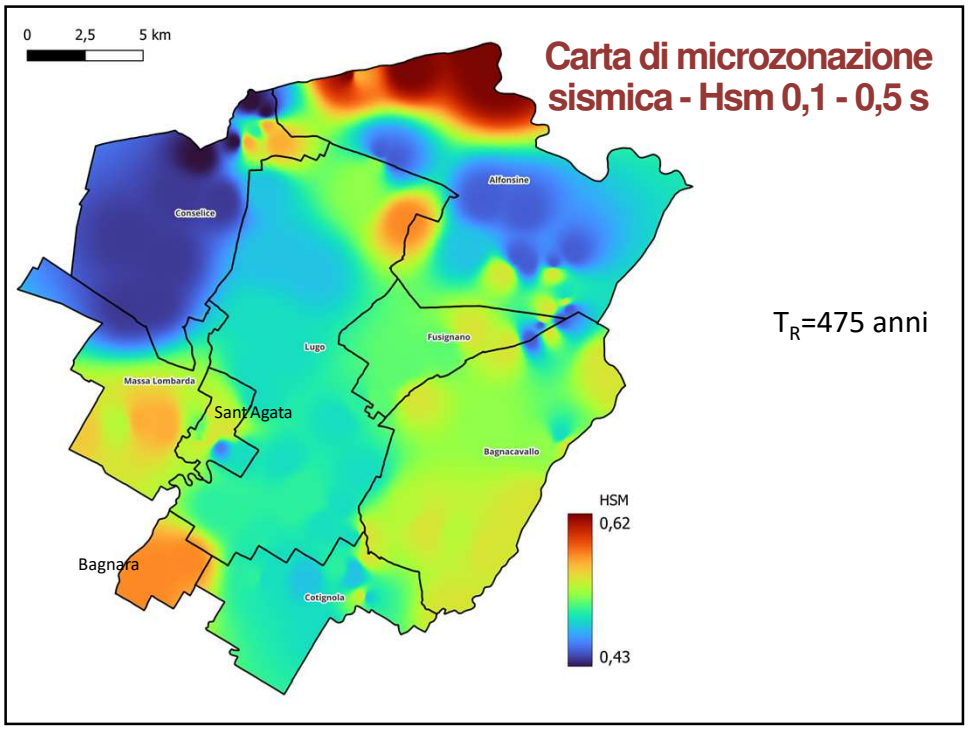

# Carta di microzonazione sismica - FPGA

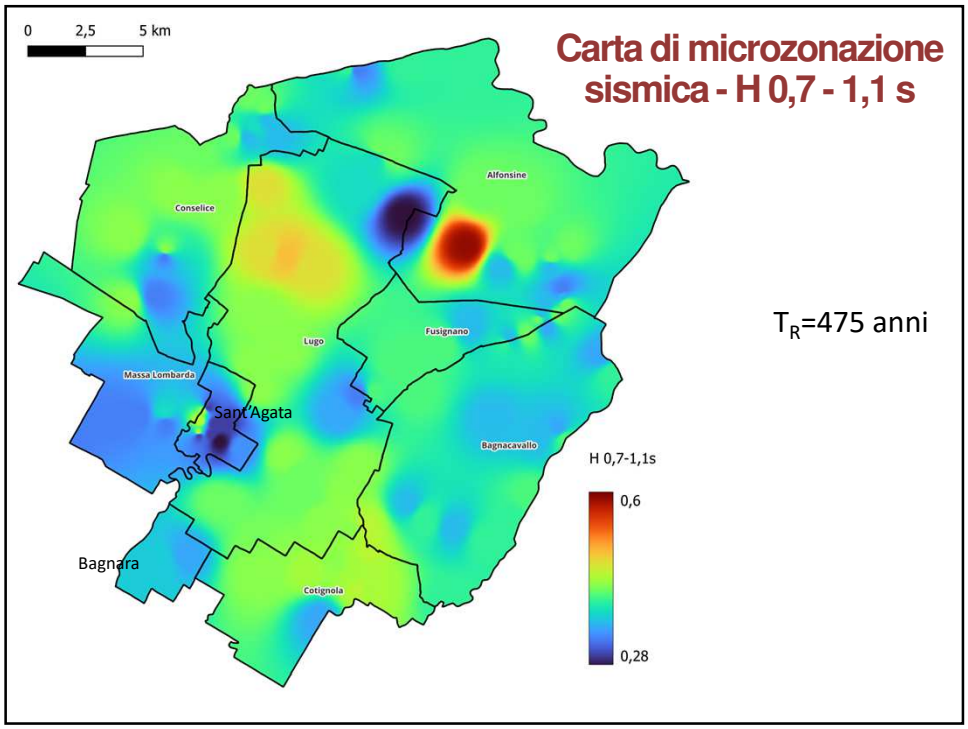


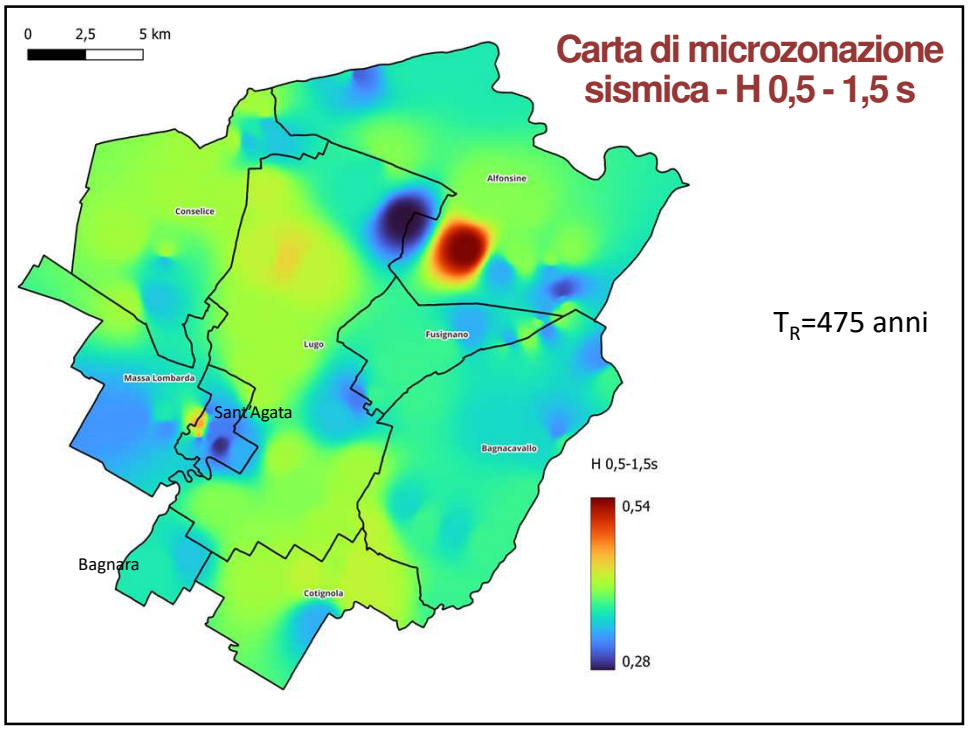

$T_R$=475 anni


Carta di microzonazione sismica - FPGA con valori
Alfonsine
Conselice
Massa Lombarda
Fusignano
Lugo
Bagnacavallo
Cotignola
0 2,5 5 km
FPGA
1,65
1,21
$T_R$=475 anni


0 2,5 5 km
Carta di microzonazione sismica - FA 0,1 - 0,5 s
Alfonsine
Conselice
Lugo
Fusignano
Massa Lombarda
Sant'Agata
Bagnacavallo
Bagnara
Cotignola
FA 0,1-0,5s
1,75
1,04
$T_R$=475 anni


0 2,5 5 km
Carta di microzonazione sismica - Hsm 0,1 - 0,5 s
Alfonsine
Conselice
Lugo
Fusignano
Massa Lombarda
Sant'Agata
Bagnacavallo
Bagnara
Cotignola
HSM
0,62
0,43
T$_R$=475 anni


0 2,5 5 km
Carta di microzonazione sismica - H 0,7 - 1,1 s
Alfonsine
Conselice
Lugo
Fusignano
Massa Lombarda
Sant'Agata
Bagnacavallo
Bagnara
Cotignola
H 0,7-1,1s
0,6
0,28
T$_R$=475 anni




