



Città Metropolitana di Bologna

Via Zamboni, 13 - 40126 Bologna (BO)

IL RUP:

P.I.E. Stefano Romagnoli

IL DIRETTORE DELL'ESECUZIONE DEL CONTRATTO:

Ing. Jonathan Manzi

## INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13 TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA

(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)

### PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

### ELABORATI GENERALI

-

### Relazione sismica

PROGETTAZIONE:  
Mandatara:

SYSTRA S.p.A.

Via della Stazione, 27 38123 Trento (TN), Italy - [www.systra.com/italy](http://www.systra.com/italy)

Mandanti:



SETECO Ingegneria S.r.l.

ITEC Engineering S.r.l.

|                |                    |                                                       |  |                                                          |  |
|----------------|--------------------|-------------------------------------------------------|--|----------------------------------------------------------|--|
| SCALA:<br>---  |                    | IL PROGETTISTA:<br><br>Ing. Geol. Massimo Pietrantoni |  | IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE: |  |
| FORMATO:<br>A4 | DATA:<br>Apr. 2026 |                                                       |  | Ing. Erica Calatozzo                                     |  |

| REV. | DESCRIZIONE | REDATTO   | DATA      | VERIFICATO     | DATA      | APPROVATO  | DATA     |
|------|-------------|-----------|-----------|----------------|-----------|------------|----------|
|      |             |           |           |                |           |            |          |
|      |             |           |           |                |           |            |          |
| r00  | Emissione   | F. Stella | Apr. 2026 | M. Pietrantoni | Apr. 2026 | M. Ravelli | Dic 2025 |

|                 |                       |           |        |             |      |
|-----------------|-----------------------|-----------|--------|-------------|------|
| CODICE PROGETTO | LIVELLO PROGETTAZIONE | TIPO DOC. | AMBITO | PROGRESSIVO | REV. |
| 25V025          | PF                    | R         | GT     | 101         | r00  |

|                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna<br><br>PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria),<br>SETECO INGEGNERIA S.r.l.<br>ITEC ENGINEERING S.r.l. | INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13<br>TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA<br>(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)<br><br>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA |
| ELABORATI GENERALI<br>Relazione sismica                                                                                                                        | CODICE PROGETTO<br><b>24V25</b><br>LIVELLO PROG.<br><b>PF</b><br>TIPO DOC.<br><b>R</b><br>AMBITO<br><b>GT</b><br>PROGRESSIVO<br><b>101</b><br>REV.<br><b>r00</b>                                |

## INDICE

|            |                                                                |           |
|------------|----------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1.</b>  | <b>PREMESSA</b>                                                | <b>4</b>  |
| <b>1.1</b> | <b>INTRODUZIONE</b>                                            | <b>4</b>  |
| <b>1.2</b> | <b>IDENTIFICAZIONE DEL PROGETTO</b>                            | <b>4</b>  |
| <b>2.</b>  | <b>RIFERIMENTI NORMATIVI E TECNICI</b>                         | <b>5</b>  |
| 2.1.1      | QUADRO NORMATIVO                                               | 5         |
| 2.1.2      | QUADRO NORMATIVO REGIONALE E COMUNALE                          | 5         |
| 2.1.3      | DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO                                  | 5         |
| <b>3.</b>  | <b>INQUADRAMENTO GEOGRAFICO</b>                                | <b>6</b>  |
| <b>4.</b>  | <b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO</b>                | <b>7</b>  |
| <b>4.1</b> | <b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO</b>                                 | <b>7</b>  |
| <b>4.2</b> | <b>INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO</b>           | <b>8</b>  |
| <b>4.3</b> | <b>INQUADRAMENTO SISMOTETTONICO E SISMICITÀ STORICA</b>        | <b>9</b>  |
| 4.3.1      | SORGENTI SISMOGENETICHE                                        | 9         |
| 4.3.2      | FAGLIE CAPACI                                                  | 10        |
| 4.3.3      | SISMICITÀ STORICA                                              | 11        |
| 4.3.4      | MAGNITUDO ATTESA                                               | 14        |
| <b>5.</b>  | <b>CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO</b>                  | <b>16</b> |
| <b>5.1</b> | <b>CLASSIFICAZIONE SISMICA SECONDO NORMATIVA NAZIONALE</b>     | <b>16</b> |
| <b>5.2</b> | <b>CLASSIFICAZIONE SISMICA SECONDO NORMATIVA REGIONALE</b>     | <b>17</b> |
| <b>5.3</b> | <b>MICROZONAZIONE SISMICA</b>                                  | <b>17</b> |
| <b>5.4</b> | <b>DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO E TOPOGRAFICA</b> | <b>18</b> |
| <b>5.5</b> | <b>INDAGINI SISMICHE DISPONIBILI</b>                           | <b>20</b> |
| <b>5.6</b> | <b>AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA E TOPOGRAFICA</b>              | <b>20</b> |
| 5.6.1      | AZIONI SISMICHE DI PROGETTO                                    | 21        |
| 5.6.1.1    | Vita nominale                                                  | 21        |
| 5.6.1.2    | Classe d'uso                                                   | 21        |
| 5.6.1.3    | Periodo di riferimento                                         | 22        |
| 5.6.1.4    | Caratteristiche sismiche del sito                              | 22        |
| <b>6.</b>  | <b>ANALISI DELLA SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE</b>             | <b>23</b> |
| <b>6.1</b> | <b>CONDIZIONI DI ESCLUSIONE DA VERIFICA A LIQUEFAZIONE</b>     | <b>24</b> |
| 6.1.1      | ACCELERAZIONE SISMICA                                          | 25        |
| 6.1.2      | PROFONDITÀ DELLA FALDA                                         | 25        |
| 6.1.3      | VALORI DI RESISTENZA PENETROMETRICA                            | 26        |
| 6.1.4      | GRANULOMETRIA                                                  | 26        |
| <b>6.2</b> | <b>VERIFICA A LIQUEFAZIONE</b>                                 | <b>27</b> |
| 6.2.1      | METODOLOGIA DI ANALISI                                         | 27        |

|                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                 |                            |                       |                     |                           |                    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------|---------------------|---------------------------|--------------------|
| STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna<br><br>PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria),<br>SETECO INGEGNERIA S.r.l.<br>ITEC ENGINEERING S.r.l. | INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13<br>TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA<br>(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)<br><br>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA |                            |                       |                     |                           |                    |
| ELABORATI GENERALI<br>Relazione sismica                                                                                                                        | CODICE PROGETTO<br><b>24V25</b>                                                                                                                                                                 | LIVELLO PROG.<br><b>PF</b> | TIPO DOC.<br><b>R</b> | AMBITO<br><b>GT</b> | PROGRESSIVO<br><b>101</b> | REV.<br><b>r00</b> |

|            |                                                                           |           |
|------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 6.2.2      | CRR DA PROVE SPT                                                          | 28        |
| 6.2.3      | CRR DA PROVE GEOFISICHE                                                   | 29        |
| 6.2.4      | CRR DA PROVE CPT                                                          | 30        |
| 6.2.5      | EFFETTO DELLA TENSIONE DI CONFINAMENTO                                    | 31        |
| 6.2.6      | CALCOLO DEL FATTORE DI SICUREZZA E DELL'INDICE DI POTENZIALE LIQUEFAZIONE | 32        |
| 6.2.7      | PARAMETRI SISMICI                                                         | 33        |
| <b>6.3</b> | <b>VERIFICA A LIQUEFAZIONE SPONDA DESTRA</b>                              | <b>34</b> |
| 6.3.1      | CRR DA PROVE SPT                                                          | 34        |
| 6.3.2      | CRR DA PROVE GEOFISICHE                                                   | 34        |
| 6.3.3      | CRR DA PROVE CPT                                                          | 34        |
| <b>6.4</b> | <b>VERIFICA A LIQUEFAZIONE SPONDA SINISTRA</b>                            | <b>35</b> |
| 6.4.1      | CRR DA PROVE SPT                                                          | 35        |
| 6.4.2      | CRR DA PROVE GEOFISICHE                                                   | 35        |
| 6.4.3      | CRR DA PROVE CPT                                                          | 35        |
| <b>6.5</b> | <b>TABELLA RIEPILOGATIVA DEI RISULTATI</b>                                | <b>36</b> |
| <b>6.6</b> | <b>CONCLUSIONI</b>                                                        | <b>36</b> |
| <b>6.7</b> | <b>STIMA DEI CEDIMENTI POST LIQUEFAZIONE</b>                              | <b>36</b> |
| <b>7.</b>  | <b>ALLEGATI</b>                                                           | <b>38</b> |
| <b>7.1</b> | <b>VERIFICA A LIQUEFAZIONE DA PROVE SPT</b>                               | <b>38</b> |
| <b>7.2</b> | <b>VERIFICA A LIQUEFAZIONE DA PROVE GEOFISICHE</b>                        | <b>39</b> |
| <b>7.3</b> | <b>VERIFICA A LIQUEFAZIONE DA PROVE CPT</b>                               | <b>42</b> |
| <b>7.4</b> | <b>STIMA DEI CEDIMENTI POST LIQUEFAZIONE</b>                              | <b>46</b> |

|                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna<br>PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria),<br>SETECO INGEGNERIA S.r.l.<br>ITEC ENGINEERING S.r.l. | INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13<br>TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA<br>(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)<br><br>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA |
| ELABORATI GENERALI<br>Relazione sismica                                                                                                                    | CODICE PROGETTO<br><b>24V25</b><br>LIVELLO PROG.<br><b>PF</b><br>TIPO DOC.<br><b>R</b><br>AMBITO<br><b>GT</b><br>PROGRESSIVO<br><b>101</b><br>REV.<br><b>r00</b>                                |

# 1. PREMESSA

## 1.1 Introduzione

Il presente documento rappresenta la relazione sismica del Progetto di Fattibilità Tecnico Economica (PFTE) dei servizi di supporto alla progettazione e all’esecuzione dei lavori relativo all’intervento di “RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SULLA S.P. 6 AL KM 13 TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA” - CUP C51B23000440001 (ALLUVIONE MAGGIO 2023 - 2024VIMASNC25).

Questa relazione è stata sviluppata sulla base di dati bibliografici e dei dati delle indagini eseguite nel 2024, con lo scopo di integrare il quadro conoscitivo fornito nella fase progettuale precedente e da fornire una modellazione sismica plausibile per i siti in oggetto. I risultati dello studio costituiscono dati di progetto per il dimensionamento delle opere previste nell’area in esame.

Nella presente relazione sono trattati i seguenti argomenti:

- Introduzione;
- Riferimenti normativi e tecnici;
- Inquadramento geografico e morfologico;
- Inquadramento geologico ed idrogeologico;
- Inquadramento sismotettonico e sismicità storica;
- Classificazione sismica del territorio;
- Analisi del potenziale di liquefazione.

## 1.2 Identificazione del progetto

I dati principali del progetto sono riportati nella tabella seguente:

| TIPOLOGIA MODELLO<br>DISCIPLINARE                                                    | CONTENUTO MODELLO                                                                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| CUP                                                                                  | C51B23000440001                                                                        |
| Denominazione opera                                                                  | ID 0060075 Ponte Torrente Idice km 11,776                                              |
| Codice PBM                                                                           | 2024VIMASNC25                                                                          |
| Stazione Appaltante                                                                  | Città Metropolitana di Bologna (CMBO)                                                  |
| RUP                                                                                  | P.i.E. Stefano Romagnoli                                                               |
| Localizzazione geografica<br>dell'intervento                                         | S.P. 6 “Zenzalino” al Km 11,776 tra i Comuni di Budrio e Molinella                     |
| Descrizione del progetto                                                             | RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SULLA S.P. 6 AL KM 13 TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA |
| Identificazione della fase di<br>incarico (come da Codice dei<br>Contratti Pubblici) | PFTE                                                                                   |

|                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna<br><br>PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria),<br>SETECO INGEGNERIA S.r.l.<br>ITEC ENGINEERING S.r.l. | INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13<br>TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA<br>(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)<br><br>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA |
| ELABORATI GENERALI<br>Relazione sismica                                                                                                                        | CODICE PROGETTO<br><b>24V25</b><br>LIVELLO PROG.<br><b>PF</b><br>TIPO DOC.<br><b>R</b><br>AMBITO<br><b>GT</b><br>PROGRESSIVO<br><b>101</b><br>REV.<br><b>r00</b>                                |

**Tabella 1: Identificazione del Progetto**

## 2. RIFERIMENTI NORMATIVI E TECNICI

### 2.1.1 Quadro normativo

- Decreto Ministeriale n. 47 (11/3/1988). "Norme Tecniche riguardanti le indagini su terreni e sulle rocce; i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";
- Istruzioni relative alle "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione" - Cir. Dir. Cen. Tecn. n° 97/81;
- OPCM n. 3316. "Modifiche ed integrazioni all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20.03.03";
- OPCM n.3274 del 08/05/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" e relativi allegati e s.m.i.;
- D. M. del 17 gennaio 2018 – Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni";
- Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018;
- UNI EN 1997-1:2005 Parte 1: Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Regole generali;
- UNI EN 1998-5:2005 Parte 5: Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici;
- OPCM n.3519 del 28 aprile 2006 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone";
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici: Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale – Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007;
- AGI (2005): Raccomandazioni sugli Aspetti Geotecnici della Progettazione in Zona Sismica.

### 2.1.2 Quadro normativo regionale e comunale

- D.G.R. n. 146 del 06/02/2023 – Aggiornamento della classificazione sismica dell'Emilia-Romagna;
- L.R. n. 19 del 30/10/2008 - Norme per la riduzione del rischio sismico.

### 2.1.3 Documentazione di riferimento

- ISPRA, Carte geologica d'Itali, scala 1:50.000, Foglio 221 Bologna;
- Piano Comunale Strutturale (PSC) comune di Budrio (Bo);
- Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) della provincia di Bologna;
- ITHACA Working Group (2019). ITHACA (ITaLY HAZard from CApable faulting), A database of active capable faults of the Italian territory. Version December 2019.
- DISS Working Group (2025). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.3.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and

|                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                 |                     |                |              |                    |             |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------|--------------|--------------------|-------------|
| STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna<br><br>PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria),<br>SETECO INGEGNERIA S.r.l.<br>ITEC ENGINEERING S.r.l. | INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13<br>TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA<br>(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)<br><br>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA |                     |                |              |                    |             |
| ELABORATI GENERALI<br>Relazione sismica                                                                                                                        | CODICE PROGETTO<br>24V25                                                                                                                                                                        | LIVELLO PROG.<br>PF | TIPO DOC.<br>R | AMBITO<br>GT | PROGRESSIVO<br>101 | REV.<br>r00 |

surrounding areas. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).  
<https://doi.org/10.13127/diss3.3.1>.

### 3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il sito in oggetto è ubicato in Pianura Padana sulla Strada Provinciale 6, località La Motta, presso il comune di Budrio (BO). L'area di studio è pianeggiante, con una leggera pendenza verso Nord-Est e con quote comprese tra 10 e 17 m.s.l.m. (Figura 1).



