

Struttura Territoriale Emilia Romagna  
Viale A. Masini, 8 – 40126 Bologna T [+30] 051 6301111 – F [+39] 051 244970  
Pec anas.emiliaromagna@postacert.stradeanas.it – www.stradeanas.it

**S.S. 67 "Tosco–Romagnola"**  
**Adeguamento da Classe al Porto di Ravenna**

**PROGETTO DEFINITIVO**

PROGETTISTI:  
*Zollet Ingegneria Srl*

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

IL GEOLOGO

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO

PROTOCOLLO

DATA

**SISMICA**  
**Relazione sismica**

CODICE PROGETTO

NOME FILE  
T00SG00STRRE01B.doc

REVISIONE

SCALA

PROGETTO

B0328

CODICE  
ELAB.

T00SG00STRRE01

B

–

|      |                        |                |             |               |           |
|------|------------------------|----------------|-------------|---------------|-----------|
|      |                        |                |             |               |           |
|      |                        |                |             |               |           |
| B    | REVISIONE 1° EMISSIONE | Febbraio 2021  | A. De Lullo | M. Zanchettin | L. Zollet |
| A    | EMISSIONE              | Settembre 2020 | A. De Lullo | M. Zanchettin | L. Zollet |
| REV. | DESCRIZIONE            | DATA           | REDATTO     | VERIFICATO    | APPROVATO |





Comune di RAVENNA (RA)

Adeguamento da Classe al Porto di Ravenna  
Prestazione di servizi tecnici per la redazione dello studio di fattibilità tecnica ed economica, progetto definitivo ed esecutivo.

**PROGETTO DEFINITIVO**

Lavori di adeguamento da Classe al Porto di Ravenna

**RELAZIONE SISMICA**

## INDICE

|          |                                                                                            |           |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>PREMESSA</b>                                                                            | <b>3</b>  |
| <b>2</b> | <b>EVOLUZIONE DEL QUADRO NORMATIVO IN MATERIA ANTISISMICA DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA</b> | <b>4</b>  |
| <b>3</b> | <b>CARATTERIZZAZIONE GENERALE DELL'AREA</b>                                                | <b>7</b>  |
| 3.1      | INQUADRAMENTO GEOLOGICO                                                                    | 7         |
| 3.2      | STRATIGRAFIA                                                                               | 8         |
| 3.3      | GEOMORFOLOGIA                                                                              | 11        |
| 3.4      | SISMICITÀ                                                                                  | 11        |
| <b>4</b> | <b>CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA</b>                                                 | <b>15</b> |
| 4.1      | DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE                                        | 21        |
| 4.2      | COEFFICIENTE TOPOGRAFICO                                                                   | 23        |
| <b>5</b> | <b>PERICOLOSITÀ SISMICA DELL'AREA</b>                                                      | <b>24</b> |

## 1 PREMESSA

La presente relazione riguarda l'adeguamento del tracciato della S.S.67 da Classe al Porto di Ravenna, in particolare dalla progressiva chilometrica Km 218+550 a Km 223+700 per uno sviluppo longitudinale di 5,150 Km.

Il tracciato della S.S.67 sottoposto a interventi di adeguamento, è situato nel territorio pianeggiante della Regione Emilia- Romagna, nella Provincia di Ravenna. La tratta compresa tra lo svincolo presso la località Classe sulla tangenziale di Ravenna (S.S.16) e lo svincolo del porto, con sviluppo circa N-S, interessa il solo Comune di Ravenna e si posiziona a pochi km dalla linea di costa (3-7km). Per la progettazione dell'adeguamento della S.S.67, che prevede interventi di ampliamento della sezione per conformarla alla tipologia B del D. M. 05/11/2001 "*Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade*", è stato redatto il presente progetto definitivo.

Nell'ambito della progettazione strutturale e viabile, la presente relazione tratterà le problematiche relative alla progettazione e al dimensionamento dei rilevati stradali ed opere in c.a. complementari al progetto in funzione della caratterizzazione sismica dell'area.

In particolare, dopo aver esposto i lineamenti geologici, geomorfologici e sismici di vasta area, si è proceduto ad illustrare la sismicità dell'area e a fornire una caratterizzazione sismica dei terreni di fondazione interessati dal tracciato e dalle opere principali con le seguenti finalità:

- Definire la macrozonazione sismica dell'area attraverso l'individuazione delle zone sismiche dei comuni attraversati dall'infrastruttura in progetto ai sensi della Delibera di Giunta della Regione Emilia-Romagna n. 1435 del luglio 2003 – *Prime disposizioni di attuazione dell'ordinanza del PCM n. 3274/2003 recante '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 successivo aggiornamento (luglio 2018);
- Caratterizzare la pericolosità sismica dell'area mediante l'individuazione dei parametri ag (accelerazione orizzontale massima del terreno) e dell'Intensità macrosismica I<sub>max</sub>;
- Definire i parametri spettrali che definiscono lo spettro di risposta elastico di riferimento in accelerazione S<sub>e</sub>(T), dai quali è stato successivamente ricavato dal progettista lo spettro di progetto S<sub>d</sub>(T) caratteristico del tipo d'opera seguendo le modalità riportate nelle NTC 2018.

La prima fase ha pertanto comportato una ricerca bibliografica per l'acquisizione della documentazione scientifica e tecnica relativa all'area, la consultazione di documenti ed elaborati prodotti dai Servizi Tecnici della Regione e della provincia di Ravenna, e, per quanto riguarda la pericolosità sismica dell'area, si è fatto riferimento alle mappe e ai dati pubblicati dal Gruppo Nazionale per la Difesa dei Terremoti GNDT, dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia INGV e dal CNR.

## 2 EVOLUZIONE DEL QUADRO NORMATIVO IN MATERIA ANTISISMICA DELLA REGIONE EMILIA ROMAGNA

- O.P.C.M. n. 3274 del 20.03.2003  
*"Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"*.  
 Il riordino della normativa antisismica in Italia inizia con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 2003 che fornisce i primi elementi in materia di classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica. E' in questa Ordinanza che viene introdotta la classificazione dei terreni in base ai parametri  $V_{s30}$ ,  $N_{spt}$ ,  $C_u$ .
- Prot. N. 21411 del 17.07.2003  
*"Nota regionale del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli"*.  
 Tale nota è espressamente richiamata nelle "premesse" della successiva Deliberazione della Giunta Regionale n.1435/2003 per la conseguente "presa d'atto" della classificazione sismica dei Comuni della Regione Emilia-Romagna di cui all'allegato A dell'allegato 1 dell'ordinanza n. 3274.
- D.G.R. n. 1435 del 21.07.2003  
*"Prime disposizioni di attuazione dell'ordinanza del PCM n. 3274/2003 recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica""*.  
 La Giunta Regionale delibera di condividere e di adottare quanto recepito, in materia di individuazione, formazione ed aggiornamento all'elenco delle zone sismiche ed adempimenti connessi nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274.
- DM Infrastrutture e Trasporti 14.09.2005  
*"Norme Tecniche per le Costruzioni"* del Ministero delle Infrastrutture che di concerto con il Dipartimento della Protezione Civile ha emanato un nuovo corpo normativo che assorbe anche quello adottato con l'Ordinanza 3274/03, pervenendo alla suddivisione delle zone sismiche 1, 2 e 3 anche in sottozone caratterizzate da valori dell'accelerazione intermedi rispetto ai valori di soglia.
- OPCM n. 3519 del 28.04.2006  
*"Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone"*.  
 E' stata emanata ad integrazione della OPCM n° 3274/03, tenuto conto che in tale Ordinanza contestualmente si dà atto della provvisorietà dei suddetti criteri, in attesa del completamento delle attività del Gruppo di Lavoro istituito con Decreto del Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici finalizzato alla revisione dei Criteri. Tale Ordinanza ha adottato la mappa di pericolosità sismica MPS04 (vedi Figura 1) quale riferimento ufficiale.
- DM Infrastrutture 14.01.2008  
 Il 4 febbraio 2008 viene pubblicato in Gazzetta Ufficiale il DM 14 gennaio 2008 contenente le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni che entrano in vigore il 30 giugno 2009. Le norme definiscono i principi

pi per il progetto, l'esecuzione e il collaudo delle costruzioni, le prestazioni richieste in termini di resistenza meccanica e stabilità, anche in caso di incendio, e di durabilità. Forniscono i criteri generali di sicurezza, precisano le azioni che devono essere utilizzate nel progetto, definiscono le caratteristiche dei materiali e dei prodotti e trattano gli aspetti attinenti alla sicurezza strutturale delle opere. A fine gennaio 2008 una Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri fornisce indicazioni per la valutazione e la riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale, con riferimento alle NTC. Il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti fornisce, con la Circolare 617/2009, le istruzioni per l'applicazione delle nuove NTC di cui al DM del 14 gennaio 2008.

- DM Infrastrutture 17.01.2018  
Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni".
- D.G.R. n. 1164 del 23.07.2018  
*"Aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei comuni dell'Emilia-Romagna".*