# Esempio dell'aggiornamento dello studio di microzonazione sismica a livello comunale

## Comune di Lugo

Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n.77

# MICROZONAZIONE SISMICA

## Relazione illustrativa

Livello 3

Regione Emilia-Romagna

Comune di Lugo



| Regione | Soggetto realizzatore | Data |
|---|---|---|
| Emilia-Romagna | Dott. Geol. Aldo Antoniazzi<br>(capogruppo/mandatario)<br>Dott. Geol. Aldo Antoniazzi (Legale Rappresentante)<br>Dott. Geol. Marco Baldi (mandante)<br>Dott. Arch. Giulia Mancini (mandante)<br>SOGEO S.r.l. (mandante)<br>Collaboratori:<br>Dott. Geol. Stefano Castagnetti<br>Dott. Geol. Luca Castellucci<br>Dott. Geol. Maurizio Moroni | Ottobre 2024 |

**RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO**

Dott. Ing. Sara Martini
Responsabile del Servizio Sismica - Area Economia e Territorio dell'Unione dei Comuni della Bassa Romagna

**GRUPPO DI LAVORO**

**Soggetto incaricato**

GEOLOGO DOTT. ALDO ANTONIAZZI
Studio di Geologia Tecnica e Ambientale

| Professionisti | Professione | Principali competenze |
|---|---|---|
| Dott. Aldo Antoniazzi (Capogruppo/Mandatario) | Geologo | Pianificazione territoriale, Microzonazione Sismica, idrogeologia, meccanica delle terre e rocce e Protezione Civile |
| Dott. Marco Baldi (Mandante) | Geologo | Pianificazione territoriale, Microzonazione Sismica, sistemi informativi territoriali (GIS) e telerilevamento |
| Dott. Arch. Giulia Mancini (Mandante) | Architetto | Pianificazione territoriale e CLE |
| Sogeo S.r.l. (Mandante) | | Indagini geognostiche |

**Collaboratori e specialisti**

| | |
|---|---|
| Dott. Geol. Alberto Domenico Antoniazzi | Pianificazione territoriale, geopedologia ed evoluzione costiera |
| Dott. Geol. Stefano Castagnetti | Pianificazione territoriale, Microzonazione Sismica, Protezione Civile e CLE |
| Dott. Geol. Luca Castellucci | Sistemi informativi territoriali (GIS) |
| Dott. Geol. Maurizio Moroni | Esplorazione del sottosuolo, geofisica applicata e geotecnica |

**Esecuzione indagini**

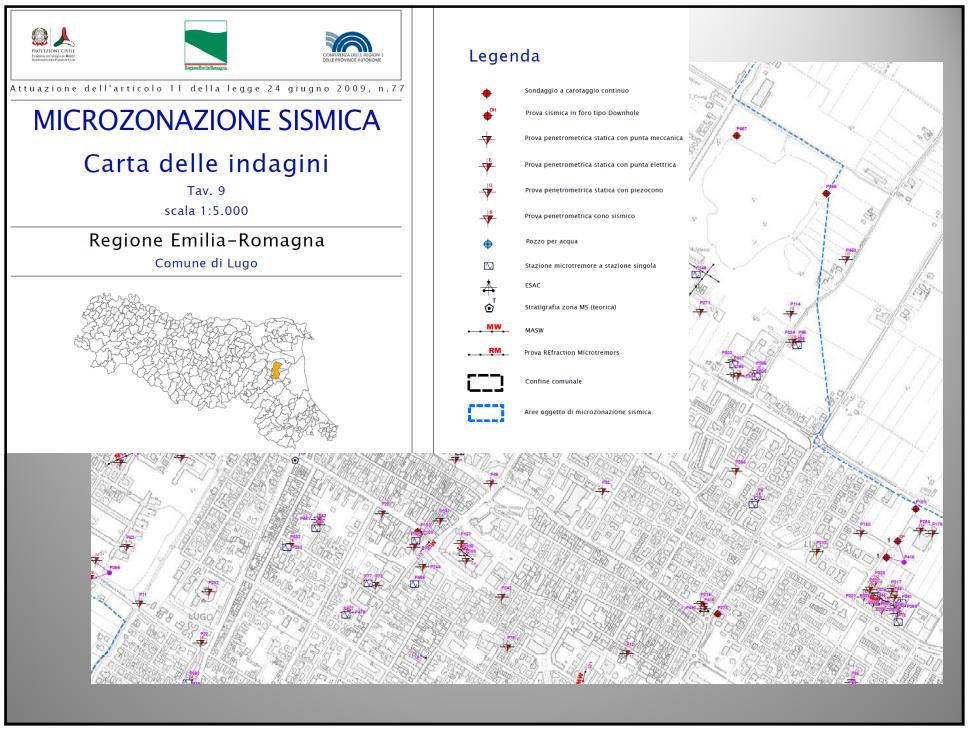
Dott. Geol. Maurizio Moroni (indagini penetrometriche e geofisiche)
Sogeo S.r.l. (sondaggi e prove in laboratorio)

**Fonte dati**

Uffici Tecnici Comunali - Comune di Lugo
Unione dei Comuni della Bassa Romagna
Provincia di Ravenna
Area Geologia, Suoli e Sismica - Regione Emilia-Romagna
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (I.N.G.V.)

**ELABORATI**

- Relazione illustrativa
- Analisi del potenziale di liquefazione
- Carta delle indagini in scala 1:5.000 (9 tavole)
- Carta geologico-tecnica in scala 1:10.000 (2 tavole)
- Carta delle frequenze naturali dei terreni in scala 1:10.000 (2 tavole)
- Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica in scala 1:10.000 (2 tavole)
- Carta delle velocità delle onde di taglio S in scala 1:10.000 (2 tavole)
- Carta di microzonazione sismica - FPGA in scala 1:10.000 (2 tavole)
- Carta di microzonazione sismica - FA $_{0,1 - 0,5\ s}$ in scala 1:10.000 (2 tavole)
- Carta di microzonazione sismica - FA $_{0,4 - 0,8\ s}$ in scala 1:10.000 (2 tavole)
- Carta di microzonazione sismica - FA $_{0,7 - 1,1\ s}$ in scala 1:10.000 (2 tavole)
- Carta di microzonazione sismica - FA $_{0,5 - 1,5\ s}$ in scala 1:10.000 (2 tavole)
- Carta di microzonazione sismica - FH $_{0,1 - 0,5\ s}$ in scala 1:10.000 (2 tavole)
- Carta di microzonazione sismica - FH $_{0,5 - 1,0\ s}$ in scala 1:10.000 (2 tavole)
- Carta di microzonazione sismica - FH $_{0,5 - 1,5\ s}$ in scala 1:10.000 (2 tavole)
- Carta di microzonazione sismica - $H_{sm}$ in scala 1:10.000 (2 tavole)
- Carta di microzonazione sismica - H $_{0,4 - 0,8\ s}$ in scala 1:10.000 (2 tavole)
- Carta di microzonazione sismica - H $_{0,7 - 1,1\ s}$ in scala 1:10.000 (2 tavole)
- Carta di microzonazione sismica - H $_{0,5 - 1,5\ s}$ in scala 1:10.000 (2 tavole)




| **Prove in sito** | | MS precedente | Archivio | | | | | Prove realizzate in questa sede |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | RER | Comune | Unione | Sogeo S.r.l. | Archivio interno | |
| Sondaggi a carotaggio continuo | | 15 | | 1 | 8 | | | 1 |
| Down Hole | | 1 | | | | | | 1 |
| Pozzi per acqua | | 15 | | | | | | |
| SCPTU | Penetrometria | 4 | | | | | | 7 |
| | Geofisica | | | 2 | 2 | | | 7 |
| ESAC | | | | | | | | 5 |
| Microtremori (HVSR) | | 73 | | 34 | 14 | | | 5 |
| Prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU) | | 28 | 35 | 54 | 8 | 3 | 7 | 8 |
| Prove penetrometriche statiche con punta elettrica (CPTE) | | 16 | | 17 | 1 | | | |
| Prove penetrometriche statiche con punta meccanica (CPT) | | 135 | | | | | | |
| MASW | | 10 | | 2 | 7 | | | 3 |
| REMI | | 3 | | | | | | |
| Totale | | **300** | **35** | **110** | **40** | **3** | **7** | **37** |