**Figura 1.: Inquadramento geografico dell'area di intervento.**

Il progetto prevede, in sintesi:

- Un ponte a campata unica di circa 210 m di luce;
- Due rampe di accesso a profilo asimmetrico, con rilevati di altezza massima pari a circa 15 m;
- Pali tronco-conici infissi al piede di entrambi i rilevati, nel lato di altezza maggiore (Sud-Est);
- Muri di sottoscampa, di altezza massima pari a circa 8 m, sul lato di altezza minore (Nord-Ovest), su entrambi i rilevati;
- Opere accessorie quali viabilità secondaria, tombini e fossi di scolo etc.

|                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                 |                     |                |              |                    |             |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------|--------------|--------------------|-------------|
| STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna<br><br>PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria),<br>SETECO INGEGNERIA S.r.l.<br>ITEC ENGINEERING S.r.l. | INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13<br>TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA<br>(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)<br><br>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA |                     |                |              |                    |             |
| ELABORATI GENERALI<br>Relazione sismica                                                                                                                        | CODICE PROGETTO<br>24V25                                                                                                                                                                        | LIVELLO PROG.<br>PF | TIPO DOC.<br>R | AMBITO<br>GT | PROGRESSIVO<br>101 | REV.<br>r00 |

## 4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

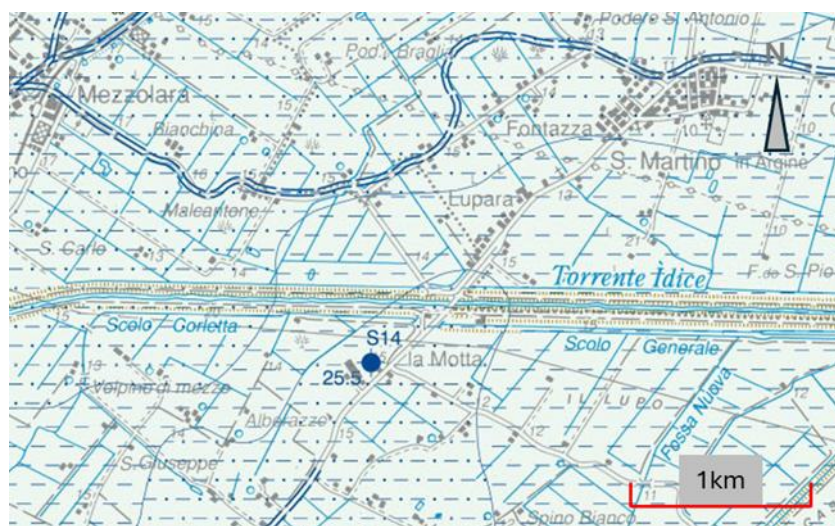
### 4.1 Inquadramento geologico

Nell'area in oggetto gli eventi geologici che hanno definito l'assetto geologico attuale possono essere considerati a partire dal Pleistocene medio, quando l'orogenesi appenninica ha comportato l'instaurazione di un regime di deposizione continentale ed è iniziata la sedimentazione di una successione di depositi a carattere regressivo, con alla base sabbie e peliti torbiditiche seguite da un prisma sedimentario fluvio-deltizio, progradante, ricoperto al tetto da depositi continentali.

Al contempo, si è instaurato un contesto geodinamico caratterizzato da una tettonica a stile compressivo, che ha determinato un generale raccorciamento del margine appenninico e della sequenza sedimentaria padana. Le strutture tettoniche sono sepolte per circa una quarantina di chilometri, fino a Nord di Ferrara, e sono costituita da un sistema di faglie inverse con superfici di sovrascorrimento a basso angolo, con inclinazioni comprese tra 20° e 30°, immergenti verso S-SO.

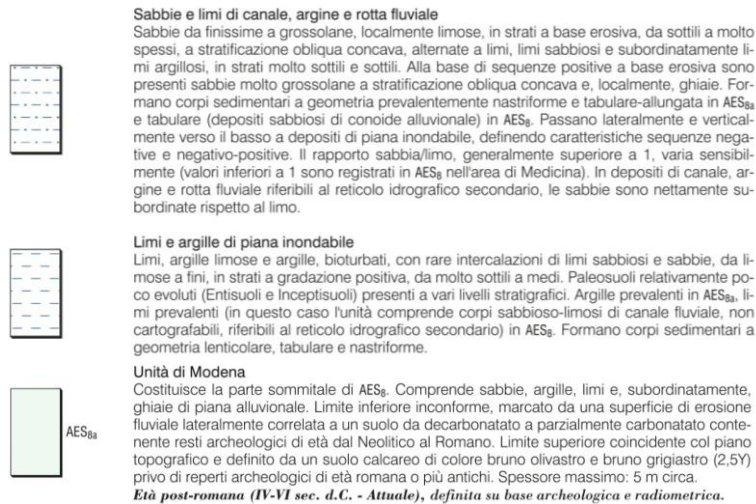
Le unità affioranti nell'area in oggetto sono state ricostruite facendo riferimento alla cartografia del Progetto CARG, Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, foglio 221 Bologna, che utilizza una suddivisione geologica delle unità basata sulla stratigrafia sequenziale, ossia su un metodo stratigrafico che utilizza le discontinuità e le superfici di continuità ad esse correlabili, per suddividere la successione sedimentaria in sequenze deposizionali; tali unità appartengono al Supersistema Emiliano Romagnolo. Questo Supersistema è articolato in due sintemi: il Sintema Emiliano-Romagnolo inferiore (AEI), ed il Sintema Emiliano-Romagnolo superiore (AES). Si tratta di depositi alluvionali formati dall'attività deposizionale del fiume Po e dei suoi affluenti. I depositi che appartengono al sintema inferiore sono prevalentemente costituiti da argille limose di piana alluvionale con intercalazioni di sabbie di canale e ghiaie di conoide alluvionale.

Secondo la Carta Geologica d'Italia, l'unica Unità Geologica affiorante è l'Unità di Modena (AES8a, v. Figura 2), di età post-romana, dal IV-VI sec. d.C. all'Attuale, che appartiene al Sintema Emiliano-Romagnolo superiore. L'Unità comprende sabbie, argille, limi e subordinatamente, ghiaie di piana alluvionale. Il limite inferiore è inconforme ed è marcato da una superficie di erosione fluviale lateralmente correlata a un suolo decarbonato a parzialmente carbonato. Il limite superiore è coincidente con il piano topografico e definito da un suolo calcareo bruno olivastro o bruno grigiastro.



|                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna<br><br>PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria),<br>SETECO INGEGNERIA S.r.l.<br>ITEC ENGINEERING S.r.l. | INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13<br>TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA<br>(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)<br><br>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA |
| ELABORATI GENERALI<br>Relazione sismica                                                                                                                        | CODICE PROGETTO<br><b>24V25</b><br><br>LIVELLO PROG.<br><b>PF</b><br><br>TIPO DOC.<br><b>R</b><br><br>AMBITO<br><b>GT</b><br><br>PROGRESSIVO<br><b>101</b><br><br>REV.<br><b>r00</b>            |

### Legenda



**Figura 2.: Stralcio della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 - Foglio 221 "Bologna" (Fonte: ISPRA Servizio Geologico d'Italia). Stralcio non in scala.**

Nell'area dell'Opera in oggetto, soprattutto in destra idrografica, il sistema deposizionale e la litologia dell'Unità di Modena sono rappresentati da sabbie e limi di canale, argine e rotta fluviale. Si tratta di sabbie da finissime a grossolane, localmente limose, in strati a base erosiva, da sottili a molto spessi, a stratificazione obliqua concava, alternate a limi sabbiosi e subordinatamente a limi argillosi, in strati molto sottili e sottili. Alla base sono presenti sabbie grossolane a stratificazione obliqua concava e, localmente, ghiaie. Formano corpi sedimentari a geometria prevalentemente nastriforme e tabulare-allungata. Passano lateralmente e verticalmente verso il basso a depositi di piana inondabile, definendo caratteristiche sequenze negative e negativo-positive. Il rapporto sabbia/limo varia sensibilmente ma generalmente è maggiore di 1. Nei depositi di canale, argine e rotta fluviale riferibile al reticolo idrografico secondario, i limi sono nettamente prevalenti rispetto alle sabbie.

Nelle aree immediatamente adiacenti e soprattutto in sinistra idrografica prevalgono i limi e argille di piana inondabile: si tratta di corpi sedimentari di geometria lenticolare, tabulare e nastriforme costituiti da argille limose e argille e limi, bioturbati, con rare intercalazioni di limi sabbiosi e sabbie, da limose a fini.

## 4.2 Inquadramento geomorfologico ed idrogeologico

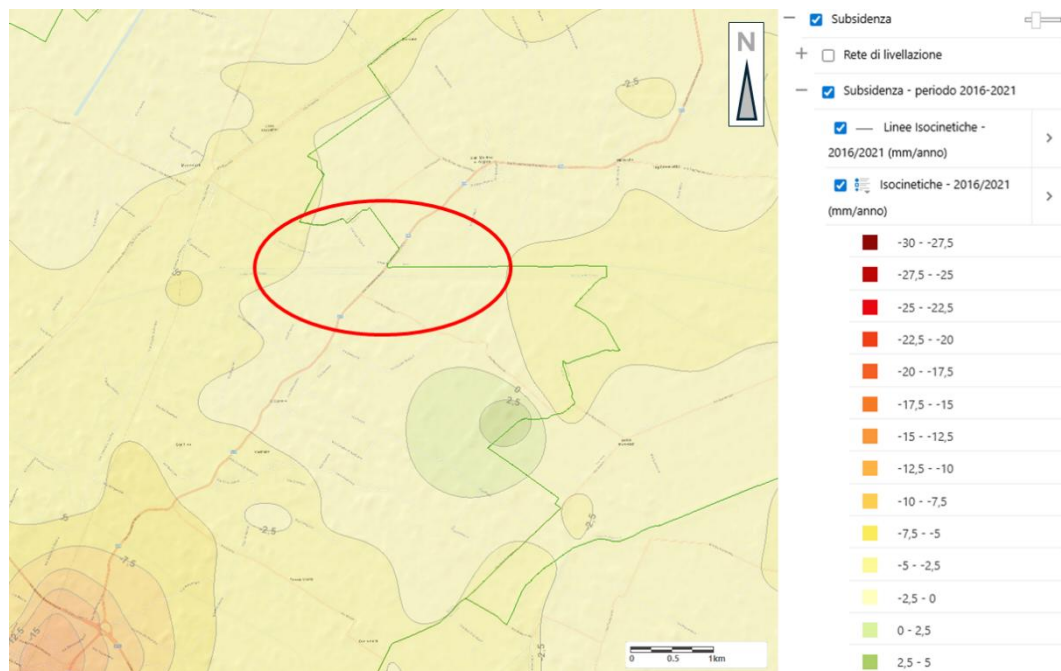
Dal punto di vista geomorfologico, l'area ricade nel settore di passaggio tra la media e la bassa Pianura Padana caratterizzato da moderate ondulazioni che degradano progressivamente verso Nord, ad una quota media di 15 m s.l.m., in una zona pressoché pianeggiante o a bassissima acclività. La morfologia superficiale ha risentito anche dell'intervento antropico, soprattutto sotto forma di presenza di vari fossi e canali, che nelle fasi di tracimazione e sedimentazione hanno depositato lenti alluvionali interdigitate tra loro, contribuendo all'andamento sub-orizzontale e leggermente ondulato della zona.

L'idrografia superficiale primaria è rappresentata dal Torrente Idice, mentre quella secondaria da fossi di scolo che raccolgono le acque di precipitazione. La naturale idrografia e idrologia dell'area ha risentito molto delle necessità agricole che hanno modificato la naturale disposizione dei fossi di scolo in relazione alle particelle agricole. L'acquifero, in generale, può essere classificato come multi-falda,

|                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                 |                     |                |              |                    |             |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------|--------------|--------------------|-------------|
| STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna<br><br>PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria),<br>SETECO INGEGNERIA S.r.l.<br>ITEC ENGINEERING S.r.l. | INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13<br>TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA<br>(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)<br><br>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA |                     |                |              |                    |             |
| ELABORATI GENERALI<br>Relazione sismica                                                                                                                        | CODICE PROGETTO<br>24V25                                                                                                                                                                        | LIVELLO PROG.<br>PF | TIPO DOC.<br>R | AMBITO<br>GT | PROGRESSIVO<br>101 | REV.<br>r00 |

con una falda superficiale e con altre falde, localmente in pressione e intercomunicanti, data la discontinuità degli orizzonti trasmissivi e di quelli meno permeabili. L'alimentazione delle falde in pressione avviene prevalentemente per infiltrazione da monte, quindi da Sud-Ovest, mentre quella delle falde superficiale è per infiltrazione diretta. Nel sito in esame l'acquifero presenta una soggiacenza compresa tra 8,5 e 11 m dal p.c..

A partire dal 1950 tutto il territorio della pianura emiliana è stato interessato da un abbassamento del suolo, con valori diversi da zona a zona, che è stato messo in relazione con l'intensificarsi dello sfruttamento delle risorse idriche sotterranee per fini idropotabili ed industriali. Per una pianura alluvionale come quella in oggetto, i valori di subsidenza naturali attesi sono dell'ordine di 1÷3 mm/anno. Nell'area di progetto si sono registrati, tra il 2016 ed il 2021, velocità di movimento verticale del suolo inferiori a 2.5 mm/anno (dati Arpa Emilia-Romagna, Figura 3), quindi in linea con le attese.



**Figura 3.: Subsidenza nel periodo 2016-2021. Valori in velocità di spostamento verticale annuo. Dal portale dell'Arpa Regione Emilia-Romagna.**

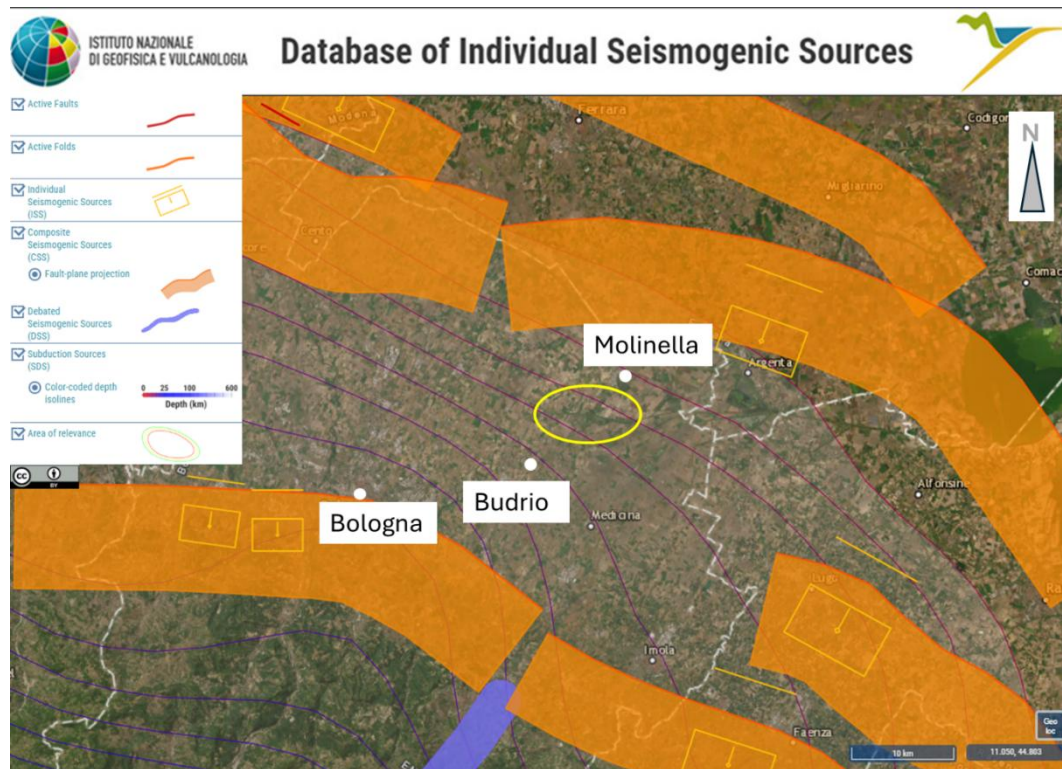
### 4.3 Inquadramento sismotettonico e sismicità storica

Le caratteristiche sismiche generali sono desunte da dati di bibliografia e dalla Relazione geologica di DOCFAP. La sismicità è storicamente concentrata lungo i sovrascorrimenti sepolti sotto i depositi della Pianura Padana.

