

**GEOLOGIA**  
**MASSIMO dr. MANNINI**  
**Indagini Geofisiche - Geotecniche**

Via Caduti di Cefalonia, 9 29017 Fiorenzuola d'Arda (Pc)  
tel. 3452353055  
e-mail: [info@manninimassimo.it](mailto:info@manninimassimo.it)

## **Relazione Geologica-Sismica integrativa**

in Località "Chiavenna Landi di Cortemaggiore (Pc)"

Committente: "Di.Pa Sport S.r.L."

# INDICE

<b>1.0 - PREMESSA</b>	<b>2</b>
<b>2.0 - INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO</b>	<b>2</b>
<b>3.0 - INDAGINI SVOLTE</b>	<b>3</b>
<b>4.0 - CARATTERISTICHE DEI TERRENI ATTRAVERSATI</b>	<b>3</b>
4.1 - MODELLO GEOTECNICO	4
<b>5.0 - PORTANZA DEI TERRENI DI FONDAZIONE</b>	<b>4</b>
<b>6.0 - COMPATIBILITA' SISMICA</b>	<b>7</b>
6.1 – SCENARI DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	12
6.2 - PRIMA FASE - INDIVIDUAZIONE DELLE AREE SOGGETTE AD EFFETTI LOCALI	14
6.3 - SECONDA FASE - ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE E MICROZONAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO	16
6.4 - ACCELERAZIONE MASSIMA ORIZZONTALE DI PICCO AL SUOLO	18

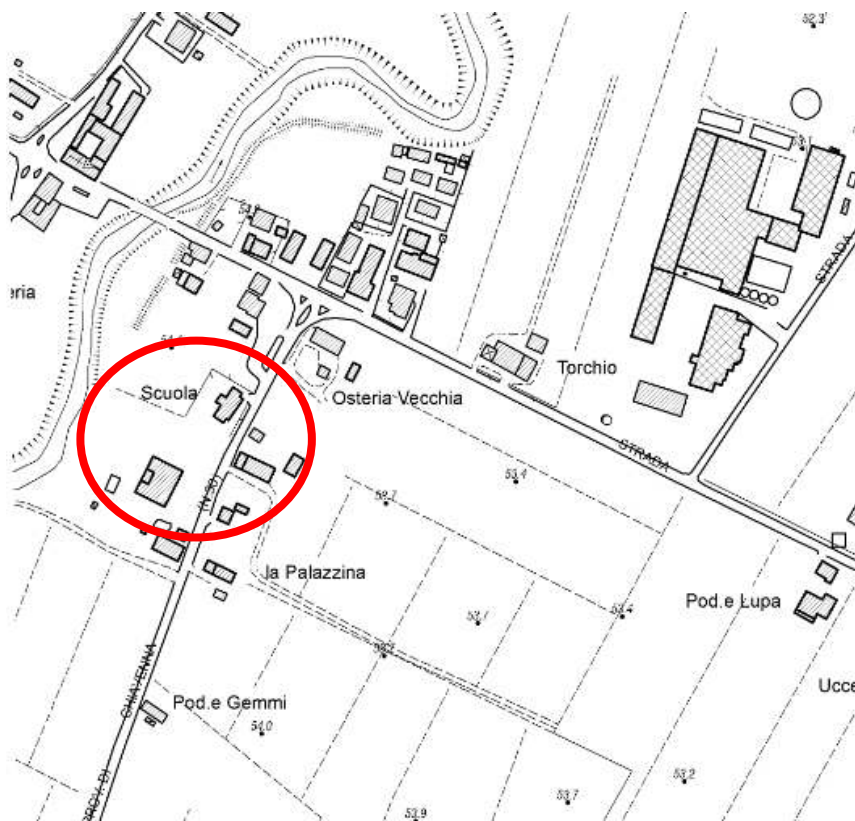
## **1.0 - PREMESSA**

La presente relazione geologica sismica integra la precedente relazione geologica sismica eseguita dallo scrivente nell'anno 2016 per l'intervento al progetto anno 2016, rispondendo alla richiesta di integrazione dell'Amministrazione Provinciale di Piacenza (classificazione 07.04.03), con riferimento esclusivo al solo punto che segue:

poiché da una prima verifica dei documenti presentati la relazione geologico-sismica non pare adeguata alle direttive tecniche sismi-che di riferimento in vigore al momento dell'avvio del procedimento (D.G.R. 630 del 29/04/2019, D.G.R. 476 del 12/04/2021 e D.G.R. 564 del 26/04/2021), si chiede di produrre gli adeguamenti conoscitivi e valutativi atti a supportare il giudizio di compatibilità e il conseguente parere sismico

## **2.0 - INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO**

Il terreno interessato dall'indagine è posto nel settore sud-ovest del territorio comunale di Cortemaggiore, a sud della località Chiavenna Landi. Catastralmente il lotto in oggetto si trova inquadrato al Foglio n.33, Mappale n.219 del Comune di Cortemaggiore.



Inquadramento territoriale – Sezione C.T.R. 162152.

### **3.0 - INDAGINI SVOLTE**

Al fine di ottenere utili informazioni tecniche destinate al corretto dimensionamento delle opere di fondazione si è proceduto alla verifica delle reali caratteristiche lito stratigrafiche e geotecniche dei terreni costituenti il sottosuolo dell'area in esame, attraverso le risultanze di una prova penetrometrica eseguita in sito (anno 2016), a confermare le numerose indagini geognostiche eseguite nel lotto adiacente a sud, sempre di proprietà.

Inoltre, in questa fase è stato realizzato un rilievo sismico passivo in situ con la tecnica tromografica. La strumentazione utilizzata è l'Echo-Tromo 3 che è un tromografo modulare a 24 bit e rappresenta una nuova ed ottimale modalità di registrazione micro-sismica unendo la facilità d'impiego alla affidabilità dei dati rilevati. L'Echo-Tromo 3 è un tromografo ad elevata dinamica (24 bit) dotato di tre canali associati ai tre assi principali x-y-z a cui sono collegati tre geofoni interni.