# MICROZONAZIONE SISMICA

## Carta geologico tecnica

Tav. 2
scala 1:10.000

Regione Emilia-Romagna
Comune di Lugo

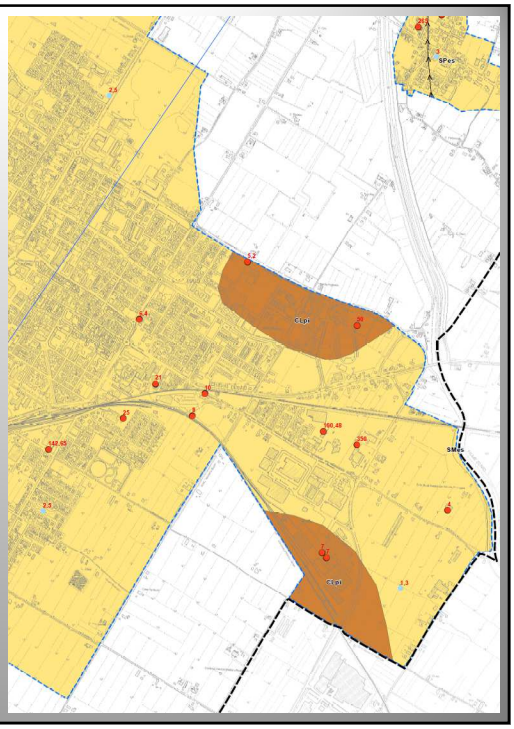


| Regione | Soggetto realizzatore | Data |
|---|---|---|
| Emilia-Romagna | Dott. Geol. Aldo Antoniazzi<br>(capogruppo/mandatario)<br>Dott. Geol. Aldo Antoniazzi (Legale Rappresentante)<br>Dott. Geol. Marco Baldi (mandante)<br>Dott. Arch. Giulia Manchini (mandante)<br>SOGEO S.r.l. (mandante)<br>Collaboratori:<br>Dott. Geol. Stefano Castagnetti<br>Dott. Geol. Luca Castellucci<br>Dott. Geol. Maurizio Moroni | Ottobre 2024 |

### Legenda

Terreni di copertura

- GL — Argille inorganiche di media-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre
- SM — Sabbie limose, miscela di sabbia e limo
- SP — Sabbie pulite con granulometria poco assortita



# MICROZONAZIONE SISMICA

## Carta delle frequenze naturali dei terreni

Tav. 2
scala 1:10.000

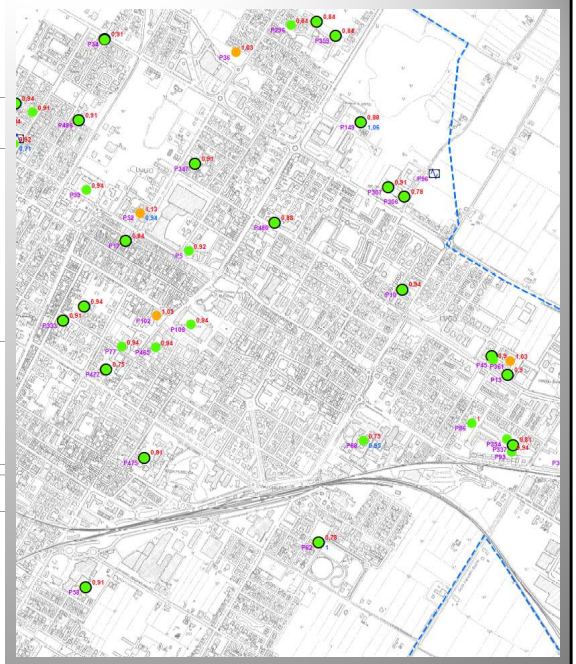
Regione Emilia-Romagna
Comune di Lugo



| Regione | Soggetto realizzatore | Data |
|---|---|---|
| Emilia-Romagna | Dott. Geol. Aldo Antoniazzi<br>(capogruppo/mandatario)<br>Dott. Geol. Aldo Antoniazzi (Legale Rappresentante)<br>Dott. Geol. Marco Baldi (mandante)<br>Dott. Arch. Giulia Manchini (mandante)<br>SOGEO S.r.l. (mandante)<br>Collaboratori:<br>Dott. Geol. Stefano Castagnetti<br>Dott. Geol. Luca Castellucci<br>Dott. Geol. Maurizio Moroni | Ottobre 2024 |

### Legenda

| frequenza picco significativo (Hz) | ampiezza picco | | | spessore atteso (m) |
|---|---|---|---|---|
| | 1,5 ≤A/V SR< 2 | 2 ≤A/V SR< 2 | A/V SR ≥ 3 | |
| F ≤ 0,6 | ● | ● | ● | > 200 |
| 0,6 < F ≤ 1 | ● | ● | ● | 200 – 80 |
| 1 < F ≤ 2 | ● | ● | ● | 80 – 30 |
| 2 < F ≤ 8 | ● | ● | ● | 30 – 10 |
| F > 8 | ● | ● | ● | < 10 |
| Assenza di picchi significativi | | | | |



# MICROZONAZIONE SISMICA
## Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica

Tav. 2
scala 1:10.000

Regione Emilia-Romagna
Comune di Lugo



| Regione | Soggetto realizzatore | Data |
|---|---|---|
| Emilia-Romagna | Dott. Geol. Aldo Antoniazzi | Ottobre 2024 |

### Legenda

**Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**

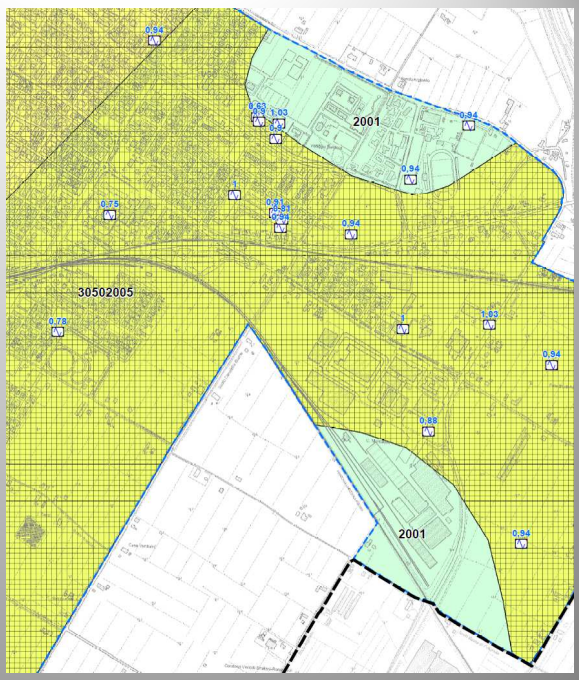
2001 — ZONA 1: successione stratigrafica costituita da prevalenti depositi fini costituiti da miscele di limi e argille, con subordinate intercalazioni di livelli sabbiosi e sabbioso-limosi generalmente presenti oltre la profondità di 15 m da p.c.. Il bedrock è stato assunto coincidente con la formazione delle Sabbie di Imola, situata alla profondità variabile da -430 a -440 m da piano campagna.

**Zone di attenzione per l'instabilità**

ZALQ: zona di attenzione per liquefazione - Zona 5 — successione stratigrafica costituita da depositi sabbiosi superficiali dello spessore di circa 1-2 metri, cui fanno seguito depositi argilloso-limosi con intercalazioni sabbiose e sabbioso-limose, talune di forma lenticolare e altre di maggior estensione areale (24-28 m da p.c.). Il bedrock è stato assunto coincidente con la formazione delle Sabbie di Imola, situata alla profondità variabile da -430 a -490 m da piano campagna.

ZALQ: zona di attenzione per liquefazione - Zona 6 — successione stratigrafica costituita da depositi sabbiosi superficiali dello spessore di circa 1-2 metri, cui fanno seguito depositi argilloso-limosi con intercalazioni sabbiose e sabbioso-limose, talune di forma lenticolare e altre di maggior estensione areale (18-21 m da p.c.). Il bedrock è stato assunto coincidente con la formazione delle Sabbie di Imola, situata alla profondità di circa -410 m da piano campagna.