#### 4.3.1 Sorgenti sismogenetiche

L'attività sismica di maggior interesse e vicinanza per l'area di studio è concentrata lungo due sorgenti sismogenetiche composite (CSS); a Sud, quella denominata "Castelvetro di Modena-Castel San Pietro Terme" (codice ITCS047) ed a Nord la "Malalbergo-Ravenna" (codice ITCS012), al cui interno si trova la sorgente individuale (ISS) con profondità stimata tra 3 e 6,2 km, denominata "Argenta" (codice ITIS141).

|                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                 |                     |                |              |                    |             |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------|--------------|--------------------|-------------|
| STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna<br><br>PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria),<br>SETECO INGEGNERIA S.r.l.<br>ITEC ENGINEERING S.r.l. | INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13<br>TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA<br>(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)<br><br>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA |                     |                |              |                    |             |
| ELABORATI GENERALI<br>Relazione sismica                                                                                                                        | CODICE PROGETTO<br>24V25                                                                                                                                                                        | LIVELLO PROG.<br>PF | TIPO DOC.<br>R | AMBITO<br>GT | PROGRESSIVO<br>101 | REV.<br>r00 |



**Figura 4.:** Localizzazione delle potenziali sorgenti di terremoti con  $M > 5.5$  nell'area di studio (da DISS Working group 2025, Database of Individual Seismogenic Sources, <https://diss.ingv.it/mapper>).

#### 4.3.2 Faglie capaci

Il Catalogo delle faglie capaci, dal database ITHACA (ITaly HAZard from CAPable faults) dell'ISPRA, indica la presenza di tre faglie con meccanismo inverso, sepolte sotto i sedimenti della Pianura Padana, con direzioni generalmente Ovest-Nord-Ovest – Est-Sud-Est, quindi sub-parallele al margine appenninico, ed immersione verso Sud-Sud-Ovest. La traccia di una di queste faglie, denominata “Mezzolana-Bologna” (codice 93773), si trova a circa 1,5 km dall'area di studio.

|                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                         |                 |               |             |        |             |      |       |    |   |    |     |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------|-------------|--------|-------------|------|-------|----|---|----|-----|-----|
| <div>STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna</div> <div>PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandatara),<br/>SETECO INGEGNERIA S.r.l.<br/>ITEC ENGINEERING S.r.l.</div> | <div>INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13<br/>TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA<br/>(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)</div> <div>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA</div>        |                 |               |             |        |             |      |       |    |   |    |     |     |
| <div>ELABORATI GENERALI</div> <div>Relazione sismica</div>                                                                                                                     | <table><tr><td>CODICE PROGETTO</td><td>LIVELLO PROG.</td><td>TIPO DOC.</td><td>AMBITO</td><td>PROGRESSIVO</td><td>REV.</td></tr><tr><td>24V25</td><td>PF</td><td>R</td><td>GT</td><td>101</td><td>r00</td></tr></table> | CODICE PROGETTO | LIVELLO PROG. | TIPO DOC.   | AMBITO | PROGRESSIVO | REV. | 24V25 | PF | R | GT | 101 | r00 |
| CODICE PROGETTO                                                                                                                                                                | LIVELLO PROG.                                                                                                                                                                                                           | TIPO DOC.       | AMBITO        | PROGRESSIVO | REV.   |             |      |       |    |   |    |     |     |
| 24V25                                                                                                                                                                          | PF                                                                                                                                                                                                                      | R               | GT            | 101         | r00    |             |      |       |    |   |    |     |     |



**Figura 5.: Ubicazione delle faglie capaci nell'area di studio, dal database ITHACA**  
<https://sgi.isprambiente.it/ithaca/viewer/index.html>.

#### 4.3.3 Sismicità storica

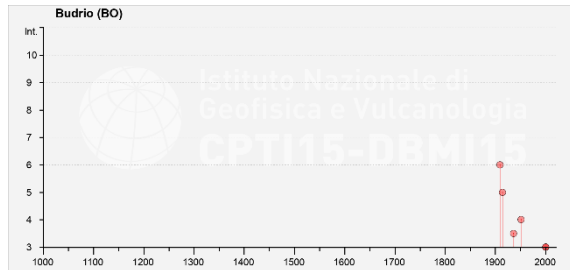
Consultando i dati storici provenienti dal Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15, Rovida et al., 2022) e ai dati strumentali estratti dal Database Macrosismico Italiano versione DBMI15 (Locati et al., 2022), la distribuzione e le caratteristiche della sismicità storica e strumentale dell'area di progetto sono ben conosciute.

I dati estratti da questi database mostrano che le intensità massime registrate sono dell'ordine di VI-VII MCS (v. 06 e sgg.).

|                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna<br><br>PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria),<br>SETECO INGEGNERIA S.r.l.<br>ITEC ENGINEERING S.r.l. | INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13<br>TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA<br>(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)<br><br>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA                           |
| ELABORATI GENERALI<br>Relazione sismica                                                                                                                        | <div>CODICE PROGETTO<br/><b>24V25</b></div> <div>LIVELLO PROG.<br/><b>PF</b></div> <div>TIPO DOC.<br/><b>R</b></div> <div>AMBITO<br/><b>GT</b></div> <div>PROGRESSIVO<br/><b>101</b></div> <div>REV.<br/><b>r00</b></div> |

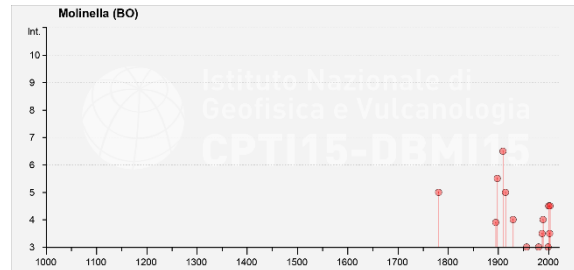
#### Budrio

PlaceID IT\_39330  
Coordinate (lat, lon) 44.537, 11.536  
Comune (ISTAT 2015) Budrio  
Provincia Bologna  
Regione Emilia-Romagna  
Numero di eventi riportati 20



#### Molinella

PlaceID IT\_39943  
Coordinate (lat, lon) 44.621, 11.670  
Comune (ISTAT 2015) Molinella  
Provincia Bologna  
Regione Emilia-Romagna  
Numero di eventi riportati 19



**Figura 6.: Istogramma degli eventi sismici registrati nei Comuni di Budrio (a sinistra) e Molinella (a destra), da INGV CPTI15-DBMI15.**

| Effetti | In occasione del terremoto del                                                                       |  |  |  |  |  |                          |      |     |      |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--------------------------|------|-----|------|
| Int.    | Anno Me Gi Ho Mi Se                                                                                  |  |  |  |  |  | Area epicentrale         | NMDP | Io  | Mw   |
| NF      |  1892 08 09 07 58 |  |  |  |  |  | Valle d'Alpone           | 160  | 6-7 | 4.91 |
| NF      |  1895 03 23       |  |  |  |  |  | Comacchio                | 33   | 6   | 4.65 |
| NF      |  1904 11 17 05 02 |  |  |  |  |  | Pistoiese                | 204  | 7   | 5.10 |
| 6       |  1909 01 13 00 45 |  |  |  |  |  | Emilia Romagna orientale | 867  | 6-7 | 5.36 |
| NF      |  1913 07 21 22 35 |  |  |  |  |  | Appennino romagnolo      | 43   | 5-6 | 4.79 |
| NF      |  1913 11 25 20 55 |  |  |  |  |  | Appennino parmense       | 73   | 4-5 | 4.65 |
| 5       |  1914 10 27 09 22 |  |  |  |  |  | Lucchesia                | 660  | 7   | 5.63 |
| 2-3     |  1930 10 24 00 52 |  |  |  |  |  | Appennino tosco-emiliano | 12   | 4   | 3.97 |
| SF      |  1930 10 26 07 14 |  |  |  |  |  | Appennino tosco-emiliano | 14   | 4   | 4.21 |
| 3-4     |  1936 10 18 03 10 |  |  |  |  |  | Alpago Cansiglio         | 269  | 9   | 6.06 |
| 4       |  1951 05 15 22 54 |  |  |  |  |  | Lodigiano                | 179  | 6-7 | 5.17 |

|                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna<br>PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria),<br>SETECO INGEGNERIA S.r.l.<br>ITEC ENGINEERING S.r.l. | INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13<br>TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA<br>(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)<br><br>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA |
| ELABORATI GENERALI<br>Relazione sismica                                                                                                                    | CODICE PROGETTO<br><b>24V25</b><br>LIVELLO PROG.<br><b>PF</b><br>TIPO DOC.<br><b>R</b><br>AMBITO<br><b>GT</b><br>PROGRESSIVO<br><b>101</b><br>REV.<br><b>r00</b>                                |

| Effetti | In occasione del terremoto del     |                    |      |     |      |  |
|---------|------------------------------------|--------------------|------|-----|------|--|
| Int.    | Anno Me Gi Ho Mi Se                | Area epicentrale   | NMDP | Io  | Mw   |  |
| NF      | <a href="#">1965 11 09 15 35</a>   | Appennino reggiano | 32   | 5   | 4.17 |  |
| 2-3     | <a href="#">1986 12 06 17 07 1</a> | Ferrarese          | 604  | 6   | 4.43 |  |
| 2-3     | <a href="#">1987 05 02 20 43 5</a> | Reggiano           | 802  | 6   | 4.71 |  |
| 3       | <a href="#">2000 05 06 22 07 0</a> | Faentino           | 85   | 5   | 4.08 |  |
| 3       | <a href="#">2000 05 08 12 29 5</a> | Faentino           | 126  | 5   | 4.67 |  |
| NF      | <a href="#">2000 05 10 16 52 1</a> | Faentino           | 151  | 5-6 | 4.82 |  |
| NF      | <a href="#">2002 11 02 10 57 4</a> | Ferrarese          | 79   | 4   | 4.21 |  |
| NF      | <a href="#">2003 12 07 10 20 3</a> | Forlivese          | 165  | 5   | 4.18 |  |
| NF      | <a href="#">2005 07 15 15 17 1</a> | Forlivese          | 173  | 4-5 | 4.29 |  |

**Tabella 2: Sismicità storica del Comune di Budrio, da INGV CPTI15-DBMI15.**

| Effetti | In occasione del terremoto del   |                          |      |     |      |  |
|---------|----------------------------------|--------------------------|------|-----|------|--|
| Int.    | Anno Me Gi Ho Mi Se              | Area epicentrale         | NMDP | Io  | Mw   |  |
| 5       | <a href="#">1781 07 17 09 40</a> | Faentino                 | 46   | 8   | 5.61 |  |
| F       | <a href="#">1895 03 23</a>       | Comacchio                | 33   | 6   | 4.65 |  |
| 5-6     | <a href="#">1898 01 16 13 10</a> | Romagna settentrionale   | 110  | 6   | 4.59 |  |
| 6-7     | <a href="#">1909 01 13 00 45</a> | Emilia Romagna orientale | 867  | 6-7 | 5.36 |  |
| 5       | <a href="#">1914 10 27 09 22</a> | Lucchesia                | 660  | 7   | 5.63 |  |
| 4       | <a href="#">1929 04 20 01 10</a> | Bolognese                | 109  | 7   | 5.36 |  |

|                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna<br>PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandatara),<br>SETECO INGEGNERIA S.r.l.<br>ITEC ENGINEERING S.r.l. | INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13<br>TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA<br>(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)<br><br>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA |
| ELABORATI GENERALI<br>Relazione sismica                                                                                                                   | CODICE PROGETTO<br><b>24V25</b><br>LIVELLO PROG.<br><b>PF</b><br>TIPO DOC.<br><b>R</b><br>AMBITO<br><b>GT</b><br>PROGRESSIVO<br><b>101</b><br>REV.<br><b>r00</b>                                |

| Effetti | In occasione del terremoto del       |                     |      |     |      |
|---------|--------------------------------------|---------------------|------|-----|------|
| Int.    | Anno Me Gi Ho Mi Se                  | Area epicentrale    | NMDP | Io  | Mw   |
| 3       | <a href="#">📅</a> 1956 02 20 01 29 4 | Argenta             | 17   | 5-6 | 4.96 |
| 3       | <a href="#">📅</a> 1980 11 23 18 34 5 | Irpinia-Basilicata  | 1394 | 10  | 6.81 |
| NF      | <a href="#">📅</a> 1986 12 06 17 07 1 | Ferrarese           | 604  | 6   | 4.43 |
| 3-4     | <a href="#">📅</a> 1987 05 02 20 43 5 | Reggiano            | 802  | 6   | 4.71 |
| 4       | <a href="#">📅</a> 1989 09 13 21 54 0 | Prealpi Vicentine   | 779  | 6-7 | 4.85 |
| 3       | <a href="#">📅</a> 1999 01 25 22 45 5 | Appennino forlivese | 97   | 5   | 4.36 |
| NF      | <a href="#">📅</a> 2000 05 06 22 07 0 | Faentino            | 85   | 5   | 4.08 |
| NF      | <a href="#">📅</a> 2000 05 08 12 29 5 | Faentino            | 126  | 5   | 4.67 |
| 4-5     | <a href="#">📅</a> 2000 05 10 16 52 1 | Faentino            | 151  | 5-6 | 4.82 |
| 3-4     | <a href="#">📅</a> 2002 11 02 10 57 4 | Ferrarese           | 79   | 4   | 4.21 |
| 4-5     | <a href="#">📅</a> 2003 09 14 21 42 5 | Appennino bolognese | 133  | 6   | 5.24 |
| NF      | <a href="#">📅</a> 2003 12 07 10 20 3 | Forlivese           | 165  | 5   | 4.18 |
| NF      | <a href="#">📅</a> 2005 07 15 15 17 1 | Forlivese           | 173  | 4-5 | 4.29 |

**Tabella 3: Sismicità storica del Comune di Molinella, da INGV CPTI15-DBMI15.**

#### 4.3.4 Magnitudo attesa

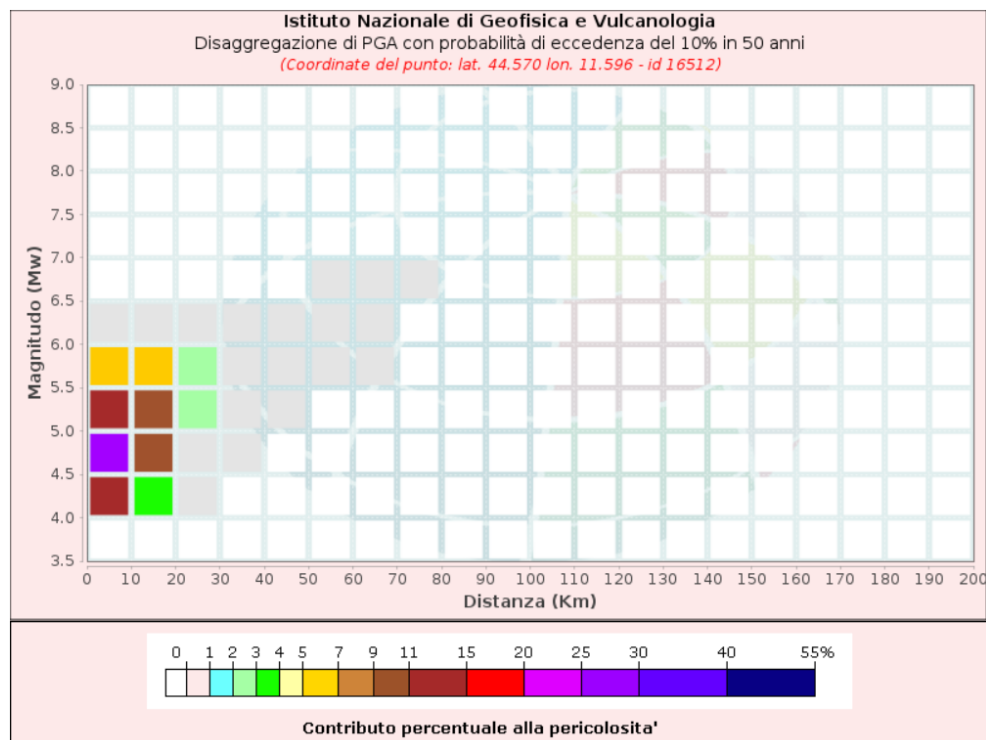
L'accelerazione di picco  $a_{max}$  da approccio probabilistico (e quindi relativa ad un certo TR) è il risultato non di un singolo valore di magnitudo, bensì del contributo delle differenti magnitudo che concorrono alla pericolosità di un sito. Per la determinazione della Magnitudo rappresentativa dell'area in esame, si è fatto ricorso al metodo della disaggregazione di  $a_{(g)}$ . Questo metodo consente di definire il contributo alla pericolosità di un sito di diverse sorgenti sismogenetiche a distanza D capaci di generare terremoti di magnitudo M. In altri termini il processo di disaggregazione in M-D fornisce il terremoto che domina lo scenario di pericolosità (terremoto di scenario) inteso come l'evento di magnitudo M a

|                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                 |                     |                |              |                    |             |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------|--------------|--------------------|-------------|
| STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna<br><br>PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria),<br>SETECO INGEGNERIA S.r.l.<br>ITEC ENGINEERING S.r.l. | INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13<br>TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA<br>(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)<br><br>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA |                     |                |              |                    |             |
| ELABORATI GENERALI<br>Relazione sismica                                                                                                                        | CODICE PROGETTO<br>24V25                                                                                                                                                                        | LIVELLO PROG.<br>PF | TIPO DOC.<br>R | AMBITO<br>GT | PROGRESSIVO<br>101 | REV.<br>r00 |

distanza D dal sito oggetto di studio che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica del sito stesso.