### **4.0 - CARATTERISTICHE DEI TERRENI ATTRAVERSATI**

Dalla prova penetrometrica eseguita (anno 2016), emerge una successione lito-stratigrafica costituita da una litologia di copertura di (**Orizzonte R**) per circa 0.60 metri, in profondità si rinviene argilla limosa (**Orizzonte A**) fino a circa 3.80 metri di profondità, seguito da limo (**Orizzonte B**) fino alle massime profondità indagate.

Ad ulteriore conferma stratigrafica segue la successione litostratigrafica emersa dal pozzo idrico eseguito nel settore limitrofo a sud (Banca dati Regione Emilia-Romagna e PSC Comunale):

#### **Pozzo P633 posto a nord-ovest**

loc.: Chiavenna Landi

0.0-12.0: argilla

12.0-18.0: sabbia

18.0-33.0: ghiaia e sabbia

33.0-45.0: argilla

45.0-57.0: sabbia e ghiaia

57.0-68.0: argilla

68.0-76.0: ghiaia e sabbia

76.0-78.0: argilla

#### 4.1 - MODELLO GEOTECNICO

**Orizzonte O:** terreno di coltivo pedogenizzato

Profondità: dal p.c. naturale fino a 0.60-0.80 metri

**Orizzonte A1:** argilla limosa

Profondità: dal p.c. a 1.40 metri

(Coesione non drenata)  $C_u = 2.45$  [Kg/cm<sup>2</sup>]

Angolo di attrito di picco)  $\phi = 38^\circ$

(Densità relativa)  $D_r = 80\%$

(Peso di Volume)  $\gamma = 1.80$  [Ton/m<sup>3</sup>]

(Modulo Elastico)  $E = 105$  [Kg/cm<sup>2</sup>]

**Orizzonte A2:** argilla limosa

Profondità: da 1.40 fino a 3.80 metri

(Coesione non drenata)  $C_u = 2.00$  [Kg/cm<sup>2</sup>]

Angolo di attrito di picco)  $\phi = 32^\circ$

(Densità relativa)  $D_r = 60\%$

(Peso di Volume)  $\gamma = 1.80$  [Ton/m<sup>3</sup>]

(Modulo Elastico)  $E = 83$  [Kg/cm<sup>2</sup>]

**Orizzonte B1:** limo talvolta sabbioso

Profondità: da 3.80 fino a 7.40 metri

Angolo di attrito di picco)  $\phi = 27^\circ$

(Densità relativa)  $D_r = 40\%$

(Peso di Volume)  $\gamma = 1.90$  [Ton/m<sup>3</sup>]

(Modulo Elastico)  $E = 65$  [Kg/cm<sup>2</sup>]

**Orizzonte B2:** limo talvolta sabbioso

Profondità: da 7.40 fino alle massime profondità

Angolo di attrito di picco)  $\phi = 27^\circ$

(Densità relativa)  $D_r = 50\%$

(Peso di Volume)  $\gamma = 2.00$  [Ton/m<sup>3</sup>]

(Modulo Edometrico)  $E = 90$  [Kg/cm<sup>2</sup>]

#### 5.0 - PORTANZA DEI TERRENI DI FONDAZIONE

Le NTC '08 e '18 (D.M. 14.01.2008 e successivi) hanno introdotto un sisma di progetto non per ogni comune come da NTC05, ma per ogni punto del territorio, (punti di ancoraggio nodali di un reticolo di 4 Km di lato). Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

I caratteri del moto sismico su sito di riferimento rigido orizzontale a campo aperto sono descritti dalla distribuzione sul territorio nazionale

delle seguenti grandezze, sulla base delle quali sono compiutamente definite le forme spettrali per la generica Pvr probabilità di superamento nel periodo di riferimento Tr:

$\underline{a_g}$  = accelerazione massima al sito di riferimento;

$\underline{F_o}$  = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

$\underline{TC^*}$  = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

La determinazione delle azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, che si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

I caratteri del moto sismico su sito di riferimento rigido orizzontale, sono descritti dalla distribuzione sul territorio nazionale delle grandezze fondamentali, sulla base delle quali sono compiutamente definite le forme spettrali per la generica Pvr probabilità di superamento nel periodo di riferimento in riferimento ai vari stati limite.

Seguono le caratteristiche del sito in esame in funzione delle coordinate geografiche di riferimento baricentriche, ed i relativi parametri sismici, ipotizzati sulla struttura e del sito in oggetto: categoria litologica e topografica.

Il terreno è stato associato ad una categoria di tipo C alla luce delle risultanze dell'indagine sismica passiva eseguita in sito con  $V_{s30eq} = 270$  m/s, mentre la topografia T1 poiché non si hanno versanti con pendenze superiori a  $15^\circ$  (25-30%).

Si rimane a disposizione di qualunque variazione dettata dal tecnico progettista.

### **Parametri Sismici**

#### **Parametri sismici**

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1
Periodo di riferimento:	50anni
Coefficiente $c_u$ :	1

#### **Operatività (SLO):**

Probabilità di superamento:	81	%
Tr:	30	[anni]
$a_g$ :	0,035	g
$F_o$ :	2,536	

Tc\*: 0,211 [s]  
Danno (SLD):  
Probabilità di superamento: 63 %  
Tr: 50 [anni]  
ag: 0,043 g  
Fo: 2,539  
Tc\*: 0,240 [s]  
Salvaguardia della vita (SLV):  
Probabilità di superamento: 10 %  
Tr: 475 [anni]  
ag: 0,100 g  
Fo: 2,536  
Tc\*: 0,292 [s]  
Prevenzione dal collasso (SLC):  
Probabilità di superamento: 5 %  
Tr: 975 [anni]  
ag: 0,128 g  
Fo: 2,531  
Tc\*: 0,300 [s]