ZALQ: zona di attenzione per liquefazione - Zona 7 — successione stratigrafica costituita da depositi sabbiosi superficiali dello spessore di circa 3 metri, cui fanno seguito depositi argilloso-limosi con intercalazioni sabbiose e sabbioso-limose, talune di forma lenticolare e altre di maggior estensione areale (15-18 m da p.c.). Il bedrock è stato assunto coincidente con la formazione delle Sabbie di Imola, situata alla profondità di circa -430 m da piano campagna.




# MICROZONAZIONE SISMICA
## Carta delle velocità delle onde di taglio S

Tav. 2
scala 1:10.000

Regione Emilia-Romagna
Comune di Lugo



| Regione | Soggetto realizzatore | Data |
|---|---|---|
| Emilia-Romagna | Dott. Geol. Aldo Antoniazzi | Ottobre 2024 |

### Legenda

MW — MASW con indicato il valore di Vs30 in m/s (in rosso) e l'identificativo della prova (in blu)

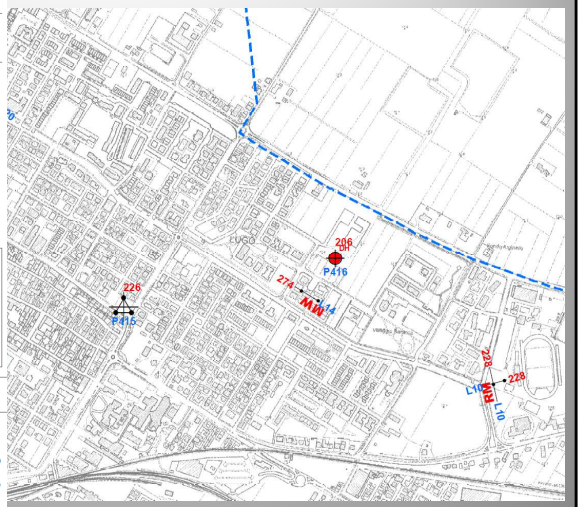
RM — RE.MI con indicato il valore di Vs30 in m/s (in rosso) e l'identificativo della prova (in blu)

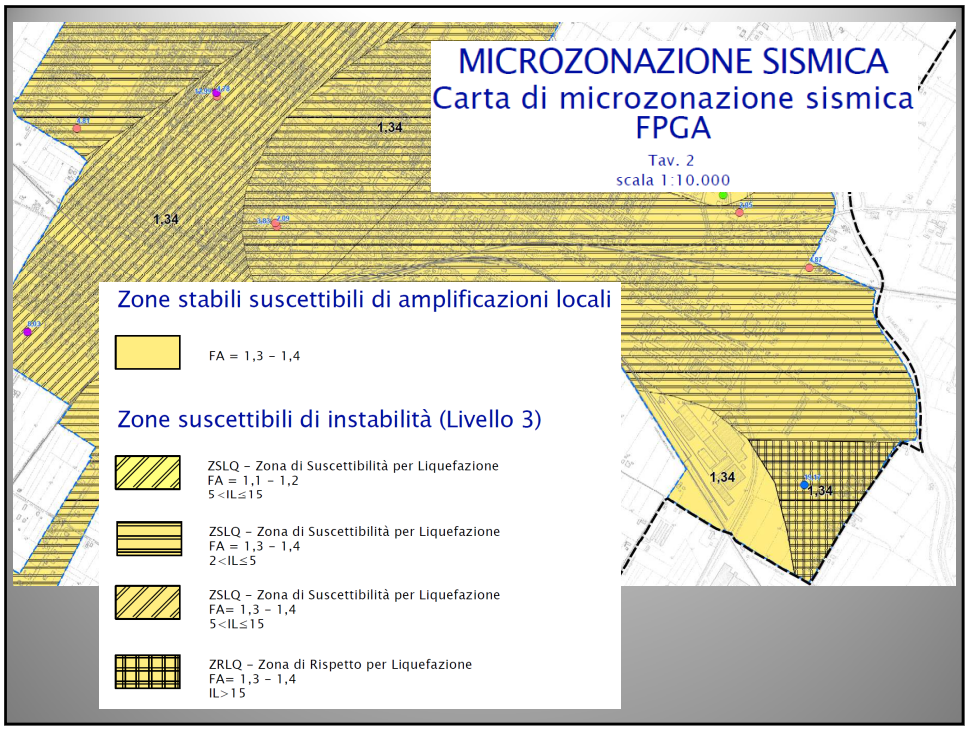
ESAC con indicato il valore di Vs30 in m/s (in rosso) e l'identificativo della prova (in blu)

Prova penetrometrica con cono sismico con indicato il valore di Vs30 in m/s (in rosso) e l'identificativo della prova (in blu)

Misura microtremori a stazione singola con indicato il valore di Vs30 in m/s (in rosso) e l'identificativo della prova (in blu)

Down-hole con indicato il valore di Vs30 in m/s in m/s (in rosso) e l'identificativo della prova (in blu)

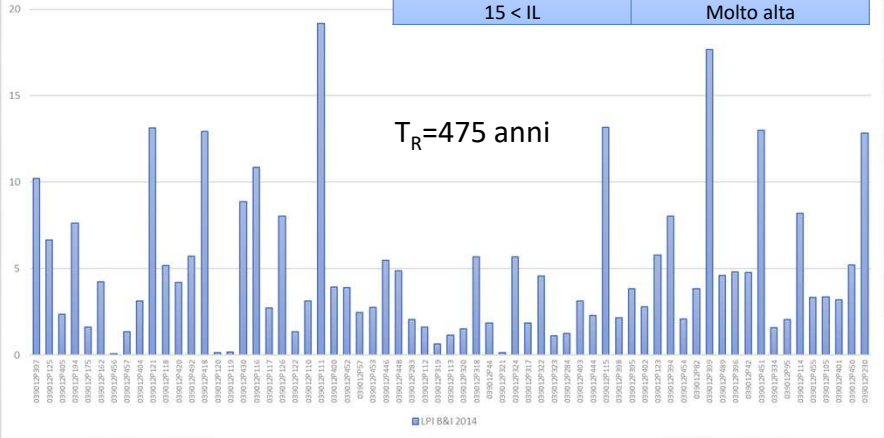




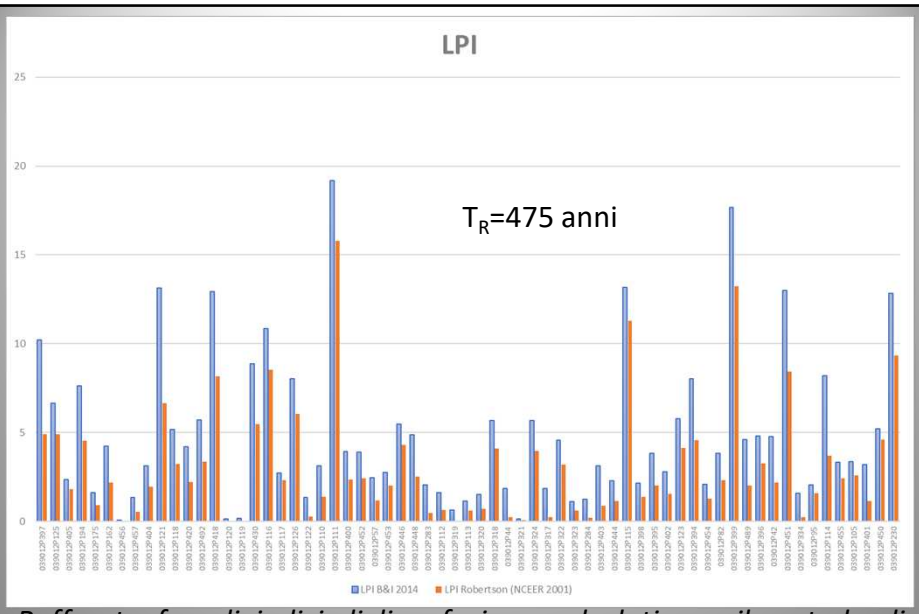

Sono state analizzate 65 verticali:
La pericolosità risulta bassa per 16 verticali, moderata per 27, alta per 20 e molto alta per 2