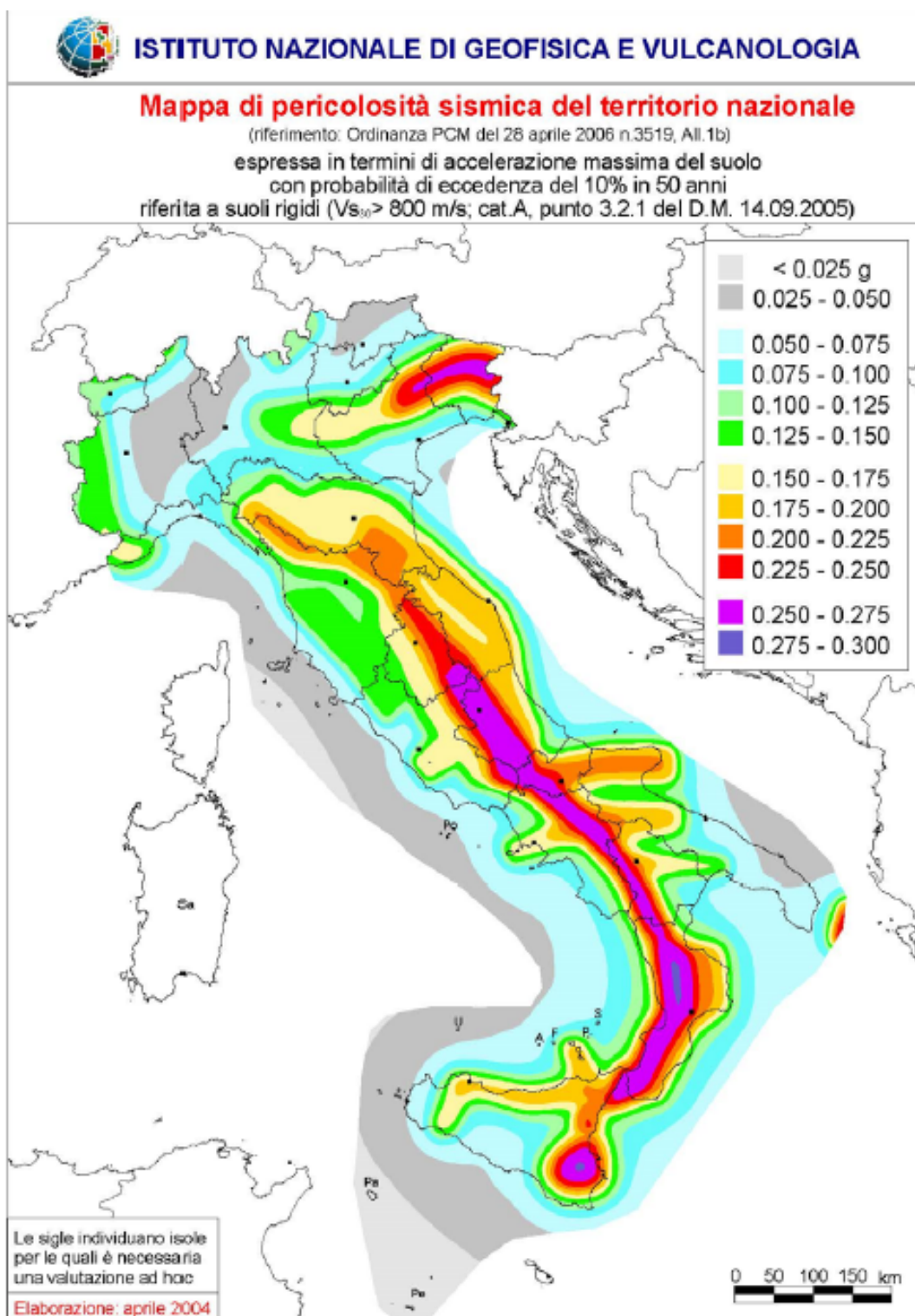


Figura 1 – Mapa di pericolosità sismica del territorio nazionale (OPCM 3519/06)

### 3 CARATTERIZZAZIONE GENERALE DELL'AREA

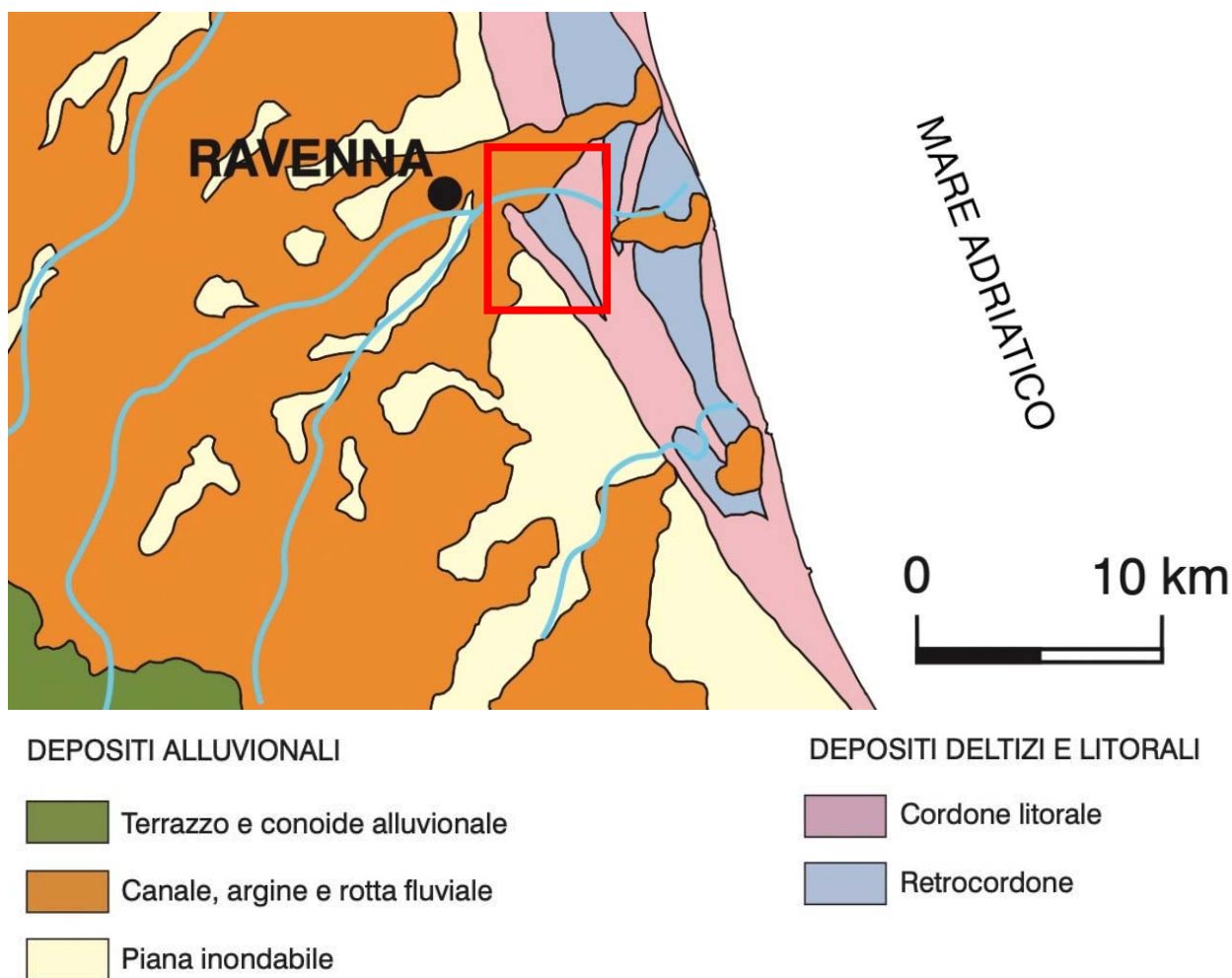
#### 3.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il territorio preso in esame appartiene al settore romagnolo del bacino sedimentario padano (Fig.1). Il modello geologico locale può essere schematizzato con una successione sedimentaria recente, pliocenico-quadernaria, formata da una alternanza ciclica di depositi marini, deltizi, lagunari, palustri e alluvionali. A causa di questa molteplicità di ambienti deposizionali i sedimenti presentano un'elevata variabilità litologica degli strati, costituiti da sabbie, limi e argille e da combinazioni di essi. Queste successioni sono il risultato, soprattutto, di cicli legati ad avanzamenti e arretramenti della linea di costa. In specifico, nella parte finale del Quaternario la frequenza delle variazioni litologiche si è accentuata in seguito a significativi movimenti eustatici del livello marino.

Durante l'ultima glaciazione il livello del mare si situa circa un centinaio di metri più in basso rispetto ai giorni d'oggi (regressione Wurmiana o pre-Flandriana, 60.000 – 70.000 anni fa). In questo periodo la linea di costa, collocata circa a sud di Ancona, lascia emersa la parte settentrionale della piattaforma continentale e forma un'ampia pianura drenata dal prolungamento dei fiumi che attualmente sfociano lungo la costa. In questa fase regressiva Wurmiana si depositano terreni alluvionale di natura argillosa contenenti all'interno livelli sabbiosi irregolari e sedimenti riferibili rispettivamente a depositi di esondazione e di alveo fluviale.

In seguito, circa 17000 anni fa, con l'innalzamento della temperatura media di alcuni gradi centigradi e il conseguente ritiro dei ghiacciai, inizia una fase di trasgressione eustatica su scala mondiale chiamata trasgressione Flandriana; a testimonianza dell'inizio di questa fase si rinviene un livello argilloso di ambiente lagunare e palustre. Durante il suo massimo avanzamento, circa 5.000-6.000 anni fa, all'altezza di Ravenna la linea di costa si posiziona a circa 16-18 km ad ovest da quella attuale e all'incirca parallela alla S.S.16. Tale evento è testimoniato dalla deposizione di sabbie fini di ambiente litorale con intercalazioni limoso-argillose e argille-limi poco consistenti con lenti di sabbia attribuibili a un ambiente marino poco profondo in cui sfociavano i fiumi Lamone, Montone e Ronco (Fiume Uniti) e Savio. Terminata la regressione Flandriana, la linea di costa, a meno di modeste oscillazioni, rimane poco ad ovest della città di Ravenna.

Segue una successiva fase regressiva olocenica di tipo deposizionale in cui la linea di costa, da circa 2000 anni fa ad oggi, si sposta progressivamente verso est fino alla posizione attuale, dando luogo alla formazione dei depositi olocenici recenti composti da un corpo sabbioso complesso costituito da una serie di cordoni sabbiosi con locali intercalazioni ghiaiose e con orientamento NW-SE (parallelo alla linea di costa precedente). L'elevato spessore, superiore a 15 metri circa, dei sedimenti sabbiosi testimonia la lenta evoluzione di questa fase regressiva.