#### Coefficienti Sismici

SLO:  
Ss: 1,500  
Cc: 1,750  
St: 1,000  
Kh: 0,011  
Kv: 0,005  
Amax: 0,515  
Beta: 0,200  
SLD:  
Ss: 1,500  
Cc: 1,680  
St: 1,000  
Kh: 0,013  
Kv: 0,006  
Amax: 0,632  
Beta: 0,200  
SLV:  
Ss: 1,500  
Cc: 1,580  
St: 1,000  
Kh: 0,036  
Kv: 0,018  
Amax: 1,473  
Beta: 0,240  
SLC:  
Ss: 1,500

Cc: 1,560  
St: 1,000  
Kh: 0,046  
Kv: 0,023  
Amax: 1,878  
Beta: 0,240

## **6.0 - COMPATIBILITA' SISMICA**

Per l'inquadramento sismico dell'area in progetto sono state prese in considerazione le successioni litostratigrafiche emerse, sia dai sondaggi penetrometrici, che dai pozzi idrici presenti in questo settore spinti a profondità ben superiori i 30.0 metri dal p.c.: fonte Regione Emilia Romagna, PSC Comunale. Inoltre, nel sito è stata eseguita una indagine sismica passiva con la tecnica tromografica che ha delineato una  $V_{s30eq} = 270$  m/s, vedasi relazione sismica interpretativa allegata.

Segue la successione litostratigrafica emersa dal pozzo idrico presente a nord-ovest del sito:

### **Pozzo P633 posto a nord-ovest**

loc.: Chiavenna Landi  
0.0-12.0: argilla  
12.0-18.0: sabbia  
18.0-33.0: ghiaia e sabbia  
33.0-45.0: argilla  
45.0-57.0: sabbia e ghiaia  
57.0-68.0: argilla  
68.0-76.0: ghiaia e sabbia  
76.0-78.0: argilla

### **CARATTERI LITOLOGICI AREA D'INTERVENTO**

Alla luce dell'inquadramento sismico emerso dalla Relazione Sismica Geologica del PSC comunale e dell'indagine sismica di sito, con esecuzione di stendimenti sismici che hanno delineato una  $V_{s30eq}$  minima di 270 m/s, il terreno che caratterizza il sito in oggetto appartiene alla categoria di tipo C, mentre la categoria topografica è T1 per la presenza di pendenze impercettibili entro questo settore di Cortemaggiore.

Non si hanno effetti litologici significativi di amplificazione sismica, per l'assenza di litologie sabbiose sature nei primi 30.0 metri significativi. Dalla Tavola GEO9 del PSC adottato "Carta della pericolosità sismica locale", quest'areale è associato a depositi prevalentemente ghiaiosi o limosi misti con effetti attesi per amplificazioni litologiche. Per le aree



di micro-zonazione sismica, si ha la Zona 1 con P.G.A. = 1.7 e categoria di suolo di tipo C.

#### REQUISITI PER LA SCELTA DEL PIANO DI POSA FONDAZIONALE

Il sito di fondazione deve essere scelto in modo che, in caso d'evento sismico, sia minimo il pericolo di collasso, instabilità, liquefazione, nonché d'eccessivo addensamento terreno. L'area in oggetto, non si trova in corrispondenza di faglie tettoniche attive, né di condizioni tettoniche-morfologiche che possono amplificare i pericoli derivanti da un eventuale evento sismico "per condizioni morfologiche".

Per terreni sub-pianeggianti si ha un parametro di correzione topografica  $S_t$  pari a 1.00, ne risulta, pertanto modificata l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito:

$$a_{max} = S_s * S_t * a_g$$

Il moto sismico in superficie nel sito, è definito dall' $a_{max}$  attesa e da una forma spettrale ancorata ad essa.

Dalle indagini geognostiche e sismiche eseguite sul sito, a confermare indagini eseguite in aree limitrofe e stratigrafie emerse da pozzi idrici, l'area è inquadrata con un terreno appartenente alla categoria sismica di tipo "C", a tale categoria viene associato un parametro litologico  $S_s = 1.50$ .

Ne deriva che l'accelerazione massima al sito =  $1.50 * a_g$

Dove  $a_g$  = accelerazione massima orizzontale su sito di riferimento (suolo rigido con terreno di tipo A, pianeggiante T1 e free field cioè campo aperto privo di strutture).

La correzione eseguita per la determinazione dell' $a_{max}$  sul sito, permette di considerare le condizioni litologiche e morfologiche che possono alterare l'arrivo dell'onda sismica in sito, sempre in riferimento allo stato limite di riferimento.

#### LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

Dall'analisi delle mappe interattive di pericolosità sismica estratte dal sito dell'INGV si estrae per l'area in oggetto una Magnitudo  $M_w$  pari a 6.14.

La suscettibilità alla liquefazione dei sedimenti alluvionali che caratterizzano il sito in oggetto rappresenta un parametro molto importante da valutare nelle analisi di pericolosità sismica soprattutto a scala locale.

Per liquefazione si intende l'annullamento di resistenza al taglio di terreni granulari saturi sotto sollecitazioni di taglio cicliche ed in conseguenza delle quali il sedimento raggiunge una condizione di

fluidità pari a quella di un liquido viscoso. Il meccanismo di liquefazione è governato da molti fattori e tra questi i principali sono:

- caratteristiche dell'impulso sismico; (magnitudo  $M > 5,0$ );
- densità relativi ( $DR < 50 \div 60\%$ );
- pressioni di confinamento (non sono riportati casi in letteratura di liquefazione in strati granulari profondi oltre 15-20 metri);
- fuso granulometrico;
- falda superficiale.

In condizioni di sisma vi possono anche essere effetti di "riordino" dei sedimenti, con possibilità di cedimenti significativi che possono coinvolgere sia i depositi granulari poco addensati e recenti (olocenici), sia i sedimenti fini poco coesivi.

Nell'ultimo decennio sono state elaborate procedure di stima delle potenziali deformazioni post-sisma anche nei sedimenti fini (limi e argille a comportamento "non drenato") provocate da perdite di

resistenza. Quest'ultimo fenomeno è noto con il termine "cyclic softening" (Idriss & Boulanger, 2004-2007).