*Indici di liquefazione calcolati (B&I 2014)*

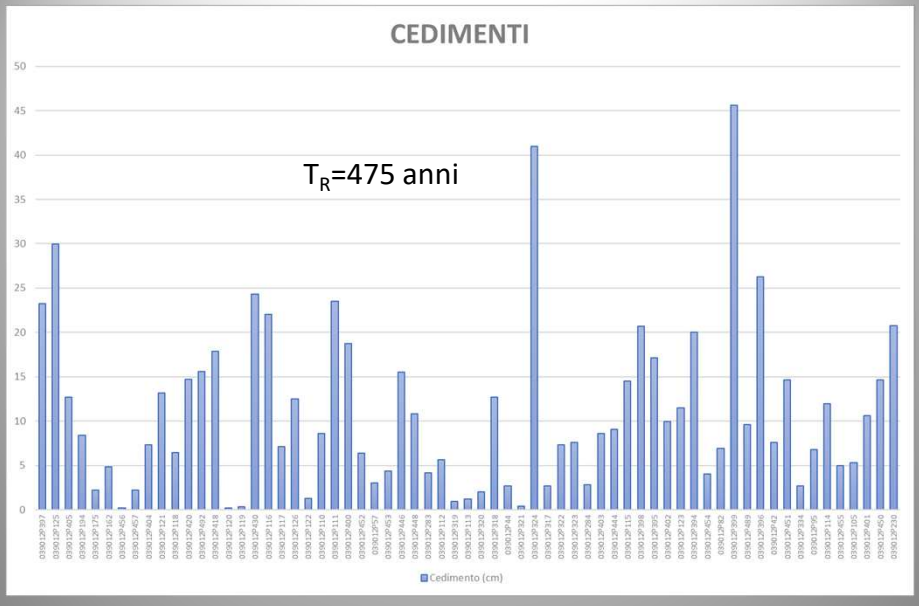
| VALORI DI $I_L$ | PERICOLO DI LIQUEFAZIONE |
|---|---|
| IL = 0 | Nulla |
| 0 < IL ≤ 2 | Bassa |
| 2 < IL ≤ 5 | Moderata |
| 5 < IL ≤ 15 | Alta |
| 15 < IL | Molto alta |




$T_R$=475 anni



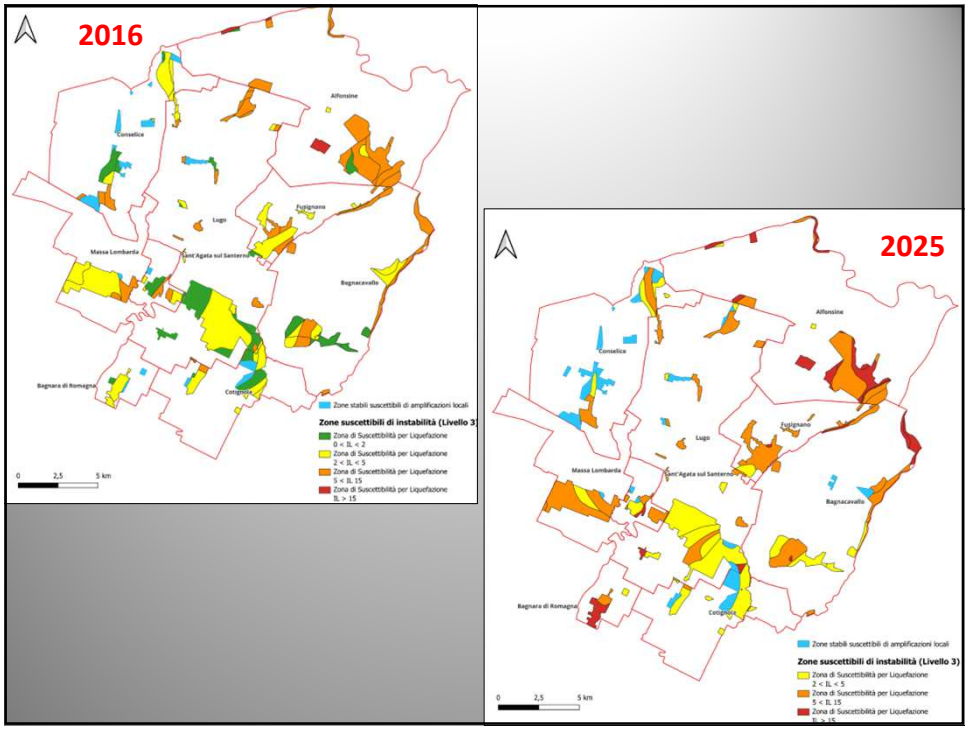

*Raffronto fra gli indici di liquefazione calcolati con il metodo di Boulanger & Idriss (2014) e quelli calcolati con il metodo di Robertson (NCEER 2001)*