È stata eseguita la disaggregazione calcolando i valori di magnitudo e distanza epicentrale relativamente all'area in esame, centrando l'analisi su un elemento del modello di pericolosità sismica (MPS04-S1 del sito INGV) che copre esattamente l'area di studio. Nella due figure seguenti si mostrano i risultati ottenuti.

Analizzando i dati si osserva che i maggiori contributi alla magnitudo di concentrano in corrispondenza di una distanza epicentrale di 0-10 km, negli intervalli di Mw compresi tra 4,5 – 5,0 Mw (26,5%) e subordinatamente negli intervalli compresi tra 4,0 – 4,5 Mw e 5,0 – 5,5 Mw (entrambi 14,6%). Il valore medio di Mw risulta pari a 4,99. In via cautelativa si considera una magnitudo di progetto Mw=5,8 ottenuta sommando il valore della deviazione standard al valore medio della magnitudo.



**Figura 7.: Elaborazione grafica della disaggregazione di PGA nell'area in esame (MPS04-S1 – INGV).**

|                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna<br><br>PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria),<br>SETECO INGEGNERIA S.r.l.<br>ITEC ENGINEERING S.r.l. | INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13<br>TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA<br>(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)<br><br>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA |
| ELABORATI GENERALI<br>Relazione sismica                                                                                                                        | CODICE PROGETTO<br><b>24V25</b><br>LIVELLO PROG.<br><b>PF</b><br>TIPO DOC.<br><b>R</b><br>AMBITO<br><b>GT</b><br>PROGRESSIVO<br><b>101</b><br>REV.<br><b>r00</b>                                |

| Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni<br>(Coordinate del punto: lat. 44.570 lon. 11.596 - id 16512) |                |         |         |         |             |             |             |             |             |             |             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---------|---------|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Distanza<br>(Km)                                                                                                                     | Magnitudo (Mw) |         |         |         |             |             |             |             |             |             |             |
|                                                                                                                                      | 3.5-<br>4.0    | 4.0-4.5 | 4.5-5.0 | 5.0-5.5 | 5.5-<br>6.0 | 6.0-<br>6.5 | 6.5-<br>7.0 | 7.0-<br>7.5 | 7.5-<br>8.0 | 8.0-<br>8.5 | 8.5-<br>9.0 |
| 0-10                                                                                                                                 | 0.0000         | 14.6000 | 26.5000 | 14.6000 | 6.7800      | 0.7410      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      |
| 10-20                                                                                                                                | 0.0000         | 3.3700  | 9.8400  | 9.2900  | 6.2400      | 0.6740      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      |
| 20-30                                                                                                                                | 0.0000         | 0.0501  | 0.9710  | 2.3000  | 2.3700      | 0.3060      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      |
| 30-40                                                                                                                                | 0.0000         | 0.0000  | 0.0082  | 0.3190  | 0.7130      | 0.1100      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      |
| 40-50                                                                                                                                | 0.0000         | 0.0000  | 0.0000  | 0.0079  | 0.1340      | 0.0298      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      |
| 50-60                                                                                                                                | 0.0000         | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000  | 0.0128      | 0.0104      | 0.0015      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      |
| 60-70                                                                                                                                | 0.0000         | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000  | 0.0005      | 0.0027      | 0.0018      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      |
| 70-80                                                                                                                                | 0.0000         | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000      | 0.0000      | 0.0002      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      |
| 80-90                                                                                                                                | 0.0000         | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      |
| 90-100                                                                                                                               | 0.0000         | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      |
| 100-110                                                                                                                              | 0.0000         | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      |
| 110-120                                                                                                                              | 0.0000         | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      |
| 120-130                                                                                                                              | 0.0000         | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      |
| 130-140                                                                                                                              | 0.0000         | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      |
| 140-150                                                                                                                              | 0.0000         | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      |
| 150-160                                                                                                                              | 0.0000         | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      |
| 160-170                                                                                                                              | 0.0000         | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      |
| 170-180                                                                                                                              | 0.0000         | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      |
| 180-190                                                                                                                              | 0.0000         | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      |
| 190-200                                                                                                                              | 0.0000         | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000  | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      | 0.0000      |

| Valori Medi |          |         |
|-------------|----------|---------|
| Magnitudo   | Distanza | Epsilon |
| 4.99        | 9.42     | 0.865   |

**Figura 8.: Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (MPS04-S1 – INGV).**

## 5. CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO

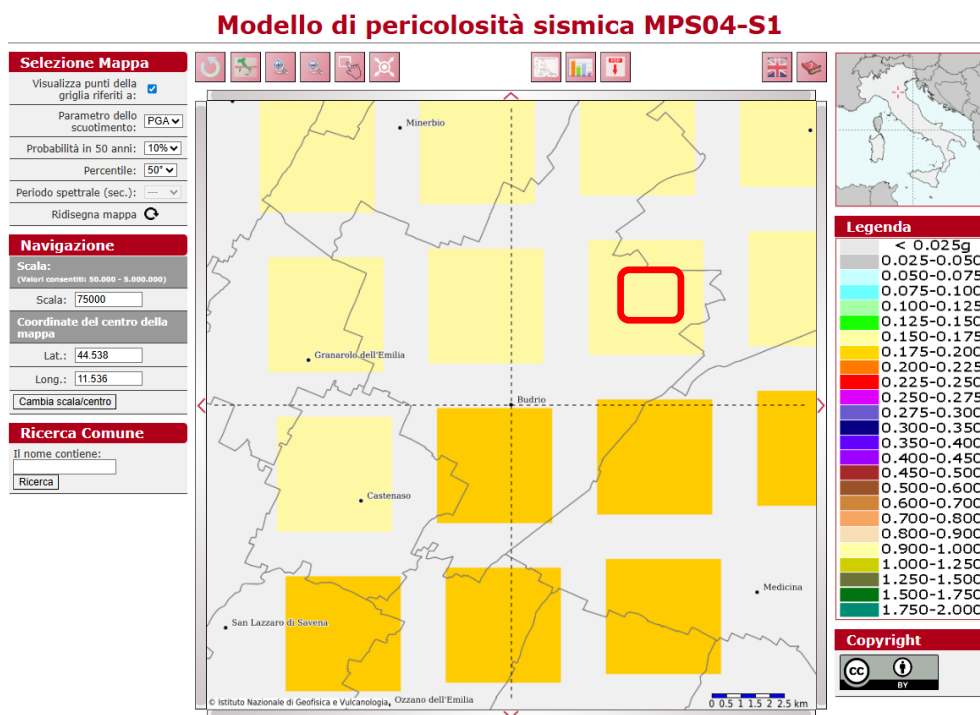
### 5.1 Classificazione sismica secondo normativa nazionale

L'Ordinanza del Presidente del C.d.M. n. 3274 del 20/3/2003 ha introdotto la nuova classificazione sismica del territorio italiano che viene diviso in 4 zone sismiche, ciascuna caratterizzata da un diverso valore del parametro  $a_g$  (accelerazione massima convenzionale su suolo di categoria A). I Comuni di Budrio e Molinella sono stati classificati in Zona sismica 3 ( $0,05 < a_g \leq 0,15g$ ).

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  $0.025g$ .

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 stati pubblicati sul sito web dell'INGV. I valori di pericolosità sismica riportati sono espressi in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ( $V_s > 800$  m/s), e per l'area in oggetto sono compresi tra  $0,150 - 0,175g$  con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni.

|                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                         |                 |               |             |        |             |      |       |    |   |    |     |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------|-------------|--------|-------------|------|-------|----|---|----|-----|-----|
| <div>STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna</div> <div>PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandatara),<br/>SETECO INGEGNERIA S.r.l.<br/>ITEC ENGINEERING S.r.l.</div> | <div>INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13<br/>TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA<br/>(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)</div> <div>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA</div>        |                 |               |             |        |             |      |       |    |   |    |     |     |
| <div>ELABORATI GENERALI</div> <div>Relazione sismica</div>                                                                                                                     | <table><tr><td>CODICE PROGETTO</td><td>LIVELLO PROG.</td><td>TIPO DOC.</td><td>AMBITO</td><td>PROGRESSIVO</td><td>REV.</td></tr><tr><td>24V25</td><td>PF</td><td>R</td><td>GT</td><td>101</td><td>r00</td></tr></table> | CODICE PROGETTO | LIVELLO PROG. | TIPO DOC.   | AMBITO | PROGRESSIVO | REV. | 24V25 | PF | R | GT | 101 | r00 |
| CODICE PROGETTO                                                                                                                                                                | LIVELLO PROG.                                                                                                                                                                                                           | TIPO DOC.       | AMBITO        | PROGRESSIVO | REV.   |             |      |       |    |   |    |     |     |
| 24V25                                                                                                                                                                          | PF                                                                                                                                                                                                                      | R               | GT            | 101         | r00    |             |      |       |    |   |    |     |     |



**Figura 9.: Mappa di pericolosità sismica del Comune di Roma (MPS04-S1), dal sito INGV, con indicazione dell'area in oggetto (rettangolo rosso).**

## 5.2 Classificazione sismica secondo normativa regionale

Secondo il D.G.R. n. 146 del 06/02/2023 (aggiornamento della classificazione sismica dell'Emilia-Romagna), che è la normativa più aggiornata alla data corrente, entrambi i comuni ricadono in zona sismica 3.

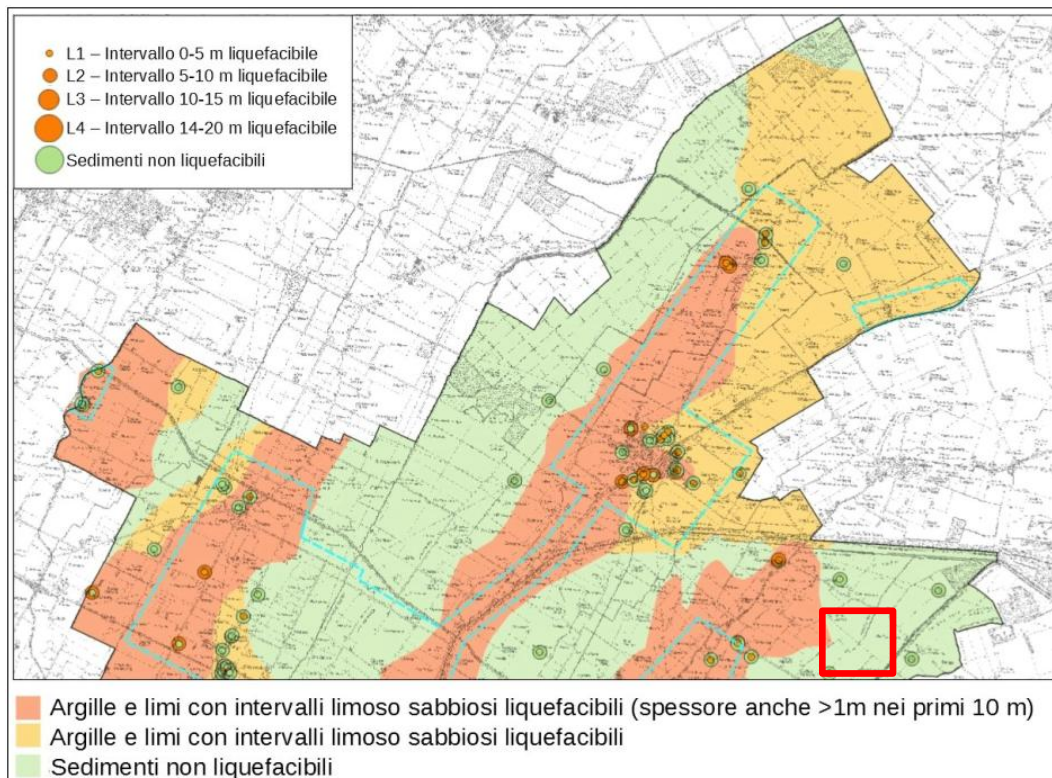
## 5.3 Microzonazione sismica

Sono disponibili gli studi di microzonazione sismica di livello 2 dei Comuni di Budrio e Molinella. Bisogna tuttavia considerare che, in entrambi i Comuni, solo le aree urbanizzate sono coperte dagli studi di livello 2, mentre le aree rimanenti dei territori comunali, quindi anche l'area in oggetto, sono coperti da studi di livello 1.

Per il comune di Budrio, le informazioni principali sono:

- Frequenze fondamentali <1 Hz (non è disponibile una carta);
- Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS): in tutto il territorio comunale, non si riscontrano "zone stabili", tuttavia si sono distinte tre "zone stabili suscettibili di amplificazioni" ed undici "zone di attenzione per instabilità", queste ultime riconducibili a possibilità di fenomeni di liquefazione per la presenza di intervalli granulari saturi nei primi 20 m. Non essendo disponibile una cartografia, si riporta in seguito una carta delle zone di potenziale liquefacibilità, ricostruita a partire dai dati delle prove CPT/CPTE/CPTu disponibili (Figura 10).

|                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                 |                     |                |              |                    |             |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------|--------------|--------------------|-------------|
| STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna<br><br>PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria),<br>SETECO INGEGNERIA S.r.l.<br>ITEC ENGINEERING S.r.l. | INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13<br>TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA<br>(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)<br><br>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA |                     |                |              |                    |             |
| ELABORATI GENERALI<br>Relazione sismica                                                                                                                        | CODICE PROGETTO<br>24V25                                                                                                                                                                        | LIVELLO PROG.<br>PF | TIPO DOC.<br>R | AMBITO<br>GT | PROGRESSIVO<br>101 | REV.<br>r00 |



**Figura 10.: Classificazione dei punti di controllo geognostici finalizzata alla ricostruzione delle zone di potenziale liquefaccibilità in base alla presenza di strati granulari in falda (dalla Relazione illustrativa della Microzonazione sismica di livello 2 del Comune di Budrio).**

Per il comune di Molinella, le informazioni principali sono:

- Frequenze fondamentali generalmente comprese tra 0,7 e 1,0 Hz (non è disponibile una carta);
- Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS): non è disponibile una carta, ma viene specificato che nel territorio comunale non vi sono zone stabili, bensì “zone suscettibili di amplificazione locali” per effetto dell’assetto litostratigrafico locale e “zone suscettibili di instabilità”, dove le instabilità attese sono sia potenziale liquefazione sia potenziali cedimenti.