Per quanto detto, per le stime preliminari di progetti caratterizzati da un maggior impegno prestazionale, le verifiche della suscettibilità alla liquefazione e dei cedimenti potenziali indotti da sisma possono essere valutati utilizzando correlazioni empiriche basate sui risultati delle prove CPT (es. P.K Robertson 1990; 1998; 2009-2010).

Il vantaggio dell'uso delle penetrometrie statiche è da ricercarsi nella maggiore accuratezza e ripetibilità della CPT/CPTE rispetto ad altre prove, nella sua relativa economicità e soprattutto nella possibilità di avere profili continui con la profondità e che forniscono informazioni dettagliate anche sulla stratigrafia. I dati ricavati dalle prove CPTE/U sono stati elaborati secondo le procedure semplificate di verifica della liquefacibilità e stima dei cedimenti sismici attualmente più accreditate per le prove CPT, basate sulle esperienze di Seed e Idriss (1971) e di Robertson & Wride (1998), recentemente aggiornate dallo stesso P.K. Robertson (2009-2010). Le analisi espletate seguono, inoltre, le note procedure di riferimento dettate dall'NCEER. Questo approccio valuta la propensione alla liquefazione e stima i cedimenti post sisma sia nei sedimenti granulari saturi e insaturi, sia nei sedimenti fini, poco coesivi. Si è quindi riproceduto al calcolo automatico della liquefacibilità e dei cedimenti post sisma con il software "Cliq", sviluppato dalla GeoLogismiki Geotechnical Engineers in collaborazione con lo stesso P.K. Robertson, utilizzando i dati di input: magnitudo media del terremoto  $M = 6.14$  (INGV);  $ag_{max}$  al suolo pari a  $0,105g \times 1,5$  (classe C) =  $0,157g$ . A ulteriore cautela la

simulazione ha tenuto di una quota piezometrica indotta da sisma fino a 3,00 m.

La figura sottostante riporta i diagrammi di verifica della liquefacibilità con i relativi indice del fattore di sicurezza  $F_s$  ( $CCR/CSR$ ) e dell'ILP indice di potenziale liquefazione.

I metodi si basano sul rapporto che intercorre fra le sollecitazioni di taglio che producono liquefazione e quelle indotte dal terremoto; hanno perciò bisogno di valutare i parametri relativi sia all'evento sismico sia al deposito, determinati questi ultimi privilegiando metodi basati su correlazioni della resistenza alla liquefazione con parametri desunti da prove in situ. La resistenza del deposito alla liquefazione viene quindi valutata in termini di fattore di resistenza alla liquefazione.

$FS = CCR / CSR$  dove CRR (Cyclic Resistance Ratio) indica la resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclico e CSR (Cyclic Stress Ratio) la sollecitazione di taglio massima indotta dal sisma.

Il potenziale di liquefazione PL di uno strato esprime con un numero compreso tra 0 e 1, la pericolosità di liquefazione dello strato nei confronti dell'evento sismico atteso.

$LP = F(z) \times w(z)$  dove:  $F(z)$  = funzione che esprime il potenziale di liquefazione di ogni strato in rapporto al FS calcolato  $w(z)$  = funzione che tiene conto della profondità dello strato,

con  $F = 0$  per  $FS = 1$   $F = 1 - FS$  per  $FS < 1$   $w(z) = 10^{-0,5 z}$

per tenere conto del fatto che in superficie si risente dell'effetto cumulativo della liquefacibilità degli strati sottostanti, Iwasaki et al. (1978) introducono l'indice di liquefazione potenziale LPI:

$$LPI = \int_{z_{crit}=20}^0 F(z) \times w(z) \times dz$$

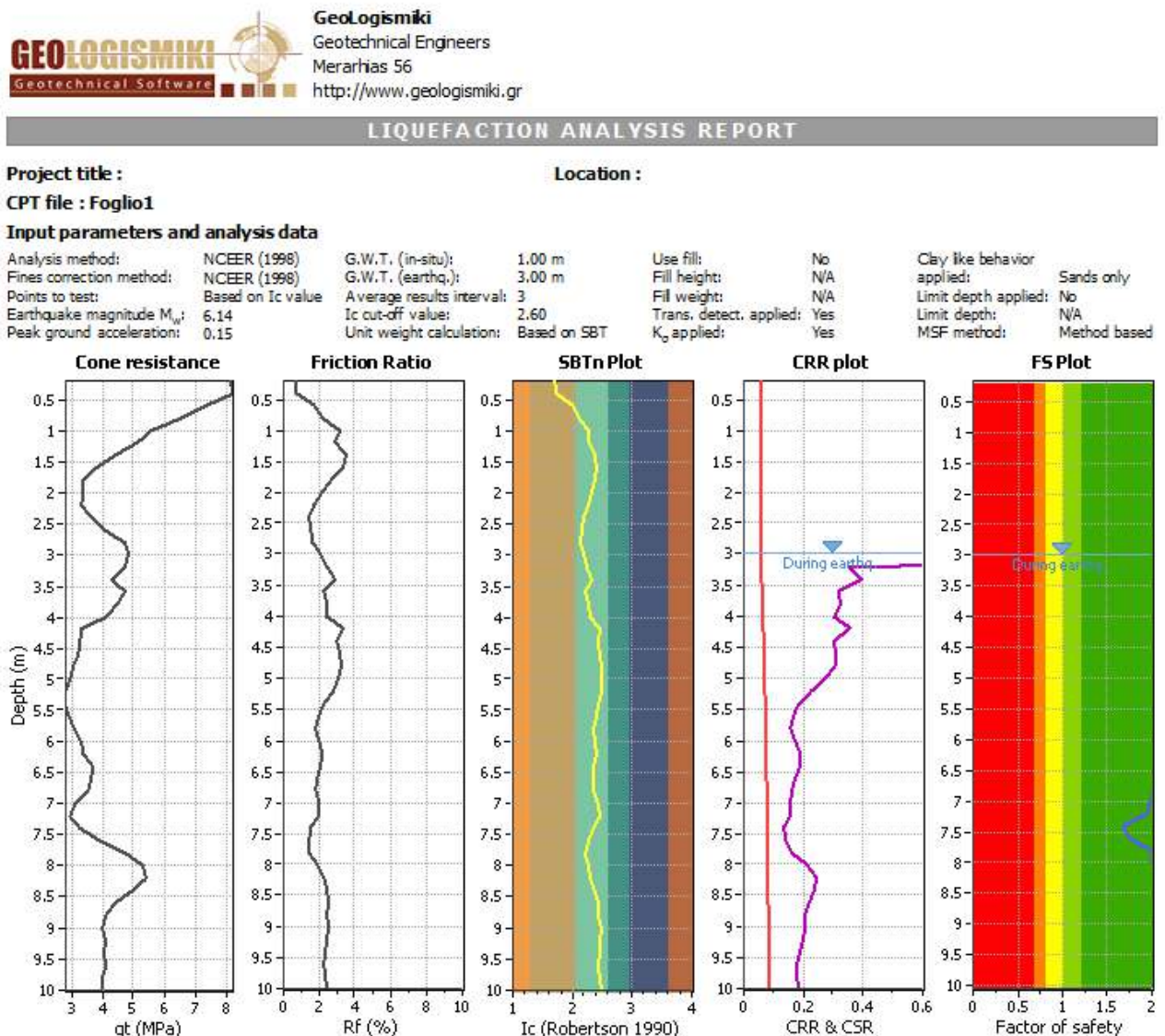
Le classi di pericolosità di liquefazione sono:

<b>LPI</b>	<b>Pericolosità di liquefazione</b>
0	Nulla
0 ÷ 2	Bassa
2 ÷ 5	Moderata
5 ÷ 15	Alta
> 15	Molto alta

Le verifiche non evidenziano possibilità di liquefazione per l'intervallo di indagine sulla prova eseguita.

Le condizioni che portano ad una maggiore propensione alla potenziale liquefazione sono indotte sia dal fuso granulometrico del terreno (sabbioso) e principalmente dalla sua densità relativa ( $Dr\%$ ). Da prove penetrometriche CPT eseguite in sito si possono ricavare tali parametri indirettamente da formule, mentre una analisi diretta dei terreni tramite sondaggi diretti potrebbe portare a delinearne direttamente il fuso granulometrico e verificare la reale percentuale di fine presente (maggiore è la percentuale di fine e minore è la probabilità alla potenziale liquefazione dei terreni).

## CPT1



## **6.1 – SCENARI DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE**

Scenari di pericolosità sismica locale possono essere dati da faglie, instabilità gravitative, liquefazione sabbie sature, amplificazioni sismiche, addensamento terreni a grana grossa, subsidenza terreni molli a grana fina.

Nel sito di riferimento non si hanno condizioni topografiche e/o strutturali tettoniche, solamente dal punto di vista litologico si possono avere effetti che portano ad una amplificazione dell'azione sismica.

Dalle coordinate geografiche di riferimento e dalla caratterizzazione litosismica e topografica del sito si ricavano i relativi spettri elastici di risposta sismica del sito cui il progettista applicherà il coefficiente di struttura in funzione della dilatanza della struttura stessa ricavando i relativi spettri di risposta inelastici sito-struttura.

Lo spettro elastico fornisce le forze sismiche necessarie per garantire un comportamento elastico, mentre lo spettro di progetto fornisce le forze sismiche di progetto ridotte corrispondenti ad un livello di plasticizzazione compatibile con la sopravvivenza della struttura.

In accordo con la Delibera Assemblea Legislativa della Regione Emilia Romagna n.112 del 02-05-2007, e dal successivo D.G.R. n.2193/2015, D.G.R. n.630/2019 e DGR 476 e 564/2021, sono stati illustrati i Criteri per la individuazione delle aree soggette ad effetti locali e per la Microzonazione sismica del territorio.

Scopo del presente atto di indirizzo e coordinamento è quello di fornire i criteri per l'individuazione delle aree soggette ad effetti locali e la microzonazione sismica del territorio in modo da orientare le scelte della pianificazione verso aree caratterizzate da minore pericolosità sismica.

Gli studi della pericolosità sismica di base e della pericolosità locale hanno come obiettivo:

- l'individuazione delle aree dove in occasione di terremoti possono verificarsi effetti locali;
- la stima quantitativa della risposta sismica locale dei depositi e delle morfologie presenti nell'area di indagine;
- la suddivisione del territorio in sottozone a diversa pericolosità sismica locale (micro zonazione sismica).

Dalla Tavola A43 "Carta delle aree suscettibili di effetti sismici locali" estratta dal PTCP si evince che il settore in oggetto è caratterizzato da depositi alluvionali sabbiosi, che necessitano di un II livello di

approfondimento in base alla Del.RER n.112, avendo escluso la potenziale liquefazione dei sedimenti stessi.

La microzonazione sismica è la suddivisione dettagliata del territorio in base al comportamento dei terreni durante un evento sismico e ai possibili effetti indotti dallo scuotimento (risposta sismica locale)

Gli studi di risposta sismica locale e microzonazione sismica vanno condotti a diversi livelli di approfondimento in funzione delle finalità e delle applicazioni nonché degli scenari di pericolosità locale.

Per la microzonazione sismica si identificano due fasi di analisi con diversi livelli di approfondimento.

La prima fase è diretta a definire gli scenari di pericolosità sismica locale, cioè ad identificare le parti di territorio suscettibili di effetti locali (amplificazione del moto sismico, instabilità dei versanti, fenomeni di liquefazione, rotture del terreno).

L'individuazione delle aree soggette ad effetti locali si basa su rilievi, osservazioni e valutazioni di tipo geologico e geomorfologico, svolti a scala territoriale, associati a raccolte di informazioni sugli effetti indotti dai terremoti passati. Tale analisi viene svolta soprattutto mediante elaborazione dei dati disponibili in sede di elaborazione del PTCP e del PSC e concorre alla definizione delle scelte di piano, fornendo prime indicazioni sui limiti e le condizioni per la pianificazione nelle suddette aree.