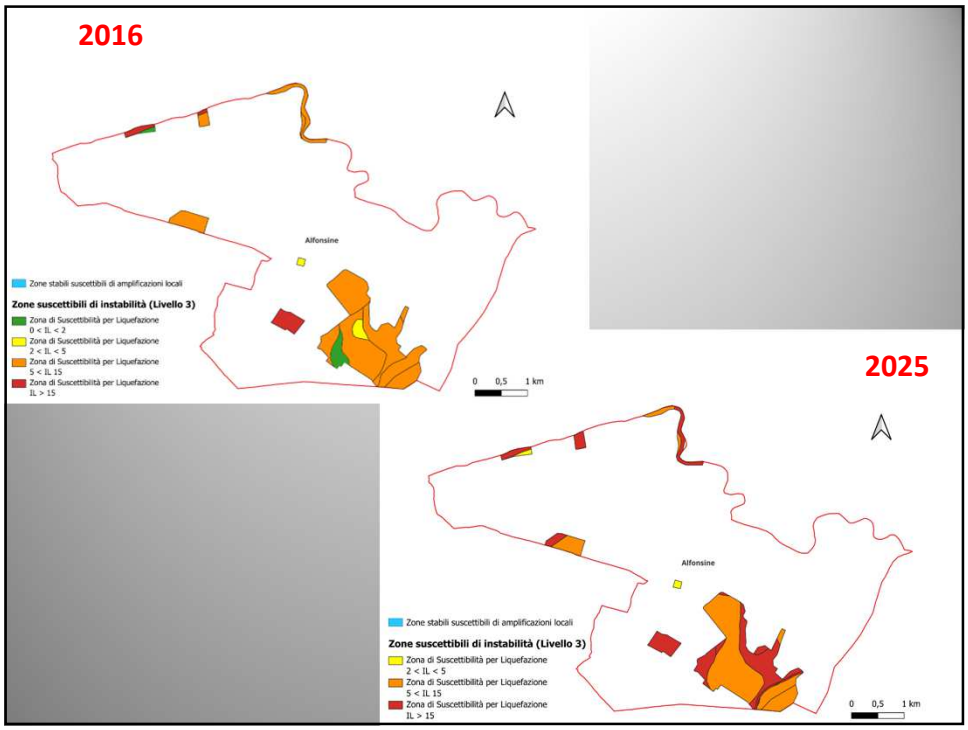


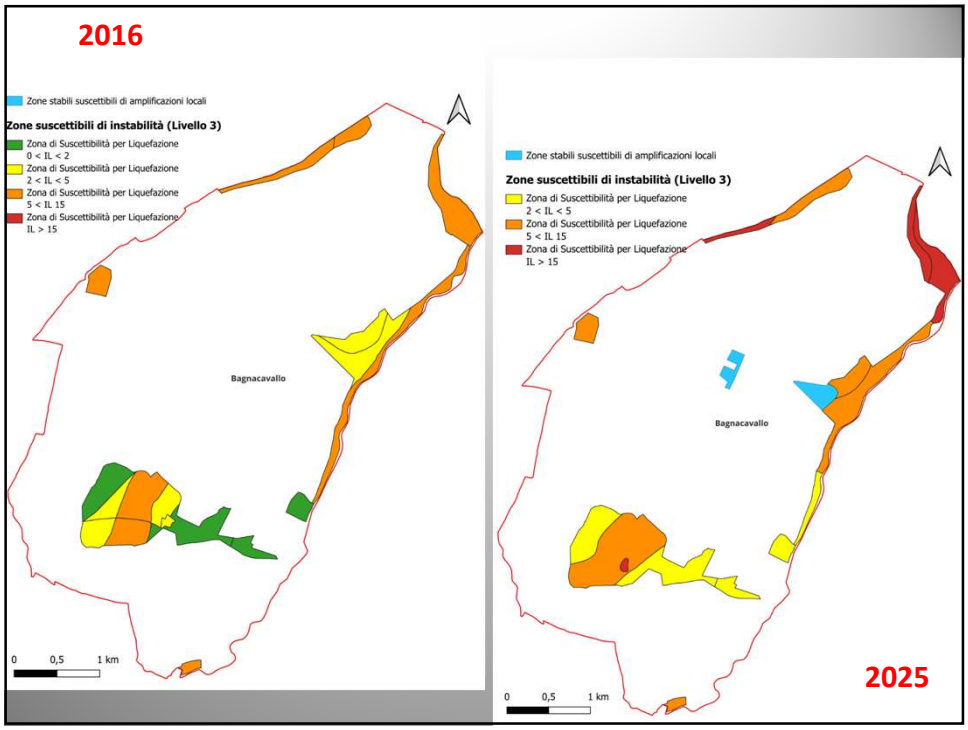

*Cedimenti verticali calcolati*

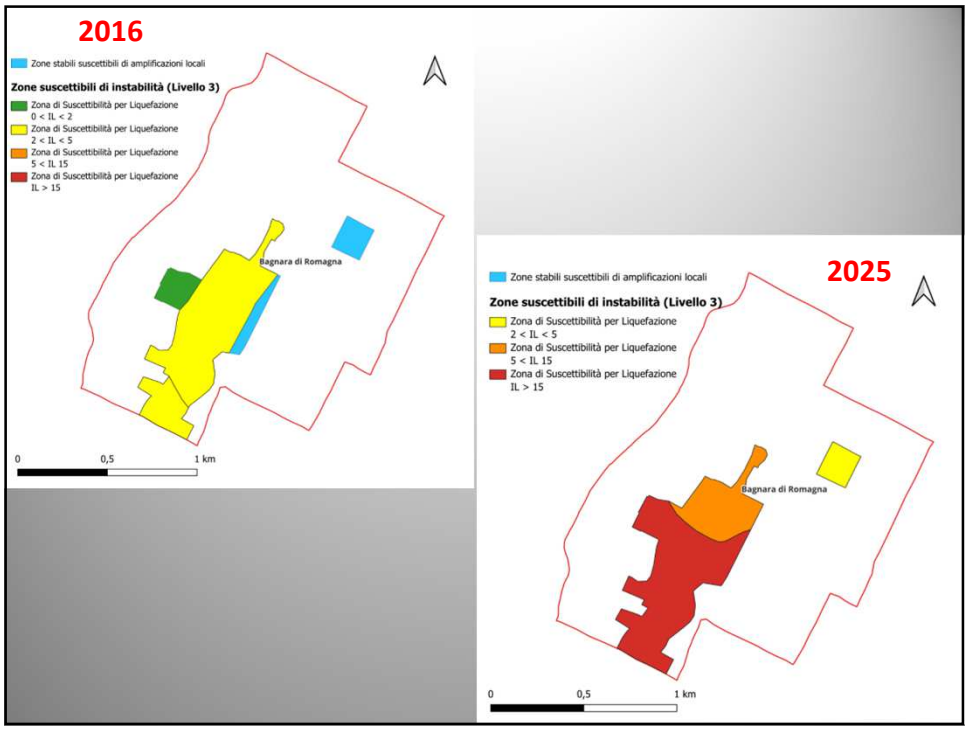
## Analisi dell'indice di liquefazione: verticali analizzate sul territorio dell'Unione dei Comuni della Bassa Romagna

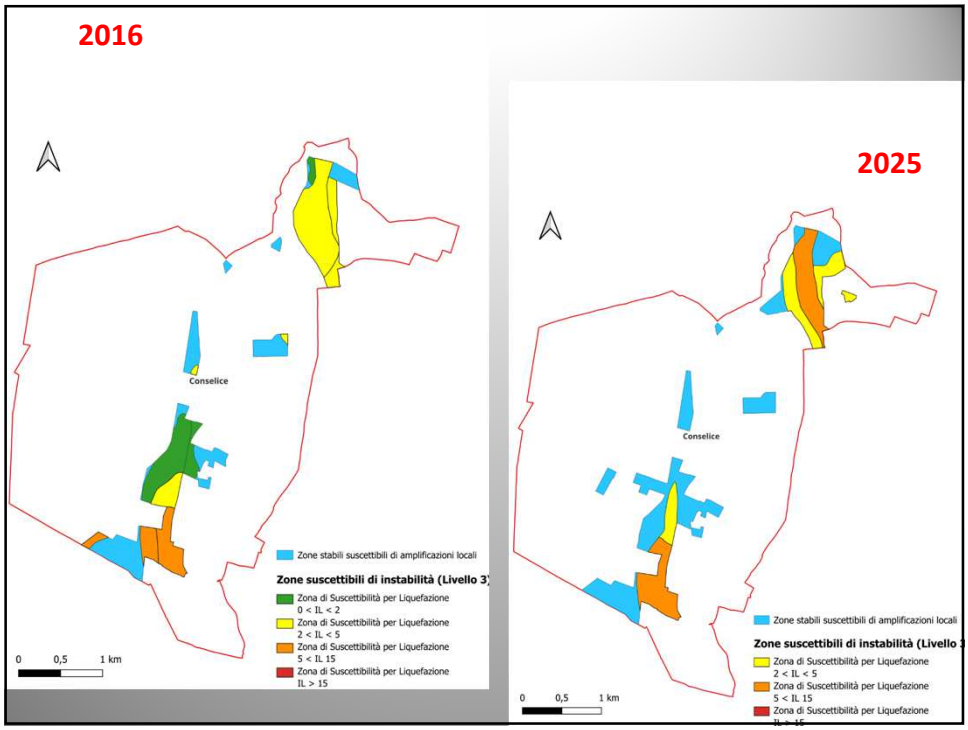
| Comune | CPTU | CPTE | CPT |
|---|---|---|---|
| Alfonsine | 41 | | |
| Bagnacavallo | 55 | | |
| Bagnara di R. | 14 | 4 | |
| Conselice | 48 | 4 | 6 |
| Cotignola | 32 | 2 | |
| Fusignano | 22 | 5 | 2 |
| Lugo | 57 | 8 | |
| Massa L. | 21 | | |
| Sant'Agata sul Santerno | 16 | | 8 |
| **Totale** | **306** | **23** | **16** |
| **Totale complessivo** | | **345** | |