## 5.4 Definizione della categoria di sottosuolo e topografica

In osservanza delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (NTC 2018), ai fini della definizione dell’azione sismica di progetto, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite in figura 11, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_s$ . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità  $V_s$  per l’approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo. I valori di  $V_s$  sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all’approccio

|                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna<br>PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataraia),<br>SETECO INGEGNERIA S.r.l.<br>ITEC ENGINEERING S.r.l. | INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13<br>TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA<br>(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)<br><br>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA |
| ELABORATI GENERALI<br>Relazione sismica                                                                                                                     | CODICE PROGETTO<br><b>24V25</b><br>LIVELLO PROG.<br><b>PF</b><br>TIPO DOC.<br><b>R</b><br>AMBITO<br><b>GT</b><br>PROGRESSIVO<br><b>101</b><br>REV.<br><b>r00</b>                                |

semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa. La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

Con:

$h_i$  = spessore dell'i-esimo strato;

$V_{s,i}$  = velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N = numero di strati:

H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzato da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s,30}$ , ottenuto ponendo H = 30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite nella figura seguente.

**Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.**

| Categoria | Caratteristiche della superficie topografica                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A         | Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti 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, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.                                            |
| C         | Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.   |
| D         | Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s. |
| E         | Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.                                                                                                                                    |

**Figura 11.: Categorie di sottosuolo secondo la normativa NTC 2018.**

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici, come quelle dell'area in oggetto, si può adottare la classificazione mostrata nella figura 12. Queste categorie topografiche si riferiscono a configurazioni

|                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna<br><br>PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandatara),<br>SETECO INGEGNERIA S.r.l.<br>ITEC ENGINEERING S.r.l. | INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13<br>TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA<br>(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)<br><br>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA |
| ELABORATI GENERALI<br>Relazione sismica                                                                                                                       | CODICE PROGETTO<br><b>24V25</b><br>LIVELLO PROG.<br><b>PF</b><br>TIPO DOC.<br><b>R</b><br>AMBITO<br><b>GT</b><br>PROGRESSIVO<br><b>101</b><br>REV.<br><b>r00</b>                                |

geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

**Tab. 3.2.III – Categorie topografiche**

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

**Figura 12.: Categorie topografiche secondo la normativa NTC 2018.**

## 5.5 Indagini sismiche disponibili

Per la caratterizzazione sismica, si è tenuto conto delle informazioni disponibili dalla campagna di indagine eseguita in fase di DOCFAP.

Le indagini utilizzate sono:

- n.1 prova Down-Hole eseguita nel sondaggio S2 a carotaggio continuo, lungo 50 m, in sponda sinistra;
- Prove SPT ogni 2 m fino alla profondità di 30 m dal pc;
- n.2 prove penetrometriche statiche a punta elettrica e piezocono, una in sponda destra ed una in sponda sinistra, rispettivamente fino alla profondità di 29,63 m dal pc e 33,09 m dal pc,
- n.1 prova con dilatometro Marchetti e modulo sismico in sponda destra;
- n.2 indagini sismiche MASW e due letture a stazione singola HVSR, sia in sponda destra sia in sponda sinistra;
- n.2 letture a stazione singola HVSR, sia in sponda destra sia in sponda sinistra;

## 5.6 Amplificazione stratigrafica e topografica

Ai sensi del D.M. 17/01/2018, il calcolo del valore di  $V_{s,eq}$  deve essere condotto in funzione dell'opera di riferimento. In particolare, per le opere fuori terra (ad esempio i rilevati) la profondità del substrato può essere riferita al piano campagna, per le fondazioni superficiali al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali alla testa dei pali.

I valori di velocità delle onde di taglio  $V_{s,30}$  calcolate rispetto ai 30m da piano campagna e  $V_{s,eq}$  calcolate rispetto alla testa dei pali sono riportati nella tabella seguente.

|                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna<br>PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandatara),<br>SETECO INGEGNERIA S.r.l.<br>ITEC ENGINEERING S.r.l. | INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13<br>TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA<br>(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)<br><br>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA |
| ELABORATI GENERALI<br>Relazione sismica                                                                                                                   | CODICE PROGETTO<br><b>24V25</b><br>LIVELLO PROG.<br><b>PF</b><br>TIPO DOC.<br><b>R</b><br>AMBITO<br><b>GT</b><br>PROGRESSIVO<br><b>101</b><br>REV.<br><b>r00</b>                                |

| ID prova | $V_{s,30}$ (m/s) | $V_{s,eq}$ (m/s) | Categoria<br>Sottosuolo |
|----------|------------------|------------------|-------------------------|
| MASW1    | 188              | -                | C                       |
| MASW2    | 215              | 222              | C                       |
| DH-S2    | 242              | 275              | C                       |

**Tabella 4: Risultati delle prove geofisiche.**

Il terreno risulta pertanto in categoria di sottosuolo C, come da definizioni delle NTC 2018.

Per quanto concerne le caratteristiche della superficie topografica, essendo l'opera in oggetto in un ambito di pianura e non essendovi particolari emergenze topografiche che possano dar luogo ad effetti di amplificazione sismica locale, l'area in esame è classificabile nella Categoria topografica T1 – superficie pianeggiante, pendii con inclinazione media  $<15^\circ$ , cui è associato un coefficiente di amplificazione topografica pari a 1.0.

#### 5.6.1 Azioni sismiche di progetto

Con riferimento alla normativa vigente (NTC-2018), le azioni sismiche di progetto 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. La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$ , come definite nel D.M. 2018, nel periodo di riferimento VR, come definito nel D.M. 2018.

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- $A_g$ : accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F_0$ : 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 parametri verranno calcolati nel § 5.6.1.4.

##### 5.6.1.1 Vita nominale

La vita nominale di un'opera strutturale  $V_N$  è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. Per l'opera di progetto la  $V_N=100$  anni.

##### 5.6.1.2 Classe d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

|                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                  |                                        |                                   |                                 |                                       |                                |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| <div>STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna</div> <div>PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria),<br/>SETECO INGEGNERIA S.r.l.<br/>ITEC ENGINEERING S.r.l.</div> | <div>INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13<br/>TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA<br/>(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)</div> <div>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA</div> |                                        |                                   |                                 |                                       |                                |
| <div>ELABORATI GENERALI</div> <div>Relazione sismica</div>                                                                                                                      | <div>CODICE PROGETTO</div> <div>24V25</div>                                                                                                                                                                      | <div>LIVELLO PROG.</div> <div>PF</div> | <div>TIPO DOC.</div> <div>R</div> | <div>AMBITO</div> <div>GT</div> | <div>PROGRESSIVO</div> <div>101</div> | <div>REV.</div> <div>r00</div> |

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie 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. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

L'opera in progetto appartiene alla Classe d'Uso III, alla quale corrisponde un coefficiente d'uso pari a  $C_U=1,5$ .

#### **5.6.1.3 Periodo di riferimento**

Il periodo di riferimento  $V_R$  si ottiene moltiplicando la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ . Nel caso in esame,  $V_R = V_N \times C_U = 100 \times 1,5 = 150$  anni.

L'azione sismica di progetto va quindi determinata in funzione degli Stati Limite di verifica e delle corrispondenti probabilità  $P_{VR}$  di realizzarsi nel periodo di riferimento  $V_R$ .

#### **5.6.1.4 Caratteristiche sismiche del sito**

Per i valori di  $a_g$ ,  $F_o$  e  $T_c^*$ , necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008 (come previsto dalle NTC 2018).

Sulla base della localizzazione geografica del sito di progetto vengono definiti, quindi, i parametri di riferimento del moto sismico in superficie, successivamente correlati con gli stati limite e la vita nominale dell'opera, al fine di definire gli obiettivi da raggiungere in termini di sicurezza e prestazioni delle opere o di parti di esse.

I parametri di riferimento per l'opera in oggetto e per i differenti Stati Limite sono stati calcolati utilizzando il foglio di calcolo "Spettri-NTC v.1.0.3" messo a disposizione dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, con ricerca per coordinate. I risultati sono riassunti nella tabella seguente:

|                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna<br>PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria),<br>SETECO INGEGNERIA S.r.l.<br>ITEC ENGINEERING S.r.l. | INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13<br>TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA<br>(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)<br><br>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA |
| ELABORATI GENERALI<br>Relazione sismica                                                                                                                    | CODICE PROGETTO<br><b>24V25</b><br>LIVELLO PROG.<br><b>PF</b><br>TIPO DOC.<br><b>R</b><br>AMBITO<br><b>GT</b><br>PROGRESSIVO<br><b>101</b><br>REV.<br><b>r00</b>                                |

| STATO LIMITE | PROBABILITA' DI SUPERAMENTO (%) | TR (anni)   | $a_g$ (g)    | $F_0$ (-)    | $T_c^*$ (s)  |
|--------------|---------------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| SLO          | 81                              | 90          | 0,082        | 2,453        | 0,281        |
| SLD          | 63                              | 151         | 0,105        | 2,454        | 0,282        |
| <b>SLV</b>   | <b>10</b>                       | <b>1424</b> | <b>0,256</b> | <b>2,445</b> | <b>0,295</b> |
| SLC          | 5                               | 2475        | 0,311        | 2,408        | 0,310        |

**Tabella 5: Parametri di riferimento del moto sismico in superficie per i differenti Stati Limite.**

In riferimento a quanto indicato nelle NTC2018 per la definizione dello spettro elastico in accelerazione è necessario valutare il valore del coefficiente  $S = S_s \cdot x \cdot S_T$  e di  $C_c$  in base alla categoria di sottosuolo e alle condizioni topografiche; di seguito si riportano le tabelle di valutazione di tali coefficienti:

| Categoria sottosuolo | $S_s$                                                           | $C_c$                        |
|----------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------|
| A                    | 1,00                                                            | 1,00                         |
| B                    | $1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$ | $1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$ |
| C                    | $1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$ | $1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$ |
| D                    | $0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$ | $1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$ |
| E                    | $1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$ | $1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$ |

**Figura 13.: Espressioni di  $S_s$  e  $C_c$  secondo la normativa NTC 2018.**

| Categoria topografica | Ubicazione dell'opera o dell'intervento                                               | $S_T$ |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| T1                    | -                                                                                     | 1,0   |
| T2                    | In corrispondenza della sommità del pendio                                            | 1,2   |
| T3                    | In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30° | 1,2   |
| T4                    | In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°       | 1,4   |

**Figura 14.: Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$  secondo la normativa NTC 2018.**

Ne risulta che, essendo la categoria di sottosuolo C e la categoria topografica T1:

- $S_s$ : 1,324
- $C_c$ : 1,571
- $S_T$ : 1,0

## 6. ANALISI DELLA SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE

La liquefazione è un fenomeno per cui durante un sisma la rigidezza e la resistenza del terreno possono ridursi significativamente. A questo fenomeno sono associati la perdita di resistenza al taglio o

|                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                 |                            |                       |                     |                           |                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------|---------------------|---------------------------|--------------------|
| STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna<br><br>PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandatara),<br>SETECO INGEGNERIA S.r.l.<br>ITEC ENGINEERING S.r.l. | INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13<br>TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA<br>(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)<br><br>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA |                            |                       |                     |                           |                    |
| ELABORATI GENERALI<br>Relazione sismica                                                                                                                       | CODICE PROGETTO<br><b>24V25</b>                                                                                                                                                                 | LIVELLO PROG.<br><b>PF</b> | TIPO DOC.<br><b>R</b> | AMBITO<br><b>GT</b> | PROGRESSIVO<br><b>101</b> | REV.<br><b>r00</b> |

l'accumulo di deformazioni plastiche che avvengono in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, a causa delle azioni cicliche e dinamiche che si verificano in condizioni non drenate. Tali fenomeni sono legati allo sviluppo di sovrappressioni interstiziali che, se positive, causano una diminuzione della tensione media efficace nel terreno e una riduzione della resistenza al taglio. Questa riduzione può essere una condizione temporanea o può indurre una condizione di collasso definitiva.

Il fenomeno della liquefazione è profondamente influenzato dal numero dei cicli N del terremoto, dalla densità relativa DR e dalla granulometria del terreno. Un terreno incoerente, a parità di altri fattori, è maggiormente esposto al pericolo della liquefazione quanto minore è la sua densità relativa. Il potenziale di liquefazione aumenta poi, ovviamente, al crescere di N (cicli del terremoto).

Il raggiungimento della condizione di liquefazione può dare origine ad effetti di varia natura, quali, nei casi più eclatanti:

- affondamento di edifici nel terreno;
- scorrimento di pendii;
- collasso di terrapieni, rilevati stradali e opere di terra in genere;
- collasso di palificate per perdita di connessione laterale;
- zampillio di copiosi getti d'acqua e di sabbia con formazione dei caratteristici coni eruttivi;
- collasso di opere di sostegno per sovraspinta del terreno a monte.

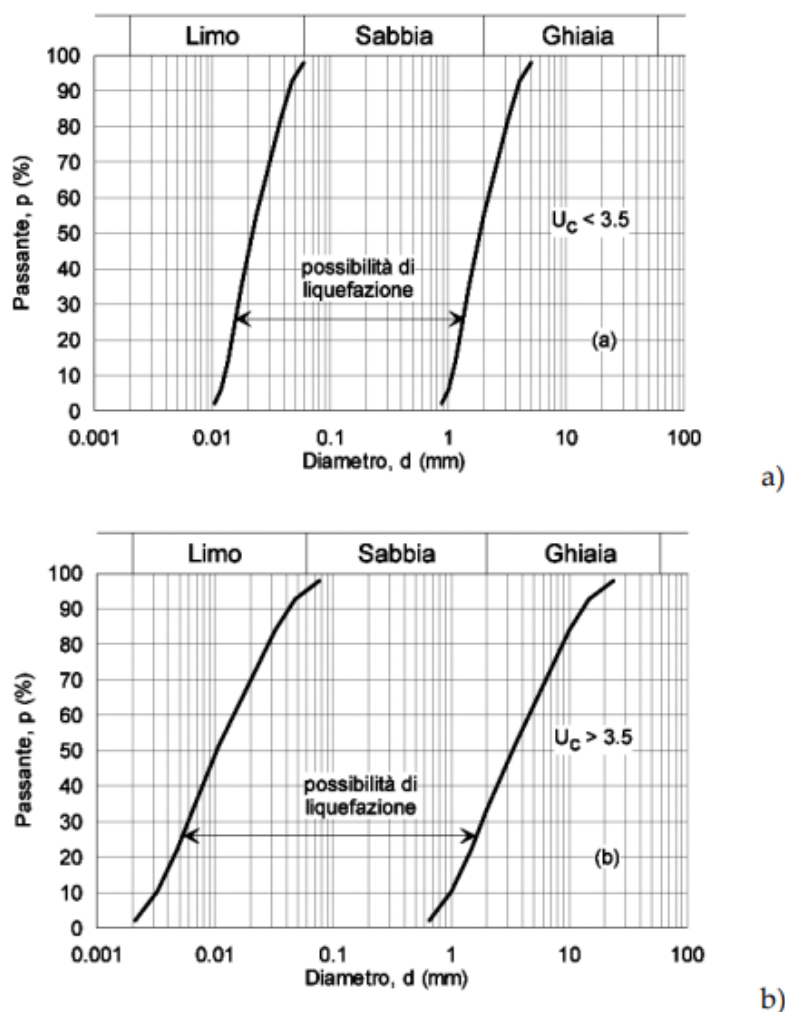
In questo contesto, il problema principale che si pone in fase di progettazione è la suscettibilità alla liquefazione poiché il terreno di fondazione risulta costituito da strati estesi di sabbie sciolte, anche se contenenti una frazione fine limoso-argillosa. In altre parole, è necessario valutare il potenziale di liquefazione del terreno ove devono essere realizzati gli interventi in progetto.