La seconda fase ha come obiettivo la microzonazione sismica del territorio indagato.

Sulla base degli scenari individuati dalle analisi svolte nel corso della prima fase, nella seconda fase si attuano due diversi livelli di approfondimento:

a) nelle aree pianeggianti e sub-pianeggianti, incluse le zone di fondovalle appenniniche, con stratificazione orizzontale e sub-orizzontale, e sui versanti stabili, compresi quelli con coperture di spessore circa costante e acclività  $\leq 15^\circ$ , vale a dire in tutte le zone non interessate da instabilità nelle quali il modello stratigrafico può essere assimilato ad un modello fisico monodimensionale, si ritiene sufficiente **un'analisi semplificata** (secondo livello di approfondimento), cioè l'analisi della pericolosità locale può essere basata, oltre che sull'acquisizione di dati geologici e geomorfologici più dettagliati di quelli rilevati nel primo livello, su prove geofisiche e prove geotecniche in sito di tipo standard e l'amplificazione del moto

sismico può essere stimata attraverso abachi e formule. Il numero delle verticali indagate deve essere tale da consentire un'adeguata caratterizzazione litostratigrafica e geofisica spaziale dei terreni e delle formazioni presenti nell'area di studio;

b) un'**analisi più approfondita** (terzo livello di approfondimento) è invece richiesta per la definizione di indici di rischio nei seguenti casi (vedere Allegato A1):

- aree soggette a liquefazione e densificazione;
- aree instabili e potenzialmente instabili;
- aree con rapida variazione della profondità del substrato rigido, come ad esempio le valli strette e profondamente incise, il cui modello stratigrafico non può essere assimilato ad un modello fisico monodimensionale; in questo caso sono raccomandate analisi bidimensionali.

La prima fase, o primo livello di approfondimento (individuazione delle aree potenzialmente soggette ad effetti locali), viene attuata già nell'ambito della pianificazione a scala di area vasta (es. provinciale), relativamente all'intero territorio, ed è recepita e integrata, ad una scala di maggior dettaglio, nella pianificazione urbanistica comunale, limitatamente alle zone da indagare di cui al par. 2.1 del DGR 2193/2015.

La seconda fase (analisi della risposta sismica locale e microzonazione sismica del territorio) è richiesta per la predisposizione e approvazione degli strumenti di pianificazione urbanistica comunale e deve interessare le aree già urbanizzate e quelle indicate come suscettibili di urbanizzazione, i corridoi infrastrutturali e gli agglomerati posti in territorio rurale che possano considerarsi significativi, per dimensione e/o interesse insediativo, in rapporto alla realtà territoriale locale, ricadenti nelle aree potenzialmente soggette ad effetti locali individuate nella prima fase.

## **6.2 - PRIMA FASE - INDIVIDUAZIONE DELLE AREE SOGGETTE AD EFFETTI LOCALI**

### Primo livello di approfondimento

Il primo livello di approfondimento ha le seguenti finalità:

- individuare le aree suscettibili di effetti locali in cui effettuare le successive indagini di microzonazione sismica;
- definire il tipo di effetti attesi;
- indicare, per ogni area, il livello di approfondimento necessario;

- descrivere le caratteristiche delle unità geologiche del sottosuolo, in termini di litologia, stratigrafia, tettonica e geometria per definire il modello geologico di base per la microzonazione sismica.

Per lo studio in oggetto sono stati predisposte le seguenti cartografie:

- 1) Carta delle indagini;
- 2) Carta geologico-tecnica
- 3) Carta delle frequenze naturali dei terreni, derivata da indagini speditive di sismica passiva (HVSr sulle vibrazioni ambientali)
- 4) Carta delle aree suscettibili di effetti locali.

Per l'areale in oggetto si ipotizzano zone suscettibili di amplificazioni locali, nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico per effetto dell'assetto litostratigrafico, in cui si ritiene sufficiente un approfondimento di secondo livello (analisi semplificata con seconda fase). L'areale in oggetto è caratterizzato da depositi alluvionali.

Per la caratterizzazione del sito è stata eseguita una prova penetrometrica all'interno dell'area, ed una indagine sismica passiva con tecnica tromografica (HVSr), per la delineazione, sia delle Vs30eq di sito, che della frequenza fondamentale del sottosuolo.

La litologia emersa dalle indagini geognostiche eseguite in sito, associa a tale settore (molto limitato con carattere estremamente locale), una omogeneità litologica definita dal modello geologico di sito: litologia di copertura di (**Orizzonte R**) per circa 0.60 metri, in profondità si rinviene argilla limosa (**Orizzonte A**) fino a circa 3.80 metri di profondità, seguito da limo (**Orizzonte B**) fino alle massime profondità indagate.

Non si hanno elementi geomorfologici caratteristici, ne tantomeno, con differenze all'interno dell'area di studio, che presenta un andamento sub pianeggiante, con assenza di rilievi, scarpate, ecc.

L'areale in oggetto presenta una potenziale amplificazione del moto sismico, indotta esclusivamente dalla condizione litologica di sito – amplificazione sismica o effetto sismico di sito per effetti litologici, come confermato dall'attuale cartografia sismica del PSC approvato.

Anche dalla Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna (edizione 2017), si evince che il settore in oggetto non è interessato da lineamenti tettonici critici.

Morfologicamente l'area in studio si trova in un settore di pianura ad un'altezza s.l.m. di circa 54.0 metri, la pendenza del terreno è molto



modesta convergendo verso nord, nord-est, regimando il deflusso delle acque superficiali.

Dall'analisi sismica eseguita in sito, emerge il valore della  $V_{seq}$  (30) pari a 270 m/s, e viene definita la frequenza fondamentale del terreno pari a 11,90 Hz caratteristica per l'areale in oggetto, pertanto con omogeneità areale. La cartografia viene considerata superflua, sia per il carattere estremamente locale dell'area, che per l'omogeneità del parametro.