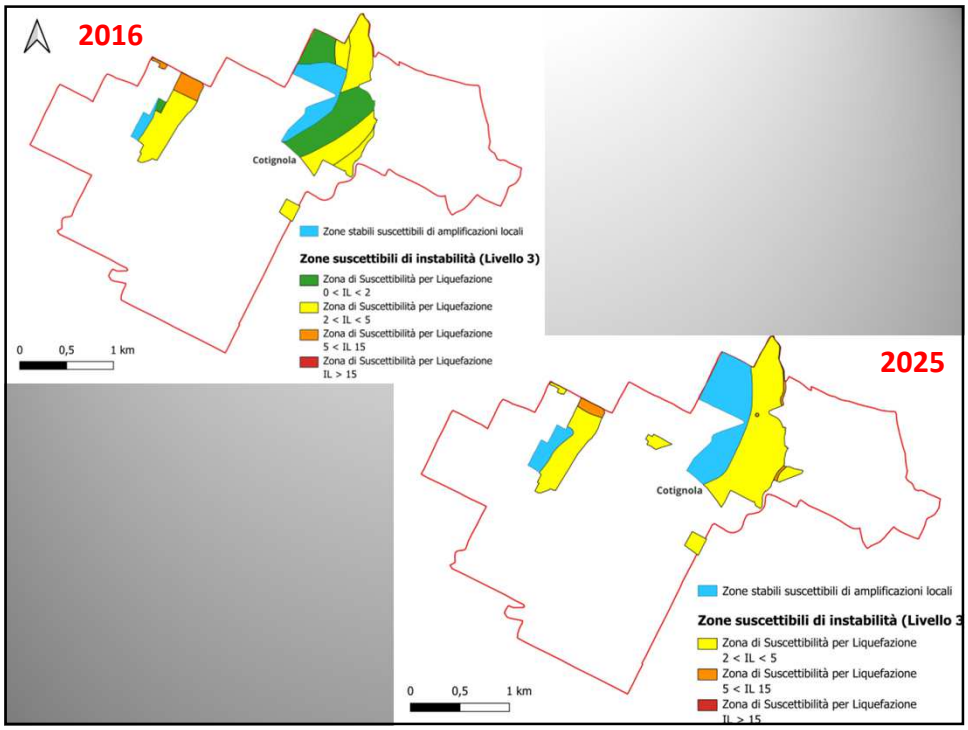


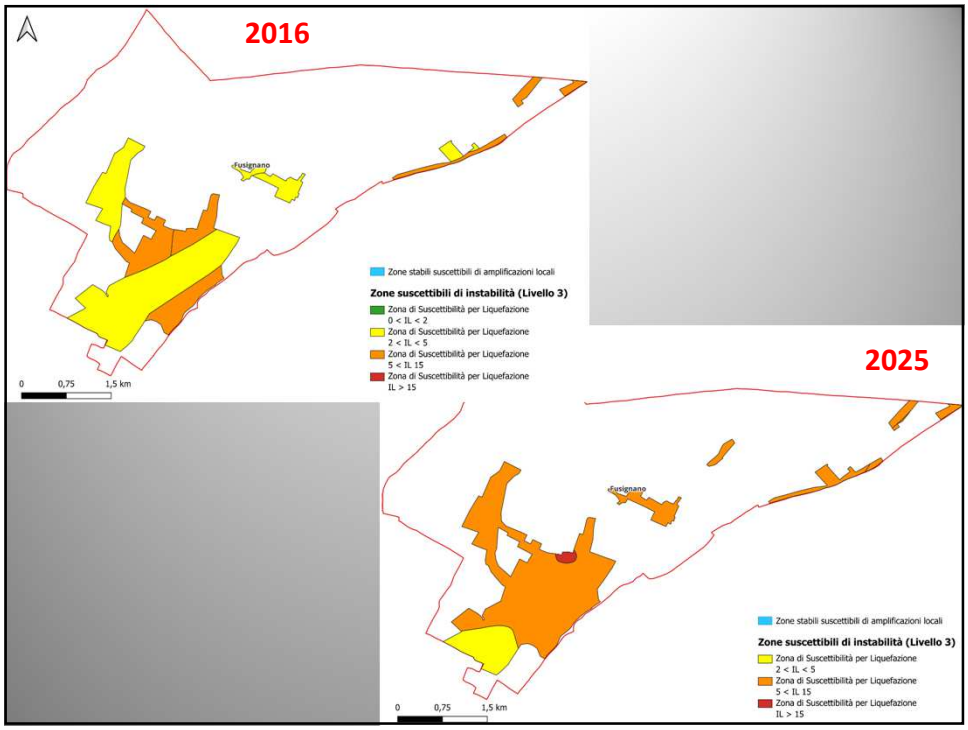

2016
Alfonsine
Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali
Zone suscettibili di instabilità (Livello 3)
Zona di Suscettibilità per Liquefazione 0 < IL < 2
Zona di Suscettibilità per Liquefazione 2 < IL < 5
Zona di Suscettibilità per Liquefazione 5 < IL 15
Zona di Suscettibilità per Liquefazione IL > 15
0 0,5 1 km
2025
Alfonsine
Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali
Zone suscettibili di instabilità (Livello 3)
Zona di Suscettibilità per Liquefazione 2 < IL < 5
Zona di Suscettibilità per Liquefazione 5 < IL 15
Zona di Suscettibilità per Liquefazione IL > 15
0 0,5 1 km

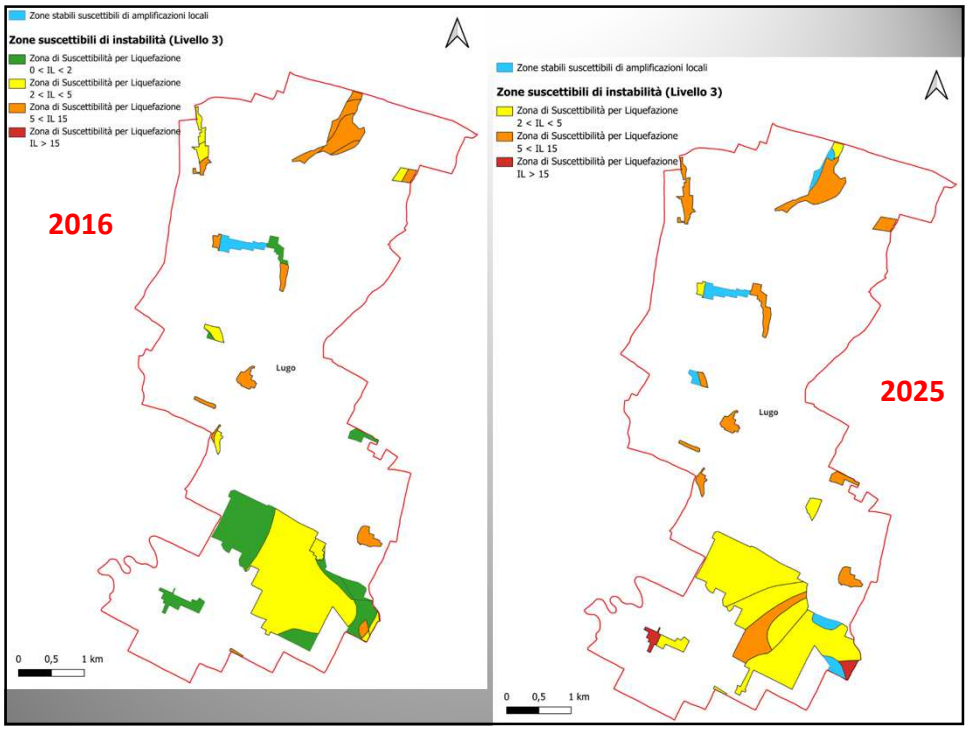

2016
Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali
Zone suscettibili di instabilità (Livello 3)
Zona di Suscettibilità per Liquefazione 0 < IL < 2
Zona di Suscettibilità per Liquefazione 2 < IL < 5
Zona di Suscettibilità per Liquefazione 5 < IL 15
Zona di Suscettibilità per Liquefazione IL > 15
Bagnacavallo
0 0,5 1 km
Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali
Zone suscettibili di instabilità (Livello 3)
Zona di Suscettibilità per Liquefazione 2 < IL < 5
Zona di Suscettibilità per Liquefazione 5 < IL 15
Zona di Suscettibilità per Liquefazione IL > 15
Bagnacavallo
0 0,5 1 km
2025