**Figura 2** - Schema geologico di superficie della Pianura Padana orientale. Nel riquadro rosso l'area presa in oggetto. Modificato dalla Carta Geologica di Pianura dell'Emilia-Romagna

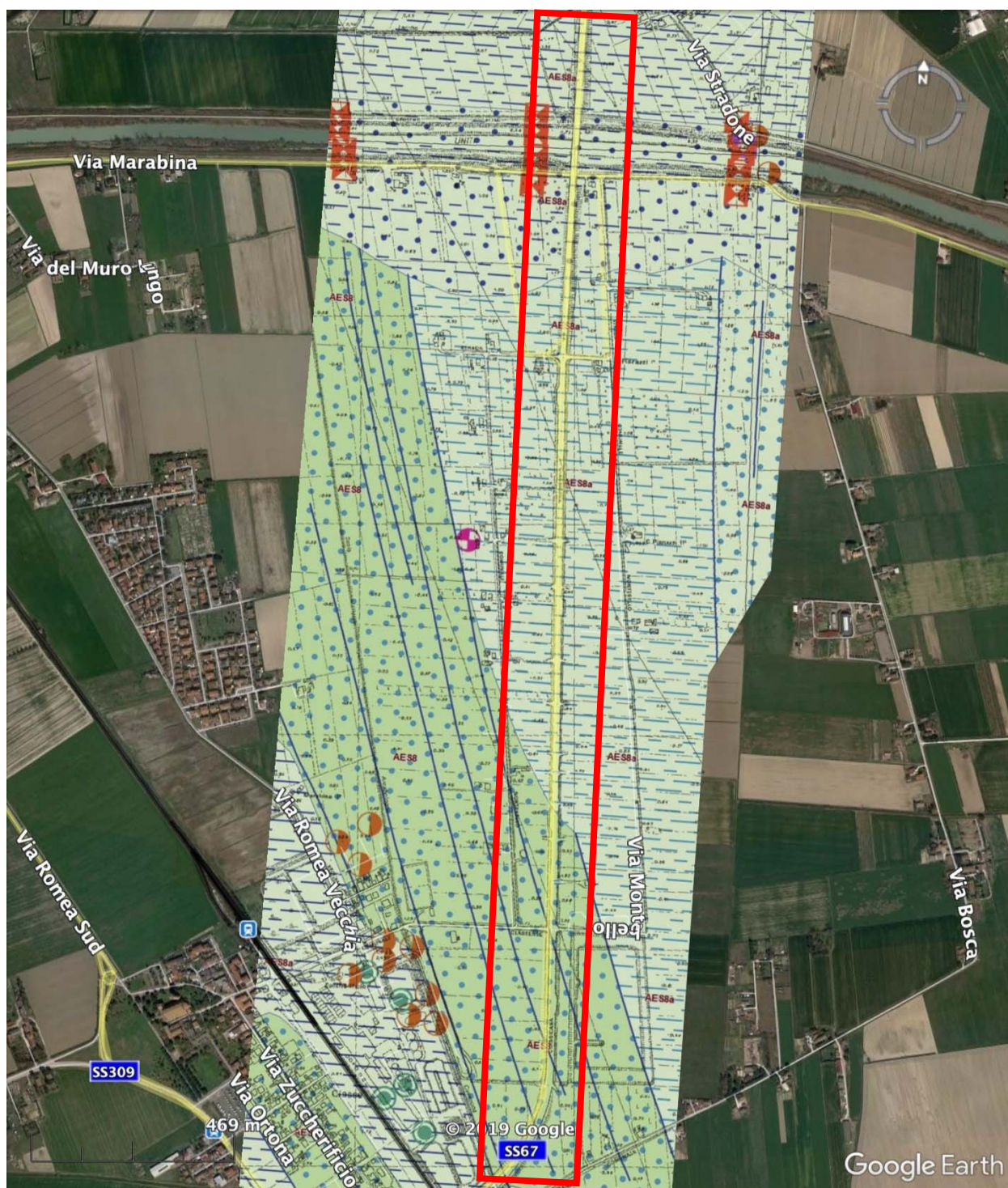
### 3.2 STRATIGRAFIA

In riferimento agli approfondimenti geologici di superficie, effettuati dalla Regione Emilia-Romagna, la zona in esame risulta localizzata su depositi appartenenti al Subsistema di Ravenna che costituisce l'elemento sommitale dell'Alloformazione EmilianoRomagnola Superiore (AES). Il Subsistema di Ravenna è formato da sabbie argille e limi di ambiente alluvionale, deltizio e litorale, organizzati in corpi sedimentari lenticolari, nastriformi, tabulari e cuneiformi, di spessore plurimetrico.

Nel dettaglio, osservando gli stralci allegati in scala adattata della Carta Geologica in scala 1:10.000 e 50.000 della Regione Emilia-Romagna, risulta che il tratto stradale interessato dagli interventi è posto su depositi appartenenti al:

- Subsistema di Ravenna, sigla AES8. Depositi sabbiosi (simbolo punto) di piana costiera, fronte deltizia, piana di sabbia (simbolo di colore azzurro) con presenza di cordoni litorali certi (linee blu); questi sedimenti possono essere associati a sottili depositi argillosi di laguna di retrocordone. I suoli non calcarei e scarsamente calcarei al tetto si presentano di colore bruno scuro e bruno scuro giallastro, lo spessore dell'orizzonte decarbonatato varia da 0,5 ad 1 m e può contenere reperti archeologici dall'età dal Bronzo al periodo Romano. Il Subsistema di Ravenna contiene un'unità di rango gerarchico inferiore (AES8a) che ne costituisce il tetto stratigrafico. Il suo spessore massimo è di 25-28 metri. Età: *PLEISTOCENE SUP.-OLOCENE* (c.a. 14.000 anni BP non cal. - attuale).
- Unità di Modena (AES8a), costituisce la parte sommitale del Subsistema di Ravenna (AES8). Alternanze di sabbie, limi e argille (punto e tratto), di tracimazione fluviale distinti in depositi di argine e depositi di piana inondabile (colore blu) legati alla dinamica deposizionale più recente dei corsi d'acqua Montone e Ronco (Fiumi Uniti); sabbie di cordone litorale e di fronte deltizia con locali livelli argillosi organici di laguna di retrocordone e; depositi con tessitura limoso-argillosa (tratto) di piana costiera, fronte deltizio e piana di sabbia (colore azzurro) o di piana alluvionale (blu). Lo spessore è di pochi metri, localmente raggiunge i 10m. Età: *POST-ROMANA* (IV-VI sec. d.C. - Attuale).

La tratta è localizzata principalmente su depositi appartenenti sia al Subsistema di Ravenna (sigla AES8 e area di colore verde scuro) con presenza di cordoni litorali certi (linee blu), orientati all'incirca NNW-SSE e sia all'unità di rango gerarchico inferiore (sigla AES8a e area di colore verde chiaro).

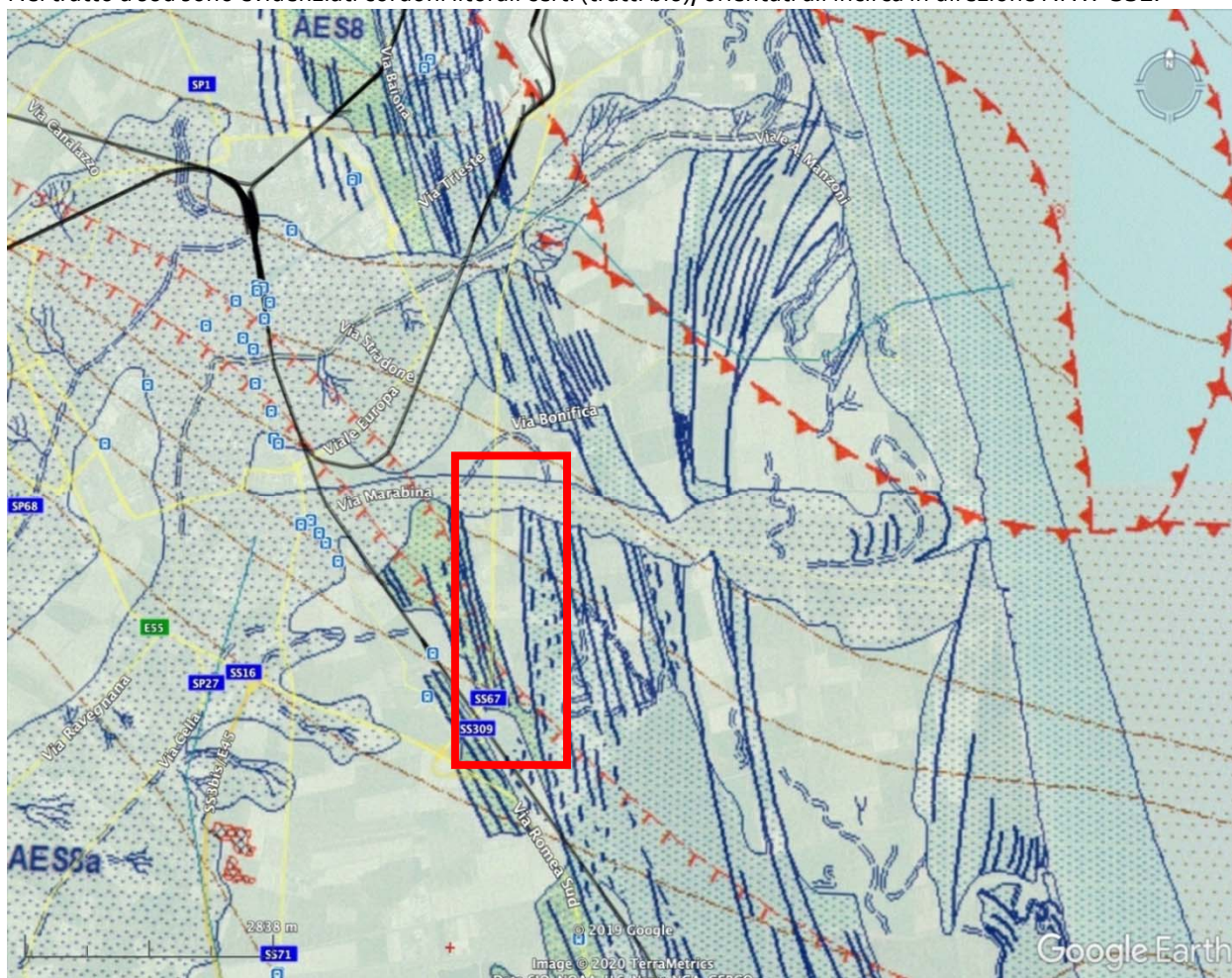


**Figura 3 – Carta geologica dell'area presa in esame (riquadro rosso)**

### 3.3 GEOMORFOLOGIA

L'area in esame è pianeggiante, ad uso prevalentemente agricolo caratterizzata da un reticolo idrografico naturale e da una rete di rogge e canali artificiali. L'unico corso d'acqua principale interferente con l'adeguamento delle infrastrutture è il Fiume Uniti.

Nel tratto a sud sono evidenziati cordoni litorali certi (tratti blu), orientati all'incirca in direzione NNW-SSE.