Anche la carta degli effetti sismici locali per l'areale (carattere estremamente locale) risulta associata alla amplificazione litologica omogenea per tutto il settore in oggetto. La cartografia viene considerata superflua, sia per il carattere estremamente locale dell'area, che per l'omogeneità del parametro.

### **6.3 - SECONDA FASE - ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE E MICROZONAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO**

La seconda fase ha come obiettivo la valutazione della risposta sismica locale e la micro zonazione sismica del territorio indagato.

#### Secondo livello di approfondimento – analisi semplificata

Per la definizione dell'amplificazione ove è ritenuta sufficiente l'analisi semplificata si utilizzeranno gli abachi, le formule e le procedure indicate nell'Allegato A2.

Per tale fase di approfondimento sono state elaborate:

- 1) Carta delle velocità delle onde di taglio S ( $V_s$ ).
- 2) Carte dei fattori di amplificazione.

La stima dell'amplificazione tramite procedure semplificate (utilizzo di abachi e formule) è possibile laddove l'assetto geologico è assimilabile ad un modello fisico monodimensionale.

L'amplificazione sarà quantificata in termini di parametri FAPGA,  $FA_{0,1-0,5s}$ ,  $FA_{0,5-1s}$ ,  $FA_{0,5-1,5s}$  che esprimono l'amplificazione per motivi stratigrafici, eventualmente incrementati con il fattore di amplificazione per cause topografiche ST. Tali coefficienti di amplificazione vengono stimati impiegando le tabelle e le formule dell'Allegato A2 (punti A2.1 e A2.2)

I FA rappresentano il rapporto fra lo scuotimento sismico, espresso con i parametri sotto indicati, valutato per la condizione geo-litologica specifica e il corrispondente scuotimento relativo alla categoria di

sottosuolo A. Quest'ultimo è definito nella tabella 3.2.II delle Norme Tecniche per le Costruzioni, NTC (2008), come segue:

*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di  $V_{s30}$  superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.*

I FA sono relativi a due parametri rappresentativi dello scuotimento sismico.

Il primo è l'accelerazione di picco orizzontale (**PGA**), il secondo è l'intensità spettrale.

E' stato considerato uno smorzamento  $\xi = 5 \%$  e tre intervalli di periodo proprio  $T_0$  ottenendo tre valori di intensità spettrale:

**SI1** :  $0.1s \leq T_0 \leq 0.5s$

**SI2** :  $0.5s \leq T_0 \leq 1.0s$

**SI3** :  $0.5s \leq T_0 \leq 1.5s$

Come si evince dalla seguente figura per l'areale in oggetto, si considera il seguente scenario:

PIANURA 1: settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di un' importante discontinuità stratigrafica responsabile di un contrasto di impedenza significativo, tale da essere considerato coincidente con il tetto del substrato rigido, a profondità indicativa di  $100 \pm 20$  m da p.c.

La cartografia, sia per le velocità delle onde sismiche, che per i fattori di amplificazione viene considerata superflua, sia per il carattere estremamente locale dell'area, che per l'omogeneità del parametro.

$V_{s30}$ (m/s) →	150	200	250	300	350	400
PGA	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6	1,5

Fattore di Amplificazione **PGA**

Da cui emerge che, per una  $V_{s30eq} = 270$  m/s, si ha un FA PGA = 1.70.

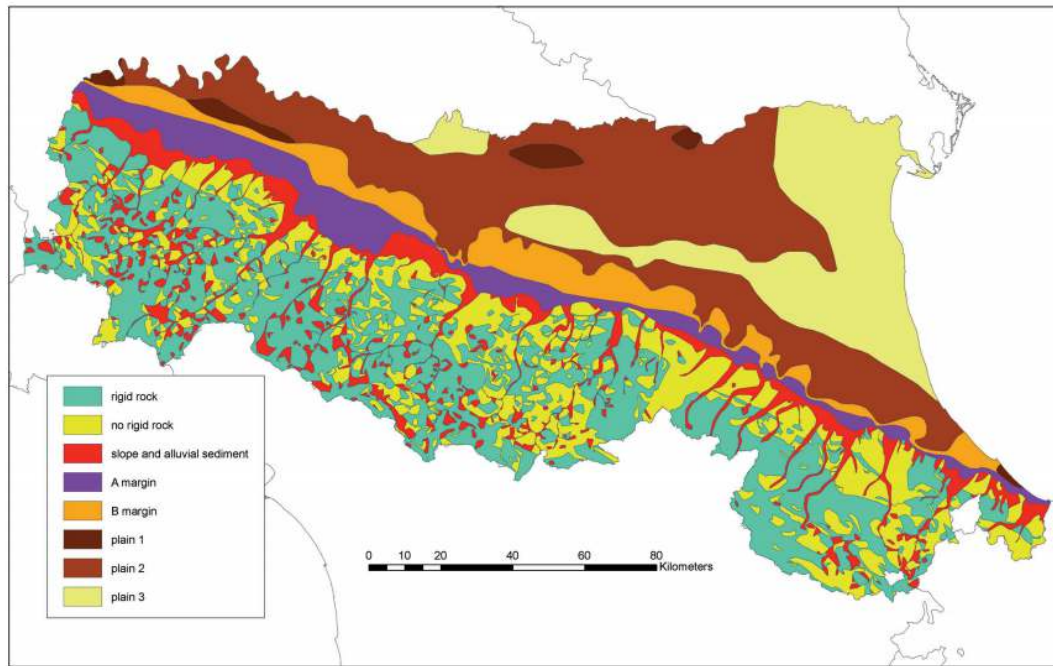


Fig. 11 - Emilia-Romagna map of the geologic macrozones for seismic studies.