## 6.1 Condizioni di esclusione da verifica a liquefazione

Le NTC18 al paragrafo 7.11.3.4.2 affermano che la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti una delle seguenti circostanze:

- accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1 g;
- profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $qc_{1N} > 180$  dove  $(N1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $qc_{1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella figura seguente nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3.5$  e nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3.5$ .

|                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                         |                 |               |             |        |             |      |       |    |   |    |     |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------|-------------|--------|-------------|------|-------|----|---|----|-----|-----|
| <div>STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna</div> <div>PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria),<br/>SETECO INGEGNERIA S.r.l.<br/>ITEC ENGINEERING S.r.l.</div> | <div>INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13<br/>TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA<br/>(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)</div> <div>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA</div>        |                 |               |             |        |             |      |       |    |   |    |     |     |
| <div>ELABORATI GENERALI</div> <div>Relazione sismica</div>                                                                                                                      | <table><tr><td>CODICE PROGETTO</td><td>LIVELLO PROG.</td><td>TIPO DOC.</td><td>AMBITO</td><td>PROGRESSIVO</td><td>REV.</td></tr><tr><td>24V25</td><td>PF</td><td>R</td><td>GT</td><td>101</td><td>r00</td></tr></table> | CODICE PROGETTO | LIVELLO PROG. | TIPO DOC.   | AMBITO | PROGRESSIVO | REV. | 24V25 | PF | R | GT | 101 | r00 |
| CODICE PROGETTO                                                                                                                                                                 | LIVELLO PROG.                                                                                                                                                                                                           | TIPO DOC.       | AMBITO        | PROGRESSIVO | REV.   |             |      |       |    |   |    |     |     |
| 24V25                                                                                                                                                                           | PF                                                                                                                                                                                                                      | R               | GT            | 101         | r00    |             |      |       |    |   |    |     |     |



**Figura 15.: Classi granulometriche nelle quali possono verificarsi fenomeni di liquefazione.**

### 6.1.1 Accelerazione sismica

I valori di  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$ , necessari per la determinazione delle azioni sismiche, sono stati calcolati nel §5.6.1.4, cui si rimanda.

Le condizioni di sismicità non permettono di escludere il rischio di liquefazione ai sensi della norma.

### 6.1.2 Profondità della falda

La falda più superficiale è stata rilevata nella CPTu1 (in sponda destra, lontana circa 51 m dall'asse del tracciato) con soggiacenza di circa 2 m da p.c.. Sempre in sponda destra, la cella Casagrande più superficiale del sondaggio S1 ha registrato una soggiacenza di circa 11,3 m. In questo caso, tuttavia bisogna considerare l'altezza del rilevato esistente, che in corrispondenza del sondaggio S1, può essere stimata pari a circa 13 metri, anche in ragione della presenza di frammenti di laterizi fino a tale profondità. Il valore di 11,35 metri risulta quindi convertibile in 8,6 m.s.l.m., quota in accordo con gli 8,35 m.s.l.m. della prova CPTu1.

|                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna<br>PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria),<br>SETECO INGEGNERIA S.r.l.<br>ITEC ENGINEERING S.r.l. | INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13<br>TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA<br>(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)<br><br>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA |
| ELABORATI GENERALI<br>Relazione sismica                                                                                                                    | CODICE PROGETTO<br><b>24V25</b><br>LIVELLO PROG.<br><b>PF</b><br>TIPO DOC.<br><b>R</b><br>AMBITO<br><b>GT</b><br>PROGRESSIVO<br><b>101</b><br>REV.<br><b>r00</b>                                |

In sponda sinistra si ha a disposizione il dato di 8,5m di profondità da p.c. nella prova CPTu2. Anche in questo caso si deve sottrarre lo spessore del rilevato, che è stato valutato in circa 6-6,5m. La soggiacenza, quindi, è di circa 2 m anche in questo caso e la quota assoluta è di 8,24 m.s.l.m..

Si riportano di seguito le misure piezometriche effettuate nei piezometri installati.

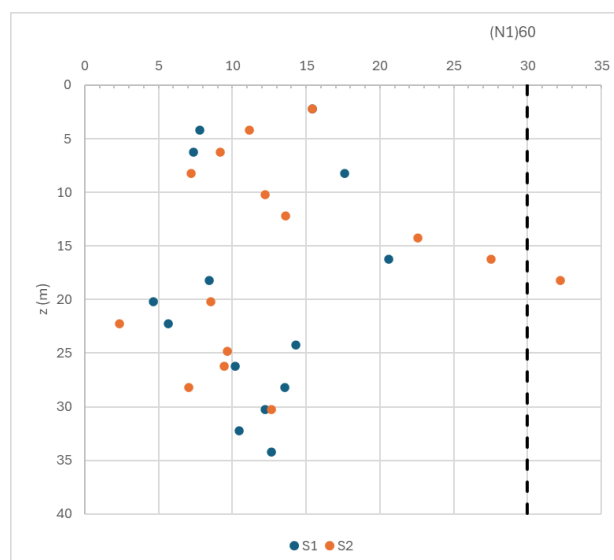
| PIEZOMETRO | PROFONDITÀ CELLA<br>CASAGRANDE (M<br>DA P.C.) | 05/04/2024 | 26/05/2024 |
|------------|-----------------------------------------------|------------|------------|
| S1         | 17                                            | 11.33      | 11.03      |
|            | 25                                            | 11.10      | 11.00      |

**Tabella 6: Misure piezometriche effettuate.**

La presenza della falda, essendo ubicata ad una profondità inferiore ai 15m, non permette di escludere la verifica a liquefazione. Si specifica che nei calcoli dei §§ seguenti i valori di soggiacenza della falda sono stati considerati coerentemente alla prova geognostica corrispondente, in quanto sono da correlare con i valori ed i parametri ottenuti dalle singole prove.

#### 6.1.3 Valori di resistenza penetrometrica

I valori di  $(N_1)_{60}$  da prove SPT sono stati calcolati secondo quanto indicato al paragrafo 6.2.2 e sono mostrati graficamente nella figura seguente. I valori risultano quasi sempre inferiori al limite di 30, dunque non è possibile omettere la verifica a liquefazione.

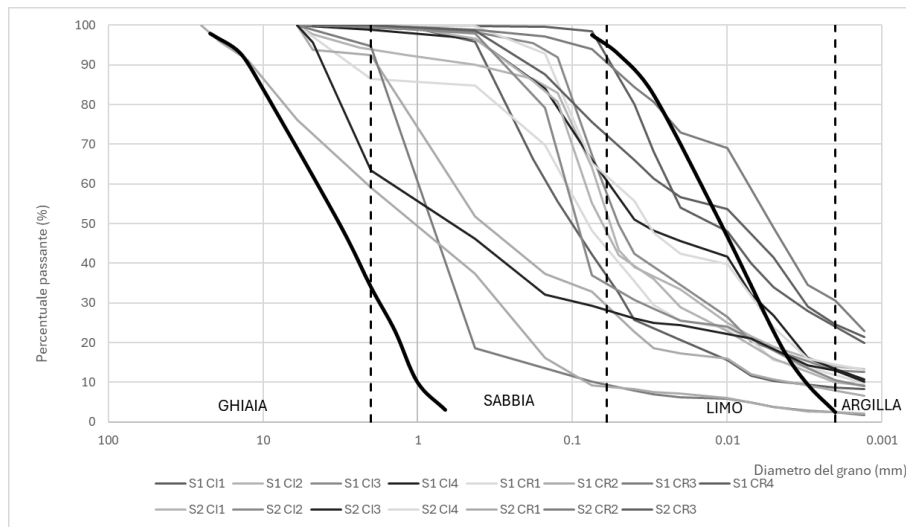


**Figura 16.: Valori di  $(N_1)_{60}$  da prove SPT.**

#### 6.1.4 Granulometria

Per le granulometrie si è fatto riferimento ai risultati delle analisi di laboratorio. Si riportano nella figura seguente le curve granulometriche ottenute.

|                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                         |                 |               |             |        |             |      |       |    |   |    |     |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------|-------------|--------|-------------|------|-------|----|---|----|-----|-----|
| <div>STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna</div> <div>PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandatara),<br/>SETECO INGEGNERIA S.r.l.<br/>ITEC ENGINEERING S.r.l.</div> | <div>INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13<br/>TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA<br/>(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)</div> <div>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA</div>        |                 |               |             |        |             |      |       |    |   |    |     |     |
| <div>ELABORATI GENERALI</div> <div>Relazione sismica</div>                                                                                                                     | <table><tr><td>CODICE PROGETTO</td><td>LIVELLO PROG.</td><td>TIPO DOC.</td><td>AMBITO</td><td>PROGRESSIVO</td><td>REV.</td></tr><tr><td>24V25</td><td>PF</td><td>R</td><td>GT</td><td>101</td><td>r00</td></tr></table> | CODICE PROGETTO | LIVELLO PROG. | TIPO DOC.   | AMBITO | PROGRESSIVO | REV. | 24V25 | PF | R | GT | 101 | r00 |
| CODICE PROGETTO                                                                                                                                                                | LIVELLO PROG.                                                                                                                                                                                                           | TIPO DOC.       | AMBITO        | PROGRESSIVO | REV.   |             |      |       |    |   |    |     |     |
| 24V25                                                                                                                                                                          | PF                                                                                                                                                                                                                      | R               | GT            | 101         | r00    |             |      |       |    |   |    |     |     |



**Figura 17.: Curve granulometriche.**

Si osserva che le curve granulometriche ricadono quasi interamente all'interno dei fusi caratterizzati da coefficiente di uniformità  $U_c > 3.5$ . Su tali basi non si può escludere il rischio di liquefazione.

## 6.2 Verifica a liquefazione

### 6.2.1 Metodologia di analisi

La valutazione del pericolo di liquefazione è stata condotta in accordo al "metodo semplificato" originariamente proposto da Seed e Idriss (1971,1982) e da Seed et al. (1985), che si basa sul confronto tra lo sforzo di taglio ciclico normalizzato (CSR) e la resistenza al taglio ciclica normalizzata del terreno (CRR) così definiti:

$$CSR = \frac{\tau_{media}}{\sigma'_{vo}} \quad \text{Rapporto di tensione ciclica}$$

$$CRR = \frac{\tau_1}{\sigma'_{vo}} \quad \text{Rapporto di resistenza ciclica}$$

Lo sforzo di taglio indotto ad ogni profondità in un sito a superficie piana durante l'evento sismico è dovuto essenzialmente alla propagazione delle onde di taglio polarizzate orizzontalmente. In accordo al metodo utilizzato, la tensione di taglio ciclico indotta dallo scuotimento sismico (sforzo di taglio ciclico normalizzato CSR) viene approssimata da un valore dell'accelerazione pari al 65% della accelerazione di picco  $a_{max}$  come segue:

$$CSR = \frac{\tau_c}{\sigma'_{vo}} = 0.65 \frac{\tau_{max}}{\sigma'_{vo}} = 0.65 \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \cdot r_d$$

dove:

$a_{max}$       accelerazione di picco al sito

$g$           accelerazione di gravità

$\tau_c$         valore rappresentativo dello sforzo di taglio ciclico

|                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna<br>PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandatara),<br>SETECO INGEGNERIA S.r.l.<br>ITEC ENGINEERING S.r.l. | INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13<br>TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA<br>(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)<br><br>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA |
| ELABORATI GENERALI<br>Relazione sismica                                                                                                                   | CODICE PROGETTO<br><b>24V25</b><br>LIVELLO PROG.<br><b>PF</b><br>TIPO DOC.<br><b>R</b><br>AMBITO<br><b>GT</b><br>PROGRESSIVO<br><b>101</b><br>REV.<br><b>r00</b>                                |

$\sigma_{vo}$  tensione verticale alla profondità in esame, in termini di tensioni totali

$\sigma'_{vo}$  tensione verticale alla profondità in esame, in termini di tensioni efficaci

$r_d$  coefficiente di riduzione dello sforzo di taglio ciclico in funzione della profondità da piano campagna, calcolato come segue in accordo a Idriss e Boulanger (2004):

$$r_d = \exp \left[ (-1.012 - 1.126 \sin(\frac{z}{11.73} + 5.133)) + (0.106 + 0.118 \sin(\frac{z}{11.28} + 5.142))M \right]$$

Dove:

$z$  profondità dal piano campagna

$M$  magnitudo di momento dell'evento sismico atteso

Dato che CRR dipende dal numero di cicli significativi, che a sua volta dipende dalla magnitudo  $M$ , è necessario rivalutare CRR per ricondurlo ad un valore costante di  $M$ , (nel caso in esame  $M$  viene determinato per ciascuna zona di interesse, come definito successivamente), introducendo un fattore di scala della magnitudo MSF così definito:

$$MSF = \frac{CRR_M}{(CRR)_{M=7.5}} = \left( \frac{N_{M=7.5}}{N_M} \right)^b$$

Dove CRRM e  $N_M$  rappresentano i valori di CRR e numero di cicli equivalenti in condizione di liquefazione per il valore di magnitudo di progetto, mentre  $(CRR)_{M=7.5}$  e  $N_{M=7.5}$  sono riferiti all'evento con  $M=7.5$ . Il valore di MSF si può ricavare dalla relazione di Idriss e Boulanger (2004):

$$MSF = 6.9 \exp\left(\frac{-M}{4}\right) - 0.058$$

$$MSF \leq 1.8$$

Il rapporto di resistenza ciclica CRR può essere valutato mediante relazioni empiriche che correlano la sollecitazione sismica ai risultati di prove in sito di tipo SPT, CPT o geofisiche, come meglio descritto nel seguito.

### 6.2.2 CRR da prove SPT

La valutazione del rapporto di resistenza ciclica CRR secondo Idriss & Boulanger (2004), è definito dalla seguente relazione:

$$CRR = \exp \left[ \frac{(N_1)_{60cs}}{14.1} + \left( \frac{(N_1)_{60cs}}{126} \right)^2 + \left( \frac{(N_1)_{60cs}}{23.6} \right)^3 + \left( \frac{(N_1)_{60cs}}{25.4} \right)^4 - 2.8 \right]$$

Dove

$$(N_1)_{60cs} = (N_1)_{60} + \exp \left[ 1.63 + \frac{9.7}{FC} - \left( \frac{15.7}{FC} \right)^2 \right]$$

$FC$  è la frazione di fine espressa in percentuale

|                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna<br>PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria),<br>SETECO INGEGNERIA S.r.l.<br>ITEC ENGINEERING S.r.l. | INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13<br>TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA<br>(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)<br><br>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA |
| ELABORATI GENERALI<br>Relazione sismica                                                                                                                    | CODICE PROGETTO<br><b>24V25</b><br>LIVELLO PROG.<br><b>PF</b><br>TIPO DOC.<br><b>R</b><br>AMBITO<br><b>GT</b><br>PROGRESSIVO<br><b>101</b><br>REV.<br><b>r00</b>                                |

$$(N_1)_{60} = N_{SPT} \cdot C_N \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_R \cdot C_S$$

$$C_N = \left( \frac{p_a}{\sigma'_v} \right)^{0.5} \leq 1.7$$

$p_a$  è la pressione atmosferica (100 kPa) e  $\sigma'_v$  è la pressione verticale efficace

$C_E$  è un fattore correttivo che va a considerare il rendimento energetico dell'attrezzatura e riconduce le misure ad un rendimento energetico del 60 % e può essere valutato nel modo seguente:

$$C_R = \frac{ER_m}{60}$$

in cui  $ER_m$  è il fattore di rendimento (espresso in %) del trasferimento dell'energia del maglio all'attrezzo campionario, relativo alla macchina utilizzata per fare la prova; considerando che la configurazione di prova normalmente adoperata in Italia ha un rendimento energetico del 60 %, tale coefficiente è stato posto pari ad 1

I coefficienti  $C_B$  (fattore correttivo per le dimensioni del foro di sondaggio),  $C_R$  (fattore correttivo per la lunghezza delle aste della macchina esecutrice) e  $C_S$  (fattore correttivo per il tipo di attrezzo campionario) sono stati assunti pari a 1 dato che le prove sono state eseguite sulla base delle raccomandazioni fornite dall'AGI (1977).