**Figura 4 - Carta geologica e geomorfologica.** Nel riquadro rosso è evidenziata l'area presa in esame. I simboli arancioni indicano elementi strutturali profondi, quali faglie profonde dirette, i segni blu sono di carattere geomorfologico, si notino i cordoni litorali certi orientati all'incirca NNW-SSE nel tratto preso in esame (tratti blu); in tratteggio marrone è indicata l'isobata della base del Pliocene, a -5.000 metri. Il Subsistema di Ravenna (AES8) è evidenziato con il colore verde mentre la sua unità di rango gerarchico inferiore (AES8a) è evidenziata con un colore ciano-verde pallido.

### 3.4 SISMICITÀ

L'Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", suddivide il territorio italiano in 4 zone sismiche con diversi livelli di accelerazione sismica di progetto. Secondo tale ordinanza i comuni attraversati dall'infrastruttura in esame sono stati identificati tutti in zona 3, cui corrispondono, come indicato in *Tabella 1*,

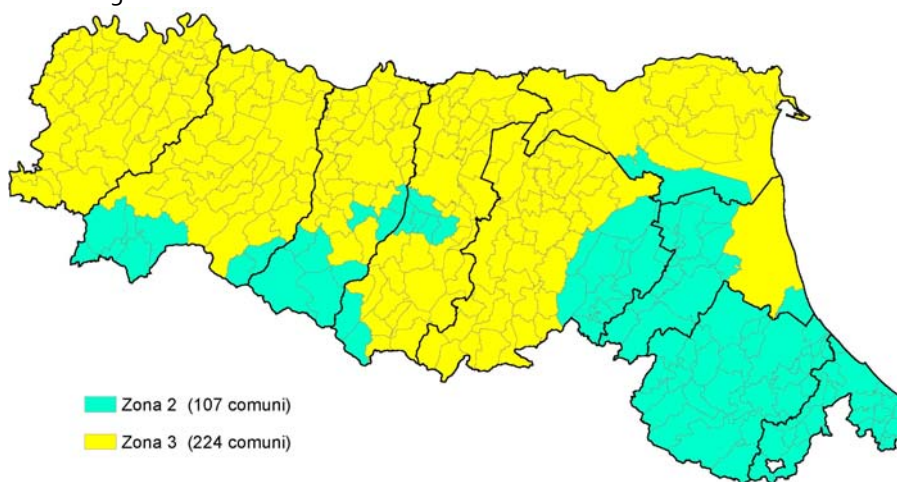
valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo ( $a_g$ ), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, compresi tra 0,05g e 0,15g (dove g è l'accelerazione di gravità).

**Tabella 1** – Tabella estratta dall'Allegato 1 della OPCM 3274/2003

| zona | accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10 % in 50 anni<br>[ $a_g/g$ ] |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1    | > 0,25                                                                                          |
| 2    | 0,15-0,25                                                                                       |
| 3    | 0,05-0,15                                                                                       |
| 4    | <0,05                                                                                           |

La Deliberazione della Giunta Regionale n. 1435 del 21.07.2003 "Prime disposizioni di attuazione dell'ordinanza del PCM n. 3274/2003 recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"" rende esecutiva la classificazione sismica dei Comuni della Regione Emilia Romagna, distinguendo il territorio in quattro aree a diversa pericolosità sismica. Tale classificazione sismica del territorio, attuata dall'Amministrazione Regionale ai sensi dell'Art. 2 dell'OPCM n. 3274/2003 e dell'art. 94 del D.Lgs. n. 112/1998, ha permesso una maggiore omogeneità territoriale del vincolo, introducendo altresì l'obbligo della progettazione antisismica anche per i Comuni classificati sismicamente in Zona 4.

La seguente figura riporta la rappresentazione grafica dei territori amministrativi comunali della Regione emiliana, classificati secondo le Zone 1, 2, 3 e 4 a pericolosità sismica decrescente, a seguito dell'aggiornamento di luglio 2018 con la DGR 1164 del 23/07/2018 "Aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei comuni dell'Emilia-Romagna"



**Figura 5** - Classificazione sismica della Regione Emilia-Romagna secondo DGR 1164 del 23/07/2018

Con le Norme Tecniche per le Costruzioni del settembre 2005 è stato specificato che per le zone 1, 2 e 3 è possibile una suddivisione in sottozone caratterizzate da valori di  $a_g$  intermedi rispetto a quelli citati e intervallati da valori non minori di 0,025.

La Gazzetta Ufficiale del 11/5/2006 ha pubblicato l'Ordinanza del PdCM del 28 aprile 2006 "Criteri generali per

l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone" (Ordinanza n. 3519) con la quale sono approvati i criteri generali e la mappa di pericolosità sismica di riferimento a scala nazionale. Le valutazioni di  $a_g$  sono calcolate su un numero sufficiente di punti (griglia non inferiore a  $0.05^\circ$ ), corredate da stime dell'incertezza. I valori di  $a_g$  sulle griglie suddette sono state pubblicate sul sito web dell'INGV. La documentazione di interesse è riportata nella mappa seguente.



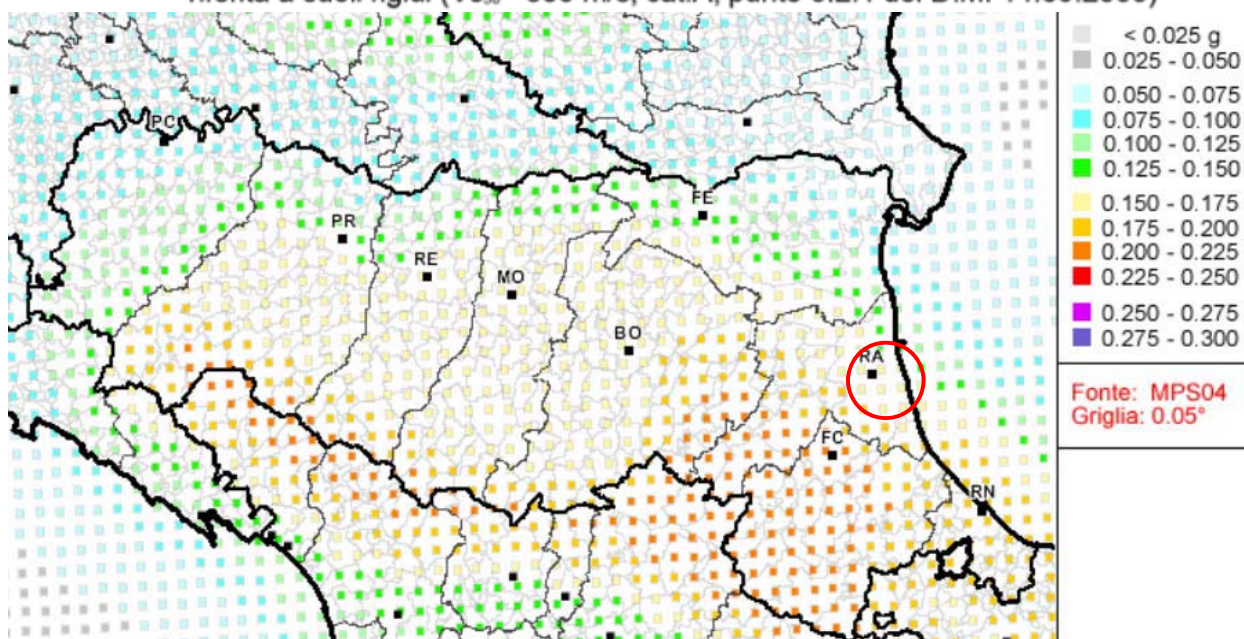
## ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

### Valori di pericolosità sismica del territorio nazionale

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

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

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



Da questa mappa risulta che al Comune di Ravenna viene attribuita una classe di accelerazione al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (su suolo rigido) di 0.150-0.175g.

Questo strumento normativo, per la prima volta, ha portato a valutare la classificazione sismica del territorio secondo parametri sismologici svincolati dal solo criterio politico del limite amministrativo utilizzato fino a quel momento.

Alle Norme Tecniche per le Costruzioni elaborate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici e pubblicate sulla Gazzetta Ufficiale il 4 febbraio 2008 (e successivo aggiornamento nel 2018), è allegato un documento sulla pericolosità sismica (Allegato A), che prevede che l'azione sismica di riferimento per la progettazione (paragrafo 3.2.3) venga definita sulla base dei valori di pericolosità sismica di base, più semplicemente chiamata pericolosità sismica.

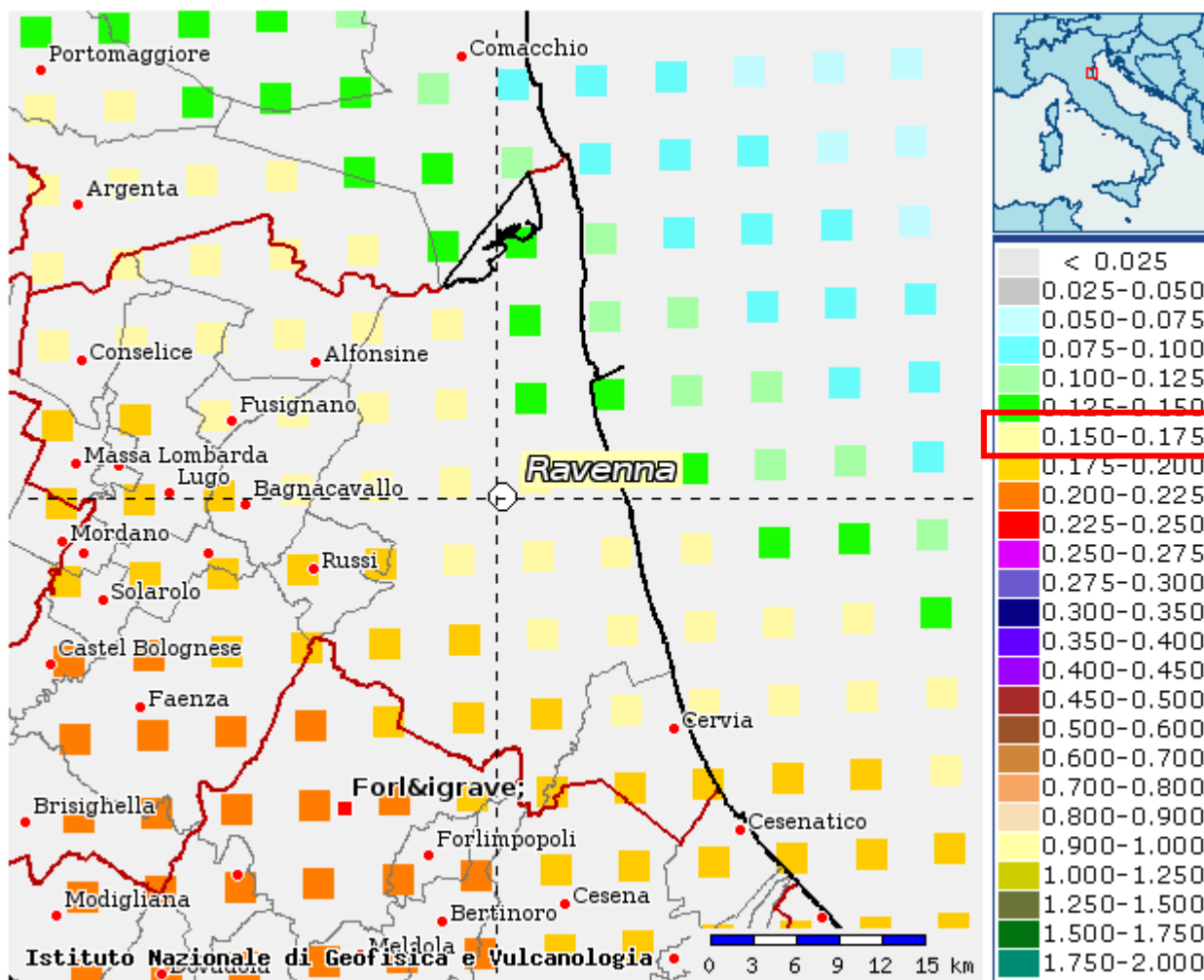
Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle N.T.C., dalle accelerazioni  $a_g$  e dalle relative forme spettrali. Le