$V_{s30}$ (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SA1	1,8	1,8	1,8	1,7	1,6	1,5
SA2	2,6	2,5	2,4	2,2	2,0	1,9
SA3	3,2	3,2	3,0	2,7	2,5	2,2
SA4	3,1	3,0	2,7	2,4	2,2	2,0

Fattori di Amplificazione **SA1** ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ ), **SA2** ( $0,4s \leq T \leq 0,8s$ ), **SA3** ( $0,7s \leq T \leq 1,1s$ ),  
**SA4** ( $0,5s \leq T \leq 1,5s$ )

$V_{s30}$ (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SI1	1,9	1,9	1,9	1,8	1,6	1,5
SI2	3,0	2,9	2,7	2,5	2,3	2,1
SI3	3,4	3,2	2,8	2,5	2,2	2,0

Fattori di Amplificazione **SI1** ( $0,1s \leq T \leq 0,5s$ ), **SI2** ( $0,5s \leq T \leq 1,0s$ ), **SI3** ( $0,5s \leq T \leq 1,5s$ )

## 6.4 - ACCELERAZIONE MASSIMA ORIZZONTALE DI PICCO AL SUOLO

Dal sito dell'INGV si ricava la seguente caratterizzazione per il sito in oggetto, con classe di accelerazione orizzontale massima al suolo: classe 0.075-0.100.

Calcolo magnitudo e distanza epicentrale.

Dalla Carta dei Meccanismi Focali della nuova classificazione della Regione Emilia-Romagna si evidenzia la seguente griglia di punti delle

accelerazioni massime attese al suolo ( $a_{refg}$  con 10% di probabilità di superamento in 50 anni corrispondente al periodo di ritorno di 475 anni).

Evidenziando l'areale in oggetto, si ha un punto della griglia prossimo a Cortemaggiore, con relativo valore di  $A_{ref}(g)$ . I dati sono relativi ai punti di una griglia con passo 0.05 gradi, ed i valori sono stati elaborati da INGV2.

$$A_{ref}(g) = 0.1074$$

Dalla Deliberazione dell'Assemblea Legislativa della R.E.R. del 2 maggio 2007 n.112 inerente i nuovi indirizzi di micro zonazione sismica in Emilia Romagna, vengono definiti per ciascun Comune della Regione i valori di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo (All. A della Del. 112/2007) espressa in funzione dell'accelerazione di gravità  $g$  ( $a_{refg}$ ), ed al Comune di Cortemaggiore si ha un valore di 0.105g.

In valore assoluto lo scuotimento sismico atteso al sito (accelerazione in  $cm/sec^2$ ) è evidenziato dal parametro:

$$H_{SM} = (ASI_{UHS}/\Delta T) \times FA$$

dove:

$ASI_{UHS}$ : integrale dello spettro di riferimento in accelerazione calcolato nell'intervallo  $0.1 \leq T \leq 0.5s$

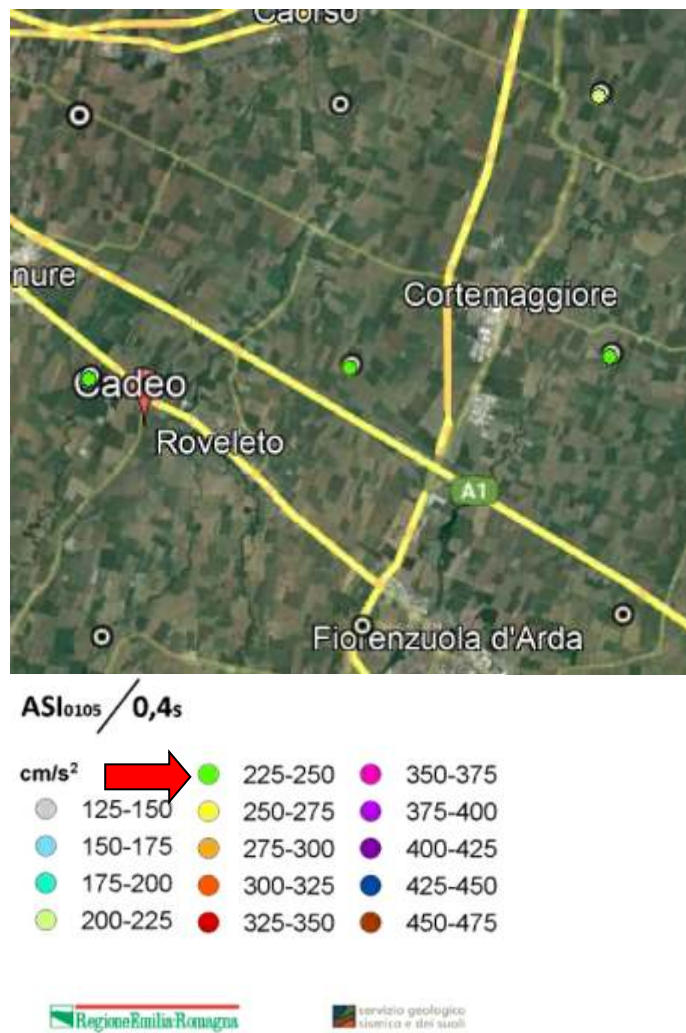
$\Delta T$  = tempo (la delibera di riferimento indica 0.4 s)

I valori del rapporto ( $ASI_{UHS}/\Delta T$ ) sono stati calcolati per ogni punto della griglia INGV e sono disponibili nel data base della regione E.R. di cui si riporta uno stralcio della relativa carta:

Il lotto in esame è interno alla griglia quadrata in cui i vertici sono caratterizzati da un  $ASI_{UHS}/\Delta T$  pari a 225 – 250, con un valore puntuale di un vertice prossimo al sito in oggetto pari a 237.

ne deriva:

$$H_{SM} = (ASI_{UHS}/\Delta T) \cdot FA = 237 \times 1.7 = 403 \text{ cm/sec}^2$$



*Nel dichiararmi a disposizione per eventuali chiarimenti, colgo l'occasione per porgere i più distinti saluti.*

*Fiorenzuola d'Arda  
30 agosto 2023  
Massimo Mannini geologo*