### 6.2.3 CRR da prove geofisiche

L'utilizzo delle velocità delle onde di taglio  $V_s$  per valutare la resistenza alla liquefazione è ugualmente valido perché sia la velocità  $V_s$  sia la resistenza alla liquefazione CRR sono similmente influenzate da stessi fattori (rapporto dei vuoti, stato di sforzo, storia dello sforzo, età geologica, ecc.)

Disponendo delle misure di  $V_s$  effettuate con prove DownHole e MASW si è proceduto nel seguente modo:

la velocità  $V_s$  è corretta dalla sovrappressione usando l'equazione (Scora, 1987; Kayen et al., 1992; Robertson et al., 1992):

$$V_{s1} = C_v \cdot V_s$$

Dove

$$C_v = \left( \frac{p_a}{\sigma'_v} \right)^{0.25} \leq 1.4$$

Dove

$V_{s1}$  = velocità delle onde di taglio corretta dalla sovrappressione;

$V_s$  = velocità delle onde di taglio misurate in situ da prova;

$p_a$  = pressione atmosferica approssimativamente pari a 100 kPa;

$\sigma'_v$  = pressione effettiva iniziale alla stessa unità di misura di  $p_a$ .

|                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna<br>PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria),<br>SETECO INGEGNERIA S.r.l.<br>ITEC ENGINEERING S.r.l. | INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13<br>TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA<br>(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)<br><br>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA |
| ELABORATI GENERALI<br>Relazione sismica                                                                                                                    | CODICE PROGETTO<br><b>24V25</b><br>LIVELLO PROG.<br><b>PF</b><br>TIPO DOC.<br><b>R</b><br>AMBITO<br><b>GT</b><br>PROGRESSIVO<br><b>101</b><br>REV.<br><b>r00</b>                                |

Da  $V_{s1}$  può essere ricavato il valore della resistenza alla liquefazione CRR mediante la seguente equazione (Andrus e Stokoe, 1997):

$$CRR = \left[ a \cdot \left( \frac{V_{s1}}{100} \right)^2 + b \cdot \left( \frac{1}{V_{s1}^* - V_{s1}} - \frac{1}{V_{s1}^*} \right) \right]$$

Dove

$V_{s1}^*$  = limite superiore critico del valore della velocità delle onde di taglio necessario per la liquefazione

a e b = valori usati per tracciare le curve pari rispettivamente a 0.022 e 2.8;

$V_{s1}$  = velocità delle onde di taglio corretta della sovrappressione.

I valori di  $V_{s1}^*$  variano linearmente da 200 m/s per suoli con contenuto di fini superiore al 35% a 215 m/s per suoli con contenuto di fini del 5% o meno. Il valore di  $V_{s1}^*$  è ottenuto dalla seguente formula:

$$V_{s1}^* = 215 - 0.5(FC - 5)$$

Dove

FC = contenuto di fini in percentuale

#### 6.2.4 CRR da prove CPT

La valutazione del rapporto di resistenza ciclica CRR può essere calcolata con vari metodi. Quelli utilizzati nel caso in esame sono i seguenti:

##### Idriss & Boulanger (2004)

Il rapporto di resistenza ciclica CRR è definito dalla seguente relazione, valida per sabbie pulite:

$$CRR = \exp \left[ \frac{q_{c1N}}{540} + \left( \frac{q_{c1N}}{67} \right)^2 - \left( \frac{q_{c1N}}{80} \right)^3 + \left( \frac{q_{c1N}}{114} \right)^4 - 3 \right]$$

Dove

$$q_{c1N} = C_Q \cdot \frac{q_c}{p_a}$$

Con

- $p_a$  pressione atmosferica, pari a circa 100 kPa;
- $q_c$  resistenza alla punta espressa in kPa;
- $C_Q$  è ricavato tramite via iterativa tramite la seguente espressione (Boulanger e Idriss, 2004):

$$C_Q = \left( \frac{p_a}{\sigma'_v} \right)^{1.338 - 0.294 \cdot (q_{c1N})^{0.264}} \leq 1.7$$

Le relazioni sopra esposte sono utilizzabili anche per materiali con frazione fine non trascurabile. In tal caso la resistenza penetrometrica normalizzata  $q_{c1N}$  deve essere ricondotta ad un valore equivalente per sabbie pulite mediante la seguente espressione (Robertson & Wride, 1998):

|                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                         |                 |               |             |        |             |      |       |    |   |    |     |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------|-------------|--------|-------------|------|-------|----|---|----|-----|-----|
| <div>STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna</div> <div>PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria),<br/>SETECO INGEGNERIA S.r.l.<br/>ITEC ENGINEERING S.r.l.</div> | <div>INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13<br/>TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA<br/>(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)</div> <div>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA</div>        |                 |               |             |        |             |      |       |    |   |    |     |     |
| <div>ELABORATI GENERALI</div> <div>Relazione sismica</div>                                                                                                                      | <table><tr><td>CODICE PROGETTO</td><td>LIVELLO PROG.</td><td>TIPO DOC.</td><td>AMBITO</td><td>PROGRESSIVO</td><td>REV.</td></tr><tr><td>24V25</td><td>PF</td><td>R</td><td>GT</td><td>101</td><td>r00</td></tr></table> | CODICE PROGETTO | LIVELLO PROG. | TIPO DOC.   | AMBITO | PROGRESSIVO | REV. | 24V25 | PF | R | GT | 101 | r00 |
| CODICE PROGETTO                                                                                                                                                                 | LIVELLO PROG.                                                                                                                                                                                                           | TIPO DOC.       | AMBITO        | PROGRESSIVO | REV.   |             |      |       |    |   |    |     |     |
| 24V25                                                                                                                                                                           | PF                                                                                                                                                                                                                      | R               | GT            | 101         | r00    |             |      |       |    |   |    |     |     |

$$(q_{c1N})_{cs} = K_c \cdot q_{c1N}$$

Il fattore correttivo  $K_c$  è dato da:

$$K_c = 1.0 \text{ per } I_c \leq 1.64$$

$$K_c = -17.88 + 33.75 \cdot I_c - 21.631 \cdot (I_c)^2 + 5.581 \cdot (I_c)^3 - 0.403 \cdot (I_c)^4 \text{ per } I_c > 1.64$$

Il parametro di comportamento del terreno  $I_c$  è funzione della resistenza alla punta e della resistenza laterale del manicotto, misurate nelle prove CPT. In particolare:

$$I_c = [(3.47 - \log Q)^2 + (1.22 + \log F)^2]^{0.5}$$

Con

$$Q = \left( \frac{q_{c-\sigma_{v0}}}{p_a} \right) \cdot \left( \frac{p_a}{\sigma'_{v0}} \right)^n$$

$$F = \left[ \frac{f_s}{(q_c - \sigma_{v0})} \right] \cdot 100\%$$

L'esponente  $n$  varia tra 0.5 per le sabbie pulite e 1.0 per materiali di tipo argilloso.

### **Robertson & Wride (1998)**

Il rapporto di resistenza ciclica CRR è definito dalla seguente relazione, valida per sabbie pulite:

$$CRR = a \cdot [(Q_{tn})_{cs}]^b + c$$

Dove

- $(q_{tn})_{cs}$  è equivalente a  $(q_{c1N})_{cs}$  (vedi metodo spiegato in precedenza)
- $a$  è equivalente a
  - 0.053 per  $I_c > 2.6$
  - 0.00083 per  $(Q_{tn})_{cs} < 50$
  - $9.3 \cdot 10^{-8}$  per  $50 \leq (Q_{tn})_{cs} < 160$
- $b$  è equivalente a
  - 1 per  $(Q_{tn})_{cs} < 50$
  - 3 per  $50 \leq (Q_{tn})_{cs} < 160$
- $c$  è equivalente a
  - 0.05 per  $(Q_{tn})_{cs} < 50$
  - 0.08 per  $50 \leq (Q_{tn})_{cs} < 160$

### **6.2.5 Effetto della tensione di confinamento**

La resistenza alla liquefazione aumenta meno che proporzionalmente al crescere della tensione di confinamento. Una rappresentazione di tale relazione è stata proposta da Hynes e Olsen (1999) e riportata da Youd et al. (2001), elaborata sulla base dei risultati di prove cicliche in laboratorio. In particolare, gli autori raccomandano di utilizzare il seguente coefficiente di correzione:

|                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                 |                            |                       |                     |                           |                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------|---------------------|---------------------------|--------------------|
| STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna<br>PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria),<br>SETECO INGEGNERIA S.r.l.<br>ITEC ENGINEERING S.r.l. | INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13<br>TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA<br>(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)<br><br>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA |                            |                       |                     |                           |                    |
| ELABORATI GENERALI<br>Relazione sismica                                                                                                                    | CODICE PROGETTO<br><b>24V25</b>                                                                                                                                                                 | LIVELLO PROG.<br><b>PF</b> | TIPO DOC.<br><b>R</b> | AMBITO<br><b>GT</b> | PROGRESSIVO<br><b>101</b> | REV.<br><b>r00</b> |

$$k_{\sigma} = \left( \frac{\sigma'_{v0}}{p_a} \right)^{(f-1)} \leq 1$$

Dove:

$\sigma'_{v0}$  è la tensione verticale efficace

$p_a$  è la pressione atmosferica di riferimento

$f$  è un fattore che dipende dalla densità relativa del materiale in sito. In accordo a Youd et al (2001) il fattore  $f$  si può stimare come segue:

$40\% < DR < 60\% \rightarrow f = 0.7 - 0.8$

$60\% < DR < 80\% \rightarrow f = 0.6 - 0.7$

Nel presente studio, come in fase di PFTE, si è considerato  $f=0.7$ .

#### 6.2.6 Calcolo del fattore di sicurezza e dell'indice di potenziale liquefazione

In conclusione, in accordo a Youd et al. (2001) il fattore di sicurezza FL rispetto al fenomeno della liquefazione vale:

$$FL = \frac{CRR_{7.5}}{CSR} \cdot MSF \cdot k_{\sigma}$$

Con il fine di fornire una valutazione il più possibile quantitativa della pericolosità a liquefazione associabile ad ogni sondaggio, viene introdotto l'indice di Potenziale di Liquefazione (in letteratura LPI, Liquefaction Potential Index) in accordo a Iwasaki et al. (1982). Per ogni prova/sondaggio considerati, LPI viene determinato come segue:

$$LPI = \int_0^{20} F(z) \cdot W(z) dz$$

dove  $W(z)$  rappresenta un moltiplicatore (peso) linearmente decrescente con la profondità  $z$  (da 0 a 20 m) in grado di assegnare una maggiore importanza a ciò che avviene all'interno degli strati più superficiali, rispetto a fenomeni di generazione di pressioni interstiziali più profondi:

$$W(z) = 10 - \frac{1}{2}z$$

Nel metodo utilizzato viene altresì definita una funzione  $F(z)$  che lega il valore di LPI al fattore di sicurezza alla liquefazione FL, come segue:

per  $FL \geq 1 \rightarrow F(z) = 0$

per  $FL < 1 \rightarrow F(z) = 1 - FL$

Una volta calcolato il valore dell'indice del potenziale di liquefazione per la verticale considerata, è possibile associare al sito corrispondente una classe di pericolosità, secondo la classificazione proposta da Sonmez [2003] come da Tabella .

|                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna<br>PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria),<br>SETECO INGEGNERIA S.r.l.<br>ITEC ENGINEERING S.r.l. | INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13<br>TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA<br>(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)<br><br>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA |
| ELABORATI GENERALI<br>Relazione sismica                                                                                                                    | CODICE PROGETTO<br><b>24V25</b><br>LIVELLO PROG.<br><b>PF</b><br>TIPO DOC.<br><b>R</b><br>AMBITO<br><b>GT</b><br>PROGRESSIVO<br><b>101</b><br>REV.<br><b>r00</b>                                |

Iwasaki et al. (1982) hanno confrontato i valori di LPI calcolati come sopra con le risultanze di osservazioni condotte su un database di 63 siti presso i quali si è avuta liquefazione e 22 caratterizzati dalla sua assenza, a seguito di eventi sismici avvenuti in Giappone; la conclusione è che effetti severi di liquefazione si hanno per  $LPI > 15$ , mentre tali effetti non si osservano per  $LPI < 5$ . Queste considerazioni sono state ulteriormente sviluppate da Sonmez (2003), il quale ha raccomandato la classificazione di pericolosità a liquefazione in funzione di LPI come da Tabella 7.

| INDICE POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE LPI | PERICOLOSITÀ |
|---------------------------------------|--------------|
| $LPI = 0$                             | Nessuna      |
| $0 < LPI \leq 2$                      | Bassa        |
| $2 < LPI \leq 5$                      | Moderata     |
| $5 < LPI \leq 15$                     | Alta         |
| $LPI > 15$                            | Molto alta   |

**Tabella 7: Classi di pericolosità alla liquefazione in funzione di LPI (Sonmez, 2003).**

Si evidenzia ancora che questo indice ha un significato generale di potenziale rischio di liquefazione di un sito ma non esprime gli effetti che tale potenzialità hanno sulle opere presenti o da progettare nel sito. Per tale analisi è necessario affiancare la valutazione dei cedimenti post-sisma.

### 6.2.7 Parametri sismici

La categoria di sottosuolo è stata determinata tramite le prove MASW e DownHole eseguite ed è risultante una categoria di sottosuolo C.

Considerando poi le seguenti caratteristiche:

- Vita nominale  $V_N = 100$  anni
- Coefficiente d'uso  $C_u = 1.5$
- Classe d'uso  $C_u = III$
- Periodo di riferimento  $V_R = V_N \cdot C_u = 100 \cdot 1.5 = 150$  anni
- Classe di sottosuolo = Tipo C
- Classe topografica = T1
- Magnitudo = 6.0 (considerando eccedenza del 10% in 50 anni)
- Coefficiente MSF pari a 1.482, calcolato con relazione di Idriss e Boulanger (2004)
- Parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$  riportati in tabella 8.

Si ottiene  $a_{max} = 0.339$

| STATO LIMITE | SLV   |
|--------------|-------|
| $a_g$ (g)    | 0.256 |
| $F_0$ (-)    | 2.445 |
| $T_c^*$ (s)  | 0.295 |

|                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna<br>PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandatara),<br>SETECO INGEGNERIA S.r.l.<br>ITEC ENGINEERING S.r.l. | INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13<br>TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA<br>(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)<br><br>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA |
| ELABORATI GENERALI<br>Relazione sismica                                                                                                                   | CODICE PROGETTO<br><b>24V25</b><br>LIVELLO PROG.<br><b>PF</b><br>TIPO DOC.<br><b>R</b><br>AMBITO<br><b>GT</b><br>PROGRESSIVO<br><b>101</b><br>REV.<br><b>r00</b>                                |

|                                 |       |
|---------------------------------|-------|
| <b><math>S_s</math> (-)</b>     | 1.324 |
| <b><math>C_c</math> (-)</b>     | 1.571 |
| <b><math>S_T</math> (-)</b>     | 1.0   |
| <b><math>q</math> (-)</b>       | 0.800 |
| <b><math>a_{max}</math> (g)</b> | 0.339 |

**Tabella 8: Valori dei parametri sismici calcolati.**

## 6.3 Verifica a liquefazione sponda destra

### 6.3.1 CRR da prove SPT

È stata eseguita una verifica a liquefazione sulle prove SPT del sondaggio S1, con:

- peso di volume pari a 19 kN/m<sup>3</sup>
- parametri sismici indicati in Tabella
- livelli di falda posto a 11m come rilevato dal piezometro installato nel foro di sondaggio S1
- contenuto di fine in accordo a quanto determinato dalle prove di laboratorio: si rimanda alla relazione geotecnica di caratterizzazione, dove sono indicate le quantità di limo e argilla per ogni campione;

Per il sondaggio S1, avendo ottenuto un indice di potenziale liquefazione LPI pari a 0, il rischio di liquefazione è nullo. Si rimanda agli allegati per i dettagli analitici del calcolo.