forme spettrali previste sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima del terreno;
- $F_0$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_C^*$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Questi tre parametri sono definiti in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento; *Figura 6*,  $T_r$  475 anni), i cui nodi non distano fra loro più di 10 km, per diverse probabilità di superamento in 50 anni e per diversi periodi di ritorno (variabili tra 30 e 975 anni).

La *Figura 6* riporta i valori di pericolosità sismica, secondo l'OPCM 3519 del 28 aprile 2006, All. 1b, per l'area in esame. Nella mappa vengono rappresentati i valori medi (con deviazione standard) corrispondenti a una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (periodo di ritorno di 475 anni) della PGA (acronimo di Peak Ground Acceleration). Dalla figura è possibile confermare quanto detto in precedenza, ossia che l'area in oggetto ha una PGA dell'ordine di 0,150-0,175 g.



**Figura 6** - Valori di pericolosità sismica (OPCM del 28 aprile 2006 n. 3519, All. 1b) espressi in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ( $V_{s30} > 800$  m/s; cat. A, punto A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005)

#### 4 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA

I parametri sismici, precedentemente citati, sono stati ricavati impiegando il foglio di calcolo "SPETTRI-NTC" Ver. 1.03, messo a disposizione sul sito del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici e con l'impiego del software Geostru PS che consente di individuare la pericolosità sismica secondo le NTC di tutte le località italiane.

La previsione degli spostamenti in condizioni sismiche è stata condotta attraverso verifiche di stabilità sismica con analisi dinamiche semplificate ed avanzate.

Le azioni sismiche di progetto sono state definite, in relazione agli stati limite, a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di progetto. Data la valenza strategica del tratto di adeguamento (Rete di tipo B secondo il D.M. 5/11/2001), è stata assunta una vita nominale differenziata lungo l'opera, pari a 100 anni per le opere d'arte e a 50 anni per il semplice rilevato stradale, una classe d'uso IV ( $C_U$  pari a 2).

Per quanto attiene la determinazione delle azioni sismiche si individua, quale elemento di conoscenza primario, la "pericolosità sismica di base" riferita al sito di costruzione con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$ .

L'azione sismica è definita in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava, per ciascuna costruzione, moltiplicandone la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ .

In particolare la vita nominale di una costruzione  $V_N$  è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo alla quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella Tab. 2.4.1 dell'Allegato A delle NTC 2008 (Tabella 2) e deve essere precisata nei documenti di progetto.

**Tabella 2 - Vita Nominale  $V_N$  per diversi tipi di opere da NTC 2008**

| TIPI DI COSTRUZIONE |                                                                                                        | Vita Nominale $V_N$ (in anni) |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| 1                   | Opere provvisorie – Opere provvisionali – Strutture in fase costruttiva                                | $\leq 10$                     |
| 2                   | Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale | $\geq 50$                     |
| 3                   | Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica    | $\geq 100$                    |

Il coefficiente d'uso  $C_U$  esprime la Classe d'uso nella quale sono suddivise le opere, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso.

In presenza di Azioni Sismiche, le costruzioni sono suddivise in quattro classi d'uso, la cui definizione viene di seguito sinteticamente riportata:

- **Classe I:** Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
- **Classe II:** Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, industrie con attività non pericolose per l'ambiente, ponti e reti viarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza, dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
- **Classe III:** Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi, industrie con attività pericolose per l'ambiente, ponti e reti viarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza, dighe il cui collasso

provochi conseguenze rilevanti.

- **Classe IV:** Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente, reti viarie di tipo A o B (come definite nel D.M. 5 novembre 2001 n. 6792) importanti per il mantenimento delle vie di comunicazione, dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Non trattandosi di una costruzione fondata su suolo rigido, nello studio della risposta sismica è necessario tenere conto oltre alle condizioni topografiche, anche delle condizioni stratigrafiche. L'identificazione della categoria di sottosuolo permette di definire i coefficienti  $S_s$  (coefficiente di amplificazione stratigrafica) e  $C_c$  (coefficiente che individua il periodo dello spettro corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante).

Le forme spettrali corrispondenti ai diversi Stati Limite di riferimento vengono definite in funzione delle relative probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , e dei parametri su sito di riferimento rigido orizzontale  $a_{gr}$ ,  $F_{or}$ ,  $T^*_C$ , riferiti al sito su cui sorge l'opera di progetto.

Essendo necessario utilizzare, quale parametro caratterizzante la pericolosità sismica, il relativo periodo di ritorno  $T_R$ , si ricorda che quest'ultimo, fissata la vita di riferimento  $V_R$  e la probabilità di superamento  $P_{VR}$  (associata a ciascuno degli stati limite), è determinabile mediante la seguente relazione:

$$T_R = \frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

Per quanto riguarda le probabilità  $P_{VR}$  di superamento nel periodo di riferimento  $V_R$  esse variano al variare dello stato limite considerato. In particolare i valori cui riferirsi per individuare l'azione sismica sono riportati nella *Tabella 3*.

**Tabella 3** - Probabilità di superamento  $P_{VR}$  al variare dello stato limite considerato da NTC 2008

| STATO LIMITE              |     | $P_{VR}$ - Probabilità di superamento nel periodo di riferimento |
|---------------------------|-----|------------------------------------------------------------------|
|                           |     | $V_R$                                                            |
| Stati Limite di Esercizio | SLO | 81%                                                              |
|                           | SLD | 63%                                                              |
| Stati Limite Ultimi       | SLV | 10%                                                              |
|                           | SLC | 5%                                                               |

dove:

**SLO = Stato Limite di Operatività:** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;

**SLD = Stato Limite di Danno:** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

**SLV = Stato Limite di Salvaguardia della Vita:** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte di resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

**SLC = Stato Limite di prevenzione del Collasso:** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli nei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

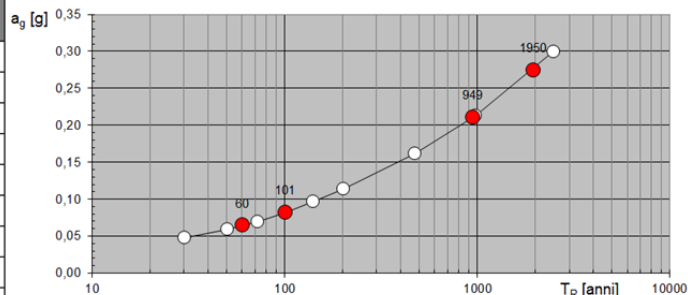
I valori di  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T^*_C$  si definiscono partendo dalle coordinate geografiche del sito.

*Vita nominale: 50 anni – Rilevato stradale*

|                                                                                    |                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                      |
|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
|  |                          | <p><u>Classe d'uso: IV</u></p> <p><i>Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente, reti viarie di tipo A o B (come definite nel D.M. 5 novembre 2001 n. 6792) importanti per il mantenimento delle vie di comunicazione, dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.</i></p> |                      |
| <u>Vita nominale:</u>                                                              | <b>50 anni</b>           | <u>Categoria di sottosuolo:</u>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <b>C</b>             |
| <u>Tipo di interpolazione:</u>                                                     | <b>Superficie rigata</b> | <u>Categoria topografica:</u>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <b>T<sub>1</sub></b> |

Si riportano di seguito i parametri dell'azione sismica e l'andamento dell'accelerazione al crescere del tempo di ritorno.

| $T_R$<br>[anni] | $a_g$<br>[g] | $F_0$<br>[-] | $T_C^*$<br>[s] |
|-----------------|--------------|--------------|----------------|
| 30              | 0,048        | 2,451        | 0,262          |
| 50              | 0,059        | 2,485        | 0,278          |
| 72              | 0,070        | 2,468        | 0,284          |
| 101             | 0,082        | 2,475        | 0,285          |
| 140             | 0,097        | 2,482        | 0,282          |
| 201             | 0,113        | 2,541        | 0,280          |
| 475             | 0,162        | 2,552        | 0,280          |
| 975             | 0,213        | 2,502        | 0,285          |
| 2475            | 0,300        | 2,435        | 0,299          |



Con riferimento all'ubicazione della struttura in oggetto, sono state valutate le condizioni topografiche e stratigrafiche e sono stati determinati i parametri legati alla pericolosità sismica. Nelle tabelle seguenti sono riportati i dati necessari ai fini delle successive analisi, in funzione dei diversi stati limite; le verifiche sono state svolte in condizioni di Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV).

| Stato Limite               | $T_r$ [anni] | $a_g$ [g] | $F_0$ | $T_c^*$ [s] |
|----------------------------|--------------|-----------|-------|-------------|
| Operatività (SLO)          | 60           | 0,064     | 2,476 | 0,281       |
| Danno (SLD)                | 101          | 0,082     | 2,475 | 0,285       |
| Salvaguardia vita (SLV)    | 949          | 0,211     | 2,504 | 0,285       |
| Prevenzione collasso (SLC) | 1950         | 0,275     | 2,452 | 0,295       |