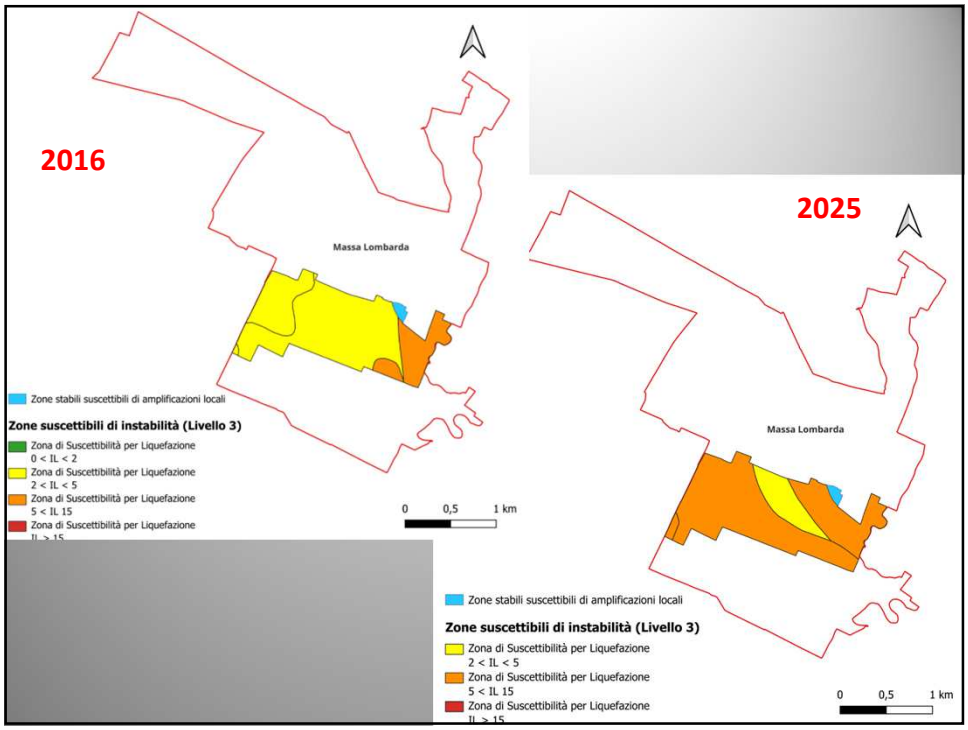

2016
Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali
Zone suscettibili di instabilità (Livello 3)
Zona di Suscettibilità per Liquefazione
0 < IL < 2
Zona di Suscettibilità per Liquefazione
2 < IL < 5
Zona di Suscettibilità per Liquefazione
5 < IL 15
Zona di Suscettibilità per Liquefazione
IL > 15
Bagnara di Romagna
0
0,5
1 km
2025
Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali
Zone suscettibili di instabilità (Livello 3)
Zona di Suscettibilità per Liquefazione
2 < IL < 5
Zona di Suscettibilità per Liquefazione
5 < IL 15
Zona di Suscettibilità per Liquefazione
IL > 15
Bagnara di Romagna
0
0,5
1 km

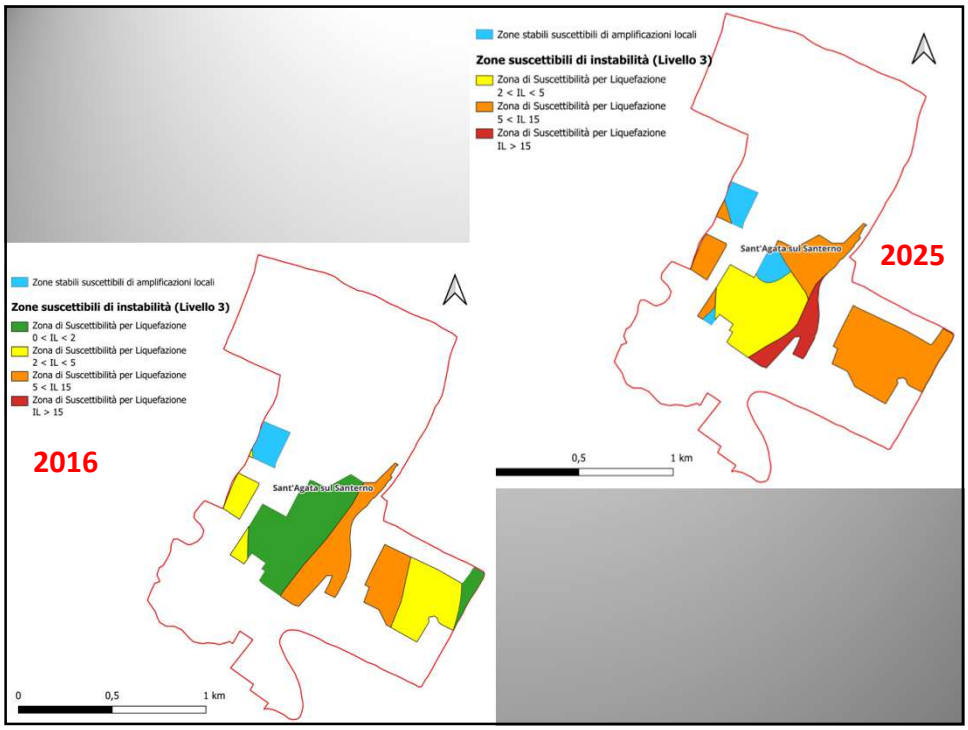

2016
Conselice
Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali
Zone suscettibili di instabilità (Livello 3)
Zona di Suscettibilità per Liquefazione
0 < IL < 2
Zona di Suscettibilità per Liquefazione
2 < IL < 5
Zona di Suscettibilità per Liquefazione
5 < IL 15
Zona di Suscettibilità per Liquefazione
IL > 15
0
0,5
1 km
2025
Conselice
Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali
Zona di Suscettibilità per Liquefazione
2 < IL < 5
Zona di Suscettibilità per Liquefazione
5 < IL 15
0
0,5
1 km


2016
Cotignola
Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali
Zone suscettibili di instabilità (Livello 3)
Zona di Suscettibilità per Liquefazione
0 < IL < 2
Zona di Suscettibilità per Liquefazione
2 < IL < 5
Zona di Suscettibilità per Liquefazione
5 < IL 15
Zona di Suscettibilità per Liquefazione
IL > 15
0 0,5 1 km
2025
Cotignola
Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali
Zone suscettibili di instabilità (Livello 3
Zona di Suscettibilità per Liquefazione
2 < IL < 5
Zona di Suscettibilità per Liquefazione
5 < IL 15
Zona di Suscettibilità per Liquefazione
IL > 15
0 0,5 1 km


2016
Fusignano
Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali
Zone suscettibili di instabilità (Livello 3)
Zona di Suscettibilità per Liquefazione
0 < IL < 2
Zona di Suscettibilità per Liquefazione
2 < IL < 5
Zona di Suscettibilità per Liquefazione
5 < IL 15
Zona di Suscettibilità per Liquefazione
IL > 15
0 0,75 1,5 km
2025
Fusignano
Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali
Zone suscettibili di instabilità (Livello 3)
Zona di Suscettibilità per Liquefazione
2 < IL < 5
Zona di Suscettibilità per Liquefazione
5 < IL 15
Zona di Suscettibilità per Liquefazione
IL > 15
0 0,75 1,5 km


Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali
Zone suscettibili di instabilità (Livello 3)
Zona di Suscettibilità per Liquefazione
0 < IL < 2
Zona di Suscettibilità per Liquefazione
2 < IL < 5
Zona di Suscettibilità per Liquefazione
5 < IL 15
Zona di Suscettibilità per Liquefazione
IL > 15
2016
Lugo
0 0,5 1 km
Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali
Zone suscettibili di instabilità (Livello 3)
Zona di Suscettibilità per Liquefazione
2 < IL < 5
Zona di Suscettibilità per Liquefazione
5 < IL 15
Zona di Suscettibilità per Liquefazione
IL > 15
2025
Lugo
0 0,5 1 km


2016
Massa Lombarda
Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali
Zone suscettibili di instabilità (Livello 3)
Zona di Suscettibilità per Liquefazione
0 < IL < 2
Zona di Suscettibilità per Liquefazione
2 < IL < 5
Zona di Suscettibilità per Liquefazione
5 < IL 15
Zona di Suscettibilità per Liquefazione
IL > 15
0 0,5 1 km
2025
Massa Lombarda
Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali
Zone suscettibili di instabilità (Livello 3)
Zona di Suscettibilità per Liquefazione
2 < IL < 5
Zona di Suscettibilità per Liquefazione
5 < IL 15
Zona di Suscettibilità per Liquefazione
IL > 15
0 0,5 1 km




## RIFLESSIONE FINALE:

**Quesito**: Quale valore di "IL" farebbe scattare la definizione di "suscettibili di liquefazione" (qualsiasi maggiore di 0)?

**Risposte**:

1. Le **NTC** su questo aspetto non danno indicazioni; **è richiesta la stabilità del manufatto nei confronti della liquefazione**.
2. Il **DPC** e le **Regioni**, in sede di Commissione Tecnica per la MS, hanno concordato di considerare zone suscettibili di liquefazione quelle con **IL>2** (finalità pianificazione urbanistica).
3. Solitamente **per la progettazione** si chiede di **verificare l'opportunità/necessità di interventi di mitigazione del rischio** di liquefazione quando **IL>5**, previa verifica approfondita dei cedimenti attesi e stabilità/compatibilità dell'opera.


“Questo paese è geologia di giorno e astronomia di notte”
*John Boynton Priestley*
Grazie per l’attenzione