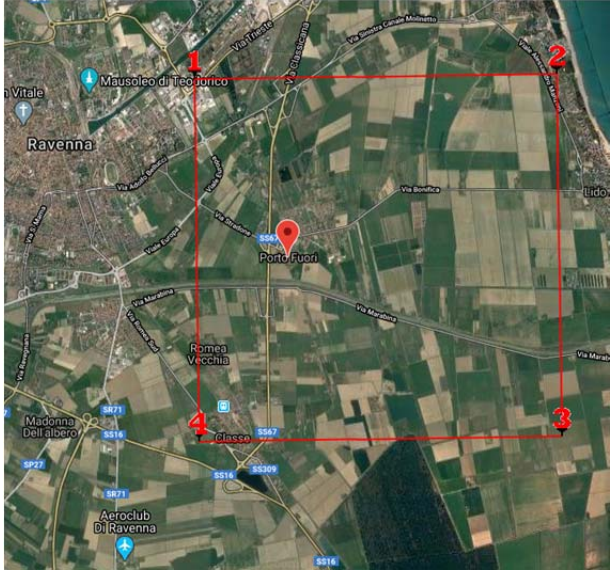
| Coefficienti                  | SLO   | SLD   | SLV   | SLC   |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| $k_h$                         | -     | 0,057 | 0,111 | -     |
| $k_v$                         | -     | 0,029 | 0,055 | -     |
| $a_{max}$ [m <sup>2</sup> /s] | 0,931 | 1,196 | 2,853 | 3,481 |
| $\beta$                       | -     | 0,470 | 0,380 | -     |

| Vita nominale, classe d'uso e periodo di riferimento |       |     |      |
|------------------------------------------------------|-------|-----|------|
| vita nominale                                        | $V_N$ | 50  | anni |
| classe d'uso                                         |       | IV  |      |
| coefficiente d'uso                                   | $C_U$ | 2,0 | s    |
| periodo di riferimento                               | $V_R$ | 100 | anni |

| SLD (Stato Limite di Danno)                         |          |       |      |
|-----------------------------------------------------|----------|-------|------|
| zona sismica                                        |          | 3     |      |
| probabilità di eccedenza nel periodo di riferimento | $P_{VR}$ | 63%   |      |
| periodo di ritorno azione sismica                   | $T_R$    | 101   | anni |
| accelerazione sismica al suolo                      | $a_g$    | 0,082 | g    |

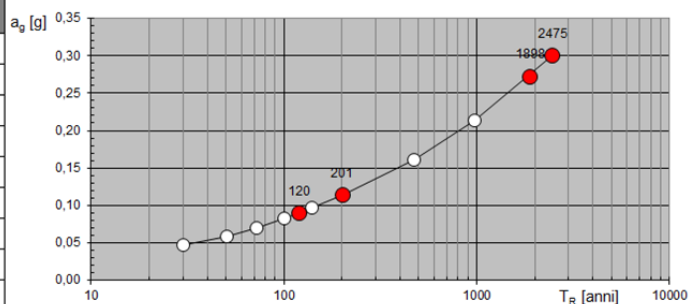
|                                                     |          |       |      |
|-----------------------------------------------------|----------|-------|------|
| valore massimo del fattore di amplificazione        | $F_0$    | 2,475 |      |
| periodo di inizio del tratto a velocità costante    | $T^*_C$  | 0,285 | s    |
| categoria sottosuolo                                |          | C     |      |
| coefficiente di amplificazione stratigrafica        | $S_S$    | 1,500 |      |
| categoria topografica                               |          | T1    |      |
| coefficiente di amplificazione topografica          | $S_T$    | 1,000 |      |
| coefficiente categoria di sottosuolo                | $C_c$    | 1,590 |      |
| SLV (Stato Limite di salvaguardia della Vita)       |          |       |      |
| zona sismica                                        |          | 3     |      |
| probabilità di eccedenza nel periodo di riferimento | $P_{VR}$ | 10%   |      |
| periodo di ritorno azione sismica                   | $T_R$    | 949   | anni |
| accelerazione sismica al suolo                      | $a_g$    | 0,211 | g    |
| valore massimo del fattore di amplificazione        | $F_0$    | 2,504 |      |
| periodo di inizio del tratto a velocità costante    | $T^*_C$  | 0,285 | s    |
| categoria sottosuolo                                |          | C     |      |
| coefficiente di amplificazione stratigrafica        | $S_S$    | 1,383 |      |
| categoria topografica                               |          | T1    |      |
| coefficiente di amplificazione topografica          | $S_T$    | 1,000 |      |
| coefficiente categoria di sottosuolo                | $C_c$    | 1,589 |      |

Vita nominale: 100 anni – Opere d'arte

|                                                                                     |                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
|  |                          | <p><u>Classe d'uso: IV</u></p> <p><i>Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente, reti viarie di tipo A o B (come definite nel D.M. 5 novembre 2001 n. 6792) importanti per il mantenimento delle vie di comunicazione, dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.</i></p> |           |
| <u>Vita nominale:</u>                                                               | <b>100 anni</b>          | <u>Categoria di sottosuolo:</u>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <b>C</b>  |
| <u>Tipo di interpolazione:</u>                                                      | <b>Superficie rigata</b> | <u>Categoria topografica:</u>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <b>T1</b> |

Si riportano di seguito i parametri dell'azione sismica e l'andamento dell'accelerazione al crescere del tempo di ritorno.

| $T_R$<br>[anni] | $a_g$<br>[g] | $F_0$<br>[-] | $T_C^*$<br>[s] |
|-----------------|--------------|--------------|----------------|
| 30              | 0,048        | 2,451        | 0,262          |
| 50              | 0,059        | 2,485        | 0,278          |
| 72              | 0,070        | 2,468        | 0,284          |
| 101             | 0,082        | 2,475        | 0,285          |
| 140             | 0,097        | 2,482        | 0,282          |
| 201             | 0,113        | 2,541        | 0,280          |
| 475             | 0,162        | 2,552        | 0,280          |
| 975             | 0,213        | 2,502        | 0,285          |
| 2475            | 0,300        | 2,435        | 0,299          |



Con riferimento all'ubicazione della struttura in oggetto, sono state valutate le condizioni topografiche e stratigrafiche e sono stati determinati i parametri legati alla pericolosità sismica. Nelle tabelle seguenti sono riportati i dati necessari ai fini delle successive analisi, in funzione dei diversi stati limite; le verifiche sono state svolte in condizioni di Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV).

| Stato Limite               | $T_R$ [anni] | $a_g$ [g] | $F_0$ | $T_C^*$ [s] |
|----------------------------|--------------|-----------|-------|-------------|
| Operatività (SLO)          | 120          | 0,090     | 2,479 | 0,283       |
| Danno (SLD)                | 201          | 0,114     | 2,541 | 0,280       |
| Salvaguardia vita (SLV)    | 1898         | 0,272     | 2,454 | 0,295       |
| Prevenzione collasso (SLC) | 2475         | 0,300     | 2,435 | 0,299       |

| Coefficienti                  | SLO   | SLD   | SLV   | SLC   |
|-------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| $k_h$                         | 0,024 | 0,040 | 0,109 | 0,117 |
| $k_v$                         | 0,012 | 0,020 | 0,054 | 0,059 |
| $a_{max}$ [m <sup>2</sup> /s] | 1,302 | 1,642 | 3,447 | 3,714 |
| $\beta$                       | 0,180 | 0,240 | 0,310 | 0,310 |

| Vita nominale, classe d'uso e periodo di riferimento |       |     |      |
|------------------------------------------------------|-------|-----|------|
| vita nominale                                        | $V_N$ | 100 | anni |
| classe d'uso                                         |       | IV  |      |
| coefficiente d'uso                                   | $C_U$ | 2,0 | s    |
| periodo di riferimento                               | $V_R$ | 200 | anni |

| <b>SLD (Stato Limite di Danno)</b>                   |          |       |      |
|------------------------------------------------------|----------|-------|------|
| zona sismica                                         |          | 3     |      |
| probabilità di eccedenza nel periodo di riferimento  | $P_{VR}$ | 63%   |      |
| periodo di ritorno azione sismica                    | $T_R$    | 201   | anni |
| accelerazione sismica al suolo                       | $a_g$    | 0,114 | g    |
| valore massimo del fattore di amplificazione         | $F_o$    | 2,541 |      |
| periodo di inizio del tratto a velocità costante     | $T^*_C$  | 0,280 | s    |
| categoria sottosuolo                                 |          | C     |      |
| coefficiente di amplificazione stratigrafica         | $S_S$    | 1,500 |      |
| categoria topografica                                |          | T1    |      |
| coefficiente di amplificazione topografica           | $S_T$    | 1,000 |      |
| coefficiente categoria di sottosuolo                 | $C_c$    | 1,597 |      |
| <b>SLV (Stato Limite di salvaguardia della Vita)</b> |          |       |      |
| zona sismica                                         |          | 3     |      |
| probabilità di eccedenza nel periodo di riferimento  | $P_{VR}$ | 10%   |      |
| periodo di ritorno azione sismica                    | $T_R$    | 1898  | anni |
| accelerazione sismica al suolo                       | $a_g$    | 0,272 | g    |
| valore massimo del fattore di amplificazione         | $F_o$    | 2,454 |      |
| periodo di inizio del tratto a velocità costante     | $T^*_C$  | 0,295 | s    |
| categoria sottosuolo                                 |          | C     |      |
| coefficiente di amplificazione stratigrafica         | $S_S$    | 1,299 |      |
| categoria topografica                                |          | T1    |      |
| coefficiente di amplificazione topografica           | $S_T$    | 1,000 |      |
| coefficiente categoria di sottosuolo                 | $C_c$    | 1,571 |      |

#### 4.1 DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE

La Normativa Italiana (Norme Tecniche per le costruzioni), coerentemente con quanto indicato nell'Eurocodice 8 prevede, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, la valutazione della risposta sismica locale mediante specifiche analisi definite nella norma oppure attraverso un approccio semplificato che si basa sulla individuazione di categorie di sottosuolo, come riportato nella *Tabella 4* di seguito:

**Tabella 4 - Categorie sismiche dei terreni per le quali è utilizzabile la procedura semplificata**

| Categoria | Descrizione                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A         | 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.                                                                                                                                                                                    |
| B         | Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SP,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fine).      |
| C         | Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SP,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fine). |
| D         | Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SP,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fine).                 |
| E         | Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).                                                                                                                                                                                                                                                                     |

L'attribuzione della categoria viene definita in funzione della velocità equivalente  $V_{s30}$  di propagazione delle onde di taglio S entro i primi 30 m di profondità dal piano di imposta della fondazione dell'opera o nel caso di fondazioni su pali dalla testa dei pali. Per le categorie di sottosuolo sopra definite la norma definisce le azioni sismiche. Esistono però altre due categorie per le quali non è utilizzabile alcuna procedura semplificata ma è necessario prevedere specifiche analisi per la definizione delle azioni sismiche. Le due categorie sono descritte nella seguente Tabella 5:

**Tabella 5 - Categorie sismiche dei terreni per le quali non è utilizzabile la procedura semplificata**

| Categoria | Descrizione                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| S1        | Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fine di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche. |
| S2        | Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.                                                                                                                         |

Per il calcolo del parametro  $V_{s30}$  si utilizza la formula proposta dall'O.P.C.M. 3274 s.m.i., ovvero:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,n} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove:

- $h_i$  = spessore dell'i-esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità;
- $V_{s,i}$  = velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- N = numero di strati compresi nei primi 30 m di profondità.

Per  $V_{s30}$  si intende la media pesata delle velocità delle onde S negli strati fino a 30 metri di profondità dal piano di posa della fondazione. In generale il fenomeno dell'amplificazione sismica diventa più accentuato passando dalla classe A alla classe E.

Lungo il tracciato in esame l'attribuzione della categoria di suolo è stata definita in funzione delle caratteristiche dei suoli definite a seguito delle prove realizzato lungo il tracciato, secondo la campagna d'indagine prevista.

#### 4.2 COEFFICIENTE TOPOGRAFICO

La normativa prevede che per condizioni topografiche complesse debbano essere predisposte specifiche analisi di risposta sismica locale mentre per configurazioni semplici si può adottare la seguente classificazione:

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

Le su descritte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste e dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza superiore a 30 m.

Tenendo conto dell'estensione del progetto in esame è stato scelto un coefficiente topografico pari a T1 in quanto il tracciato stradale si sviluppa su territori pianeggianti.

## 5 PERICOLOSITÀ SISMICA DELL'AREA

La pericolosità sismica è lo strumento di previsione delle azioni sismiche attese in un certo sito su base probabilistica. Più precisamente è la probabilità che un valore prefissato di pericolosità, espresso da un parametro di moto sismico al suolo (ad esempio l'accelerazione massima) o da un grado di intensità macrosismica, venga superato in un sito dato (o in un insieme di siti) entro un dato periodo di tempo. La pericolosità sismica può essere pertanto rappresentata attraverso due indicatori:

- Accelerazione orizzontale massima del terreno  $a_g$ ;
- Intensità macrosismica.

Per quanto attiene la definizione della pericolosità sismica attraverso l'accelerazione orizzontale massima del terreno  $a_g$ , nel 2004 è stata elaborata la nuova mappa di pericolosità sismica del territorio italiano (*Figura 1 – Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (OPCM 3519/06)*). In particolare la mappa definisce localmente i livelli di accelerazione massima su suolo roccioso (suolo di categoria A,  $V_{s30} > 800$  m/s) con una probabilità di eccedenza pari al 10% in 50 anni, ovvero un periodo di ritorno pari a 475 anni.

Per avere una quadro completo della pericolosità sismica è necessario considerare anche il secondo parametro, ossia l'intensità macrosismica. L'intensità macrosismica (MCS) rappresenta, in un certo senso, la conseguenza socio-economica di un evento sismico descrivendo, infatti, il grado di danneggiamento causato dai terremoti; una carta di pericolosità in intensità macrosismica si avvicina, con le dovute cautele derivate da diverse approssimazioni insite nel parametro intensità, al concetto di rischio sismico.

L'intero territorio comunale di Ravenna è classificato (ai sensi dell'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 e s.m.i.) come facente parte della classe di sismicità 3, ovvero rientra in una zona con grado di rischio MEDIO. E' possibile quindi il verificarsi di terremoti capaci di provocare danni in particolar modo ai numerosi edifici antichi presenti, e in generale a quelli costruiti senza criteri antisismici, oltre ovviamente ai beni in essi presenti e alle persone.

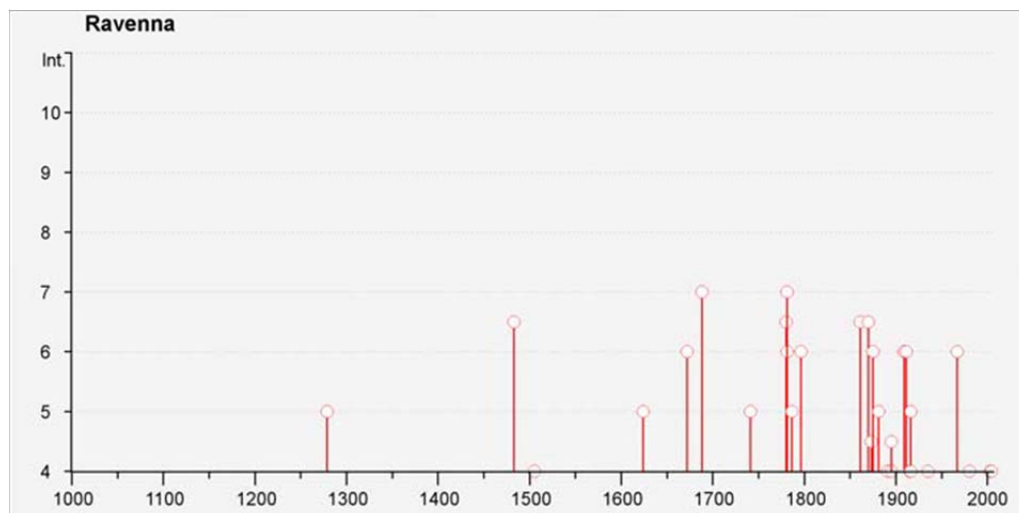
Nella *Tabella 6* sono stati riportati, rispettivamente, gli effetti risentiti nel comune di Ravenna così come estratti dal DBMI11, il Database delle Osservazioni Macrosismiche dei Terremoti Italiani utilizzate per la compilazione del Catalogo Parametrico CPTI11 (<http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/>); in *Figura 7* invece è stato riportato un grafico che evidenzia la distribuzione delle Intensità risentite al sito ( $I_s$ ) dei terremoti verificatesi.

**Tabella 6 - Catalogo sismico di sito dell'area di Ravenna. Dati modificati a partire da Gruppo di Lavoro CPTI, 2011 ( $I_o$  = intensità epicentrale;  $M_w$  = magnitudo;  $I_s$  = intensità risentita al sito)**

| $I_s$ | Anno Me Gi Or    | Area Epicentrale    | $I_o$ | $M_w$           |
|-------|------------------|---------------------|-------|-----------------|
| 5     | 1279 04 30       | Rocca San Casciano  | 7-8   | 5.55 $\pm$ 0.78 |
| NR    | 1308 01 25 17:15 | Rimini              | 7-8   | 5.35 $\pm$ 0.34 |
| F     | 1479 10 10 22:00 | Forlì               | 5     | 4.30 $\pm$ 0.34 |
| 6-7   | 1483 08 11 19:40 | Romagna Meridionale | 8     | 5.68 $\pm$ 0.40 |
| 4     | 1505 01 03 02:00 | Bolognese           | 8     | 5.57 $\pm$ 0.25 |
| F     | 1511 03 26 14:40 | Slovenia            | 9     | 6.98 $\pm$ 0.17 |
| 5     | 1624 03 19 19:45 | Argenta             | 7-8   | 5.47 $\pm$ 0.49 |
| 3     | 1661 03 22 12:50 | Appennino Romagnolo | 9     | 6.09 $\pm$ 0.16 |
| 6     | 1672 04 14 15:45 | Riminese            | 8     | 5.61 $\pm$ 0.21 |

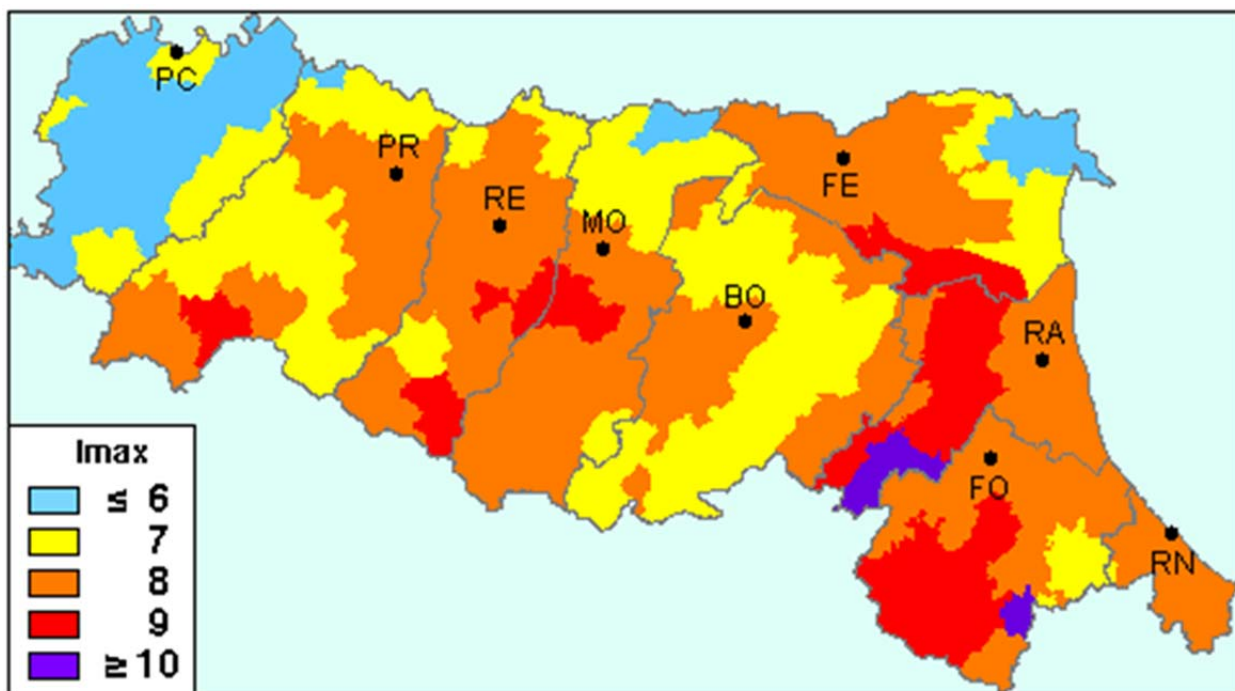
|     |                     |                             |      |            |
|-----|---------------------|-----------------------------|------|------------|
| 7   | 1688 04 11 12:20    | Romagna                     | 8-9  | 5.78 ±0.35 |
| F   | 1690 12 04 14:00    | Carinzia                    | 8-9  | 6.54 ±0.23 |
| F   | 1695 02 25 05:30    | Asolano                     | 10   | 6.48 ±0.18 |
| 5   | 1741 04 24 09:00    | Fabrianese                  | 9    | 6.21 ±0.13 |
| F   | 1778 06 11          | Forlì                       | 5-6  | 4.51 ±0.34 |
| 6-7 | 1780 05 25          | Ravenna                     | 5-6  | 4.51 ±0.34 |
| 6   | 1781 04 04 21:20    | Romagna                     | 9-10 | 5.94 ±0.17 |
| 3-4 | 1781 06 03          | Cagliese                    | 10   | 6.42 ±0.13 |
| 7   | 1781 07 17 09:40    | Romagna                     | 8    | 5.58 ±0.26 |
| 5   | 1786 12 25 01:00    | Riminese                    | 8    | 5.62 ±0.17 |
| 6   | 1796 10 22 04:00    | Emilia Orientale            | 7    | 5.61 ±0.36 |
| F   | 1810 12 25 00:45    | Novellara                   | 6    | 5.29 ±0.22 |
| F   | 1828 10 09 02:20    | Valle Staffora              | 8    | 5.76 ±0.15 |
| 6-7 | 1861 10 16          | Forlì                       | 6-7  | 5.10 ±0.48 |
| 6-7 | 1870 10 30 18:34    | Romagna                     | 8    | 5.58 ±0.27 |
| 4-5 | 1873 03 12 20:04    | Marche Meridionali          | 8    | 5.95 ±0.10 |
| 6   | 1875 03 17 23:51    | Romagna Sud-Orientale       |      | 5.93 ±0.16 |
| 5   | 1881 02 12          | Russi                       | 5-6  | 4.95 ±0.39 |
| 3   | 1881 02 14 09:00:30 | Bolognese                   |      |            |
| 4   | 1891 06 07 01:06:14 | Valle D'illasi              | 8-9  | 5.86 ±0.06 |
| 4   | 1895 03 23          | Comacchio                   | 6    | 4.74 ±0.31 |
| 4-5 | 1895 04 14 22:17    | Slovenia                    | 8    | 6.23 ±0.08 |
| 3   | 1895 05 18 19:55:12 | Fiorentino                  | 8    | 5.43 ±0.08 |
| 6   | 1909 01 13 00:45    | Bassa Padana                | 6-7  | 5.53 ±0.09 |
| 6   | 1911 02 19 07:18    | Romagna Meridionale         | 7    | 5.28 ±0.11 |
| 3   | 1913 07 21 22:35    | Valle Del Lamone            | 5-6  | 4.78 ±0.19 |
| 3   | 1914 10 27 09:22:36 | Garfagnana                  | 7    | 5.76 ±0.09 |
| 4   | 1915 01 13 06:52    | Avezzano                    | 11   | 7.00 ±0.09 |
| 5   | 1916 05 17 12:49:50 | Alto Adriatico              |      | 5.95 ±0.14 |
| 4   | 1916 08 16 07:06    | Alto Adriatico              |      | 6.14 ±0.14 |
| 2-3 | 1917 04 26 09:35:59 | Valtiberina                 | 9-10 | 5.89 ±0.11 |
| F   | 1926 01 01 18:04:06 | Slovenia                    | 7-8  | 5.85 ±0.18 |
| 3   | 1929 04 10 05:43:12 | Bolognese                   | 7    | 5.03 ±0.13 |
| 3-4 | 1930 10 30 07:13:13 | Senigallia                  | 8    | 5.81 ±0.09 |
| 3   | 1934 11 30 02:58:19 | Alto Adriatico              |      | 5.34 ±0.17 |
| 4   | 1935 06 05 11:48:02 | Faentino                    | 6    | 5.16 ±0.25 |
| 2   | 1956 04 26 03:00:03 | Appennino Tosco-Emiliano    | 6    | 4.77 ±0.14 |
| 2   | 1960 10 29 00:08:39 | Mugello                     | 7    | 4.97 ±0.15 |
| 6   | 1967 12 30 04:19:20 | Bassa Padana                | 6    | 5.24 ±0.19 |
| 3   | 1971 07 15 01:33:23 | Parmense                    | 8    | 5.64 ±0.09 |
| 4   | 1980 11 23 18:34:52 | Irpinia-Basilicata          | 10   | 6.89 ±0.09 |
| 3-4 | 1983 11 09 16:29:52 | Parmense                    | 6-7  | 5.06 ±0.09 |
| 2-3 | 1984 04 29 05:02:60 | Gubbio/Valfabbrica          | 7    | 5.65 ±0.09 |
| 2-3 | 1986 12 06 17:07:20 | Bondeno                     | 6    | 4.61 ±0.10 |
| 3-4 | 1996 10 15 09:56:02 | Correggio                   | 7    | 5.41 ±0.09 |
| 3   | 1998 03 26 16:26:17 | Appennino Umbro-Marchigiano | 6    | 5.29 ±0.09 |
| NF  | 2000 05 06 22:07:04 | Emilia Romagna              | 5    | 4.17 ±0.09 |

|    |                     |                     |     |            |
|----|---------------------|---------------------|-----|------------|
| NF | 2000 05 08 12:29:56 | Emilia Romagna      | 5   | 4.66 ±0.09 |
| NF | 2000 05 10 16:52:12 | Emilia Romagna      | 5-6 | 4.86 ±0.09 |
| 4  | 2003 09 14 21:42:53 | Appennino Bolognese | 6   | 5.29 ±0.09 |
| NF | 2003 12 07 10:20:33 | Zona Forlì          | 5   | 4.22 ±0.09 |
| 4  | 2004 11 24 22:59:38 | Lago Di Garda       | 7-8 | 5.06 ±0.09 |



**Figura 7** - Distribuzione delle intensità risentite al sito (*I<sub>s</sub>*) dei terremoti verificatisi nell'area di Ravenna dall'anno 1000 al 2002

Per un maggior approfondimento sono state valutate le Massime Intensità Macrosismiche a partire dalla banca dati macrosismici del GNDT e dai dati del Catalogo dei Forti Terremoti in Italia di ING/SGA; tali intensità vengono rappresentate in *Figura 8* ("Massime Intensità macrosismiche osservate nella Regione Emilia-Romagna", Molin, Stucchi, Valensise).



**Figura 8** - Massime Intensità Macrosismiche osservate nella Regione Emilia Romagna (Carta elaborata da D. Molin, M. Stucchi e G. Valensise per conto del Dipartimento della Protezione Civile)

Con riferimento alla suddetta *Figura 8* ed alla Tabella sotto riportata, le massime intensità macrosismiche osservate nel Comune interessato dalle opere in progetto sono  $I_{max}=8$  MCS.

| Comune                  | Re | Pr | Com | Lat      | Lon      | $I_{max}$ |
|-------------------------|----|----|-----|----------|----------|-----------|
| ALFONSINE               | 8  | 39 | 1   | 44.50451 | 12.04221 | 9         |
| BAGNACAVALLLO           | 8  | 39 | 2   | 44.41621 | 11.97670 | 9         |
| BAGNARA DI ROMAGNA      | 8  | 39 | 3   | 44.38877 | 11.82647 | 9         |
| BRISIGHELLA             | 8  | 39 | 4   | 44.22257 | 11.77531 | = 10      |
| CASOLA VALSENIO         | 8  | 39 | 5   | 44.22339 | 11.62468 | 9         |
| CASTEL BOLOGNESE        | 8  | 39 | 6   | 44.31874 | 11.79909 | 8         |
| CERVIA                  | 8  | 39 | 7   | 44.26259 | 12.35267 | 8         |
| CONSELICE               | 8  | 39 | 8   | 44.51258 | 11.83035 | 8         |
| COTIGNOLA               | 8  | 39 | 9   | 44.38405 | 11.93908 | 9         |
| FAENZA                  | 8  | 39 | 10  | 44.28791 | 11.88114 | 9         |
| FUSIGNANO               | 8  | 39 | 11  | 44.46738 | 11.96012 | 9         |
| LUGO                    | 8  | 39 | 12  | 44.41944 | 11.90987 | 9         |
| MASSA LOMBARDA          | 8  | 39 | 13  | 44.44590 | 11.82727 | 8         |
| <b>RAVENNA</b>          | 8  | 39 | 14  | 44.41711 | 12.19844 | 8         |
| RIOLO TERME             | 8  | 39 | 15  | 44.27555 | 11.72252 | 9         |
| RUSSI                   | 8  | 39 | 16  | 44.37090 | 12.03255 | 9         |
| SANT'AGATA SUL SANTERNO | 8  | 39 | 17  | 44.44119 | 11.86184 | 9         |
| SOLAROLO                | 8  | 39 | 18  | 44.35875 | 11.84846 | 8         |

Relativamente alle Massime Intensità Macrosismiche valutate a partire dalla banca dati macrosismici del GNDT e dai dati del Catalogo dei Forti Terremoti in Italia di ING/SGA (elaborato per il DPC a cura di D. Molin, M. Stucchi e G. Valensise) va sottolineato che ad ogni Comune è stato associato un valore di intensità massima osservata oppure "ponderata", espresso in una delle cinque classi seguenti:  $\leq 6$ , 7, 8, 9,  $\geq 10$  e che non si è ritenuto utile diffe-

renziare i valori al di sotto del 6° grado e al di sopra del 10°. I valori intermedi sono stati associati alla classe superiore (es.: 6/7 è stato considerato equivalente a 7); questa scelta, unitamente a quella di associare all'intero territorio comunale il valore massimo di intensità osservato in almeno una località appartenente al Comune stesso e di assegnare un valore "ponderato" nei casi in cui il record storico è molto incompleto, determina una rappresentazione tendenzialmente "pessimista" degli effetti dei terremoti del passato.