### 6.3.2 CRR da prove geofisiche

Sono state effettuate le medesime verifiche anche sulle prove geofisiche disponibili, ovvero sulla prova MASW1, con:

- peso di volume pari a 19 kN/m<sup>3</sup>
- parametri sismici indicati in Tabella
- livelli di falda posto a 2m come rilevato dalla prova CPTu1, dato che la prova MASW1 la prova CPTu1 sono ubicate circa alla stessa quota
- contenuto di fine come rilevato dai campioni del sondaggio S1 (si rimanda alla relazione geotecnica di caratterizzazione per i dettagli)

Per la prova MASW1, avendo ottenuto un indice di potenziale liquefazione LPI pari a 30.55, il rischio è molto alto. Si rimanda agli allegati per i dettagli analitici del calcolo.

### 6.3.3 CRR da prove CPT

Sono state effettuate le medesime verifiche anche sulle prove CPT disponibili, con:

- peso di volume pari a 19 kN/m<sup>3</sup>
- parametri sismici indicati in Tabella
- livelli di falda posto a 2m come rilevato dalla prova CPTu1

|                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna<br>PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria),<br>SETECO INGEGNERIA S.r.l.<br>ITEC ENGINEERING S.r.l. | INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13<br>TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA<br>(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)<br><br>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA |
| ELABORATI GENERALI<br>Relazione sismica                                                                                                                    | CODICE PROGETTO<br><b>24V25</b><br>LIVELLO PROG.<br><b>PF</b><br>TIPO DOC.<br><b>R</b><br>AMBITO<br><b>GT</b><br>PROGRESSIVO<br><b>101</b><br>REV.<br><b>r00</b>                                |

- contenuto di fine come rilevato dai campioni del sondaggio S1 (si rimanda alla relazione geotecnica di caratterizzazione per i dettagli)

I risultati ottenuti sono riassunti nella tabella seguente, mentre si rimanda agli allegati per i dettagli analitici del calcolo.

| PROVA | LPI – IDRISS & BOULANGER (2004) | LPI – ROBERTSON & WRIDE (1998) |
|-------|---------------------------------|--------------------------------|
| CPTu1 | 5.52                            | 4.16                           |

**Tabella 9: Risultati da prova CPTu1.**

## 6.4 Verifica a liquefazione sponda sinistra

### 6.4.1 CRR da prove SPT

È stata eseguita una verifica a liquefazione sulle prove SPT del sondaggio S2, con:

- peso di volume pari a 19 kN/m<sup>3</sup>
- parametri sismici indicati in Tabella
- livelli di falda posto a 8.5m
- contenuto di fine in accordo a quanto determinato dalle prove di laboratorio: si rimanda alla relazione geotecnica di caratterizzazione, dove sono indicate le quantità di limo e argilla per ogni campione;

Per il sondaggio S2, avendo ottenuto un indice di potenziale liquefazione LPI pari a 0, il rischio di liquefazione è nullo. Si rimanda agli allegati per i dettagli analitici del calcolo.

### 6.4.2 CRR da prove geofisiche

Sono state effettuate le medesime verifiche anche sulle prove geofisiche disponibili, ovvero sulla prova MASW2 e sulla prova DownHole S2, con le medesime caratteristiche evidenziate per le prove SPT. Per quanto riguarda il contenuto di fine sono stati adottati i valori dei sondaggi limitrofi, ovvero S2.

Per la prova MASW2, avendo ottenuto un indice di potenziale liquefazione LPI pari a 1.84, il rischio è basso, mentre per la prova DownHole S2, avendo ottenuto un indice di potenziale liquefazione LPI pari a 6.58 il rischio è alto. Si rimanda agli allegati per i dettagli analitici del calcolo.

### 6.4.3 CRR da prove CPT

Sono state effettuate le medesime verifiche anche sulle prove CPT disponibili, con le medesime caratteristiche evidenziate per le prove SPT. Per quanto riguarda il contenuto di fine sono stati adottati i valori dei sondaggi limitrofi, ovvero S2.

I risultati ottenuti sono riassunti nella tabella seguente, mentre si rimanda agli allegati per i dettagli analitici del calcolo.

| PROVA | LPI – IDRISS & BOULANGER (2004) | LPI – ROBERTSON & WRIDE (1998) |
|-------|---------------------------------|--------------------------------|
|-------|---------------------------------|--------------------------------|

|                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna<br>PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria),<br>SETECO INGEGNERIA S.r.l.<br>ITEC ENGINEERING S.r.l. | INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13<br>TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA<br>(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)<br><br>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA |
| ELABORATI GENERALI<br>Relazione sismica                                                                                                                    | CODICE PROGETTO<br><b>24V25</b><br>LIVELLO PROG.<br><b>PF</b><br>TIPO DOC.<br><b>R</b><br>AMBITO<br><b>GT</b><br>PROGRESSIVO<br><b>101</b><br>REV.<br><b>r00</b>                                |

|       |      |      |
|-------|------|------|
| CPTu2 | 2.50 | 2.29 |
|-------|------|------|

**Tabella 10: Risultati da prova CPTu2**

## 6.5 Tabella riepilogativa dei risultati

Di seguito si riportano le tabelle riassuntive dei risultati delle verifiche a liquefazione eseguite.

| SPONDA   | INDAGINE | LPI (IWASAKI/SONMEZ) | PERICOLOSITÀ |
|----------|----------|----------------------|--------------|
| Destra   | SPT – S1 | 0                    | Nulla        |
|          | MASW1    | 30.55                | Molto alta   |
|          | CPTu1    | 5.52                 | Alta         |
| Sinistra | SPT – S2 | 0                    | Nulla        |
|          | MASW2    | 1.84                 | Bassa        |
|          | DH – S2  | 6.58                 | Alta         |
|          | CPTu2    | 2.50                 | Moderata     |

**Tabella 11: Riassunto dei risultati delle verifiche a liquefazione.**

## 6.6 Conclusioni

Considerando i risultati ottenuti dalle verifiche, e considerando che le prove CPT e le prove DownHole più affidabili rispetto alle prove SPT in quanto forniscono un dato continuativo e volumetrico piuttosto che puntuale, si ritiene che su entrambe le sponde sussista un rischio non trascurabile di liquefazione.

## 6.7 Stima dei cedimenti post liquefazione

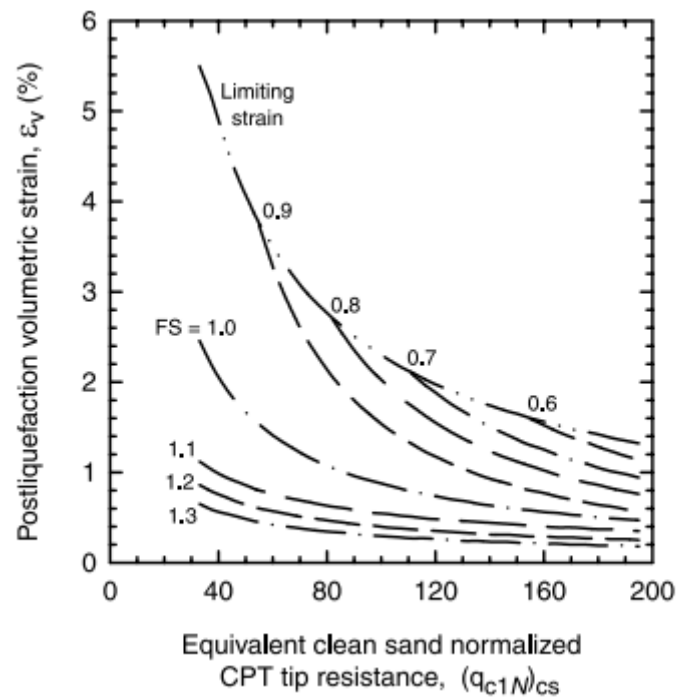
Sulla base dei risultati delle prove CPT eseguite è possibile stimare i cedimenti permanenti indotti dalla dissipazione delle sovrappressioni generate dalla liquefazione. In particolare, si farà riferimento al metodo proposto da Zhang et al. (2002). Il valore del cedimento attesa (s) risulta dall'espressione

$$\sum_{j=1}^n \varepsilon_{vj} \Delta z_j$$

Dove  $\varepsilon_{vj}$  rappresenta la deformata di volume post sismica dello strato j-esimo e  $\Delta z_j$  lo spessore dello strato. La deformazione specifica in termini percentuali risulta dall'espressione:

$$\varepsilon_v = \alpha \cdot (Q_{tn})_{cs}^{\beta}$$

|                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                         |                 |               |             |        |             |      |       |    |   |    |     |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------|-------------|--------|-------------|------|-------|----|---|----|-----|-----|
| <div>STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna</div> <div>PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria),<br/>SETECO INGEGNERIA S.r.l.<br/>ITEC ENGINEERING S.r.l.</div> | <div>INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13<br/>TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA<br/>(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)</div> <div>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA</div>        |                 |               |             |        |             |      |       |    |   |    |     |     |
| <div>ELABORATI GENERALI</div> <div>Relazione sismica</div>                                                                                                                      | <table><tr><td>CODICE PROGETTO</td><td>LIVELLO PROG.</td><td>TIPO DOC.</td><td>AMBITO</td><td>PROGRESSIVO</td><td>REV.</td></tr><tr><td>24V25</td><td>PF</td><td>R</td><td>GT</td><td>101</td><td>r00</td></tr></table> | CODICE PROGETTO | LIVELLO PROG. | TIPO DOC.   | AMBITO | PROGRESSIVO | REV. | 24V25 | PF | R | GT | 101 | r00 |
| CODICE PROGETTO                                                                                                                                                                 | LIVELLO PROG.                                                                                                                                                                                                           | TIPO DOC.       | AMBITO        | PROGRESSIVO | REV.   |             |      |       |    |   |    |     |     |
| 24V25                                                                                                                                                                           | PF                                                                                                                                                                                                                      | R               | GT            | 101         | r00    |             |      |       |    |   |    |     |     |



**Figura 18.: Relazione tra deformazione volumetrica post liquefazione e resistenza alla punta normalizzata, Zhang et al., 2002.**

I cedimenti calcolati sono riassunti di seguito:

- CPTu1: 0.41m (41 cm)
- CPTu2: 0.33m (33 cm)

Questi valori risultano inaccettabili per cui risulta necessario un intervento di consolidamento al fine di mitigare il rischio di liquefazione.

|                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna<br><br>PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria),<br>SETECO INGEGNERIA S.r.l.<br>ITEC ENGINEERING S.r.l. | INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13<br>TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA<br>(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)<br><br>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA |
| ELABORATI GENERALI<br>Relazione sismica                                                                                                                        | CODICE PROGETTO    LIVELLO PROG.    TIPO DOC.    AMBITO    PROGRESSIVO    REV.<br><b>24V25</b> <b>PF</b> <b>R</b> <b>GT</b> <b>101</b> <b>r00</b>                                               |

7. ALLEGATI

7.1 Verifica a liquefazione da prove SPT

| SPT - S1 |          |       |                  |          |                 |                  |                |      |                                 |                                    |      |                |      | IWASAKI ET AL. (1982) |      |                |     |              |                |
|----------|----------|-------|------------------|----------|-----------------|------------------|----------------|------|---------------------------------|------------------------------------|------|----------------|------|-----------------------|------|----------------|-----|--------------|----------------|
| z        | Litotipo | z     | N <sub>SPT</sub> | Litotipo | σ <sub>v0</sub> | σ' <sub>v0</sub> | C <sub>N</sub> | F.C. | (N <sub>1</sub> ) <sub>60</sub> | (N <sub>1</sub> ) <sub>60,CS</sub> | CRR  | r <sub>d</sub> | CSR  | CSR <sub>7.5</sub>    | w    | F <sub>L</sub> | F   | F(z)*w(z)*dz | I <sub>L</sub> |
| (m)      | (-)      | m     | (-)              | (-)      | (kPa)           | (kPa)            | (-)            | (%)  | (-)                             | (-)                                | (-)  | (?)            | (-)  | (-)                   | (m)  | (-)            | (-) | (m2)         | (m2)           |
| 2.22     | S        | 2.22  | 10               | S        | 40.0            | 40.0             | 1.58           | 42   | 15.82                           | 21.41                              | 0.22 | 0.97           | 0.21 | 0.14                  | 8.89 | 1.54922        | 0   | 0            | 0.00           |
| 4.22     | S        | 4.22  | 7                | S        | 76.0            | 76.0             | 1.15           | 42   | 8.03                            | 13.62                              | 0.14 | 0.94           | 0.21 | 0.14                  | 7.89 | 1.041961       | 0   | 0            | RISCHIO BASSO  |
| 6.22     | S        | 6.22  | 8                | S        | 112.0           | 112.0            | 0.95           | 42   | 7.56                            | 13.15                              | 0.14 | 0.89           | 0.20 | 0.13                  | 6.89 | 1.065798       | 0   | 0            |                |
| 8.22     | S        | 8.22  | 22               | A        | 148.0           | 148.0            | 0.82           | 42   | 18.09                           | 23.68                              | 0.26 | 0.84           | 0.19 | 0.13                  | 5.89 | 2.087777       | 0   | 0            |                |
| 10.22    | A        | 10.22 | 0                | S        | 184.0           | 184.0            | 0.74           | 64   | 0.00                            | 5.59                               | 0.09 | 0.79           | 0.17 | 0.08                  | 4.89 | 1.116175       | 0   | 0            |                |
| 16.22    | S        | 16.22 | 33               | S        | 292.0           | 239.8            | 0.65           | 67   | 21.31                           | 26.90                              | 0.34 | 0.65           | 0.17 | 0.08                  | 1.89 | 4.275629       | 0   | 0            |                |
| 18.22    | S        | 18.22 | 14               | L        | 328.0           | 255.8            | 0.63           | 67   | 8.75                            | 14.34                              | 0.15 | 0.61           | 0.17 | 0.12                  | 0.89 | 1.295121       | 0   | 0            |                |
| 20.22    | L        | 20.22 | 8                | L        | 364.0           | 271.8            | 0.61           | 28   | 4.85                            | 10.12                              | 0.12 | 0.63           | 0.19 | 0.13                  |      |                |     |              |                |
| 22.22    | L        | 22.22 | 10               | L        | 400.0           | 287.8            | 0.59           | 28   | 5.90                            | 11.17                              | 0.13 | 0.58           | 0.18 | 0.12                  |      |                |     |              |                |
| 24.22    | L        | 24.22 | 26               | L        | 436.0           | 303.8            | 0.57           | 59   | 14.92                           | 20.52                              | 0.21 | 0.53           | 0.17 | 0.11                  |      |                |     |              |                |
| 26.22    | L        | 26.22 | 19               | L        | 472.0           | 319.8            | 0.56           | 59   | 10.63                           | 16.23                              | 0.17 | 0.47           | 0.15 | 0.10                  |      |                |     |              |                |
| 28.22    | L        | 28.22 | 26               | L        | 508.0           | 335.8            | 0.55           | 9    | 14.19                           | 14.91                              | 0.16 | 0.42           | 0.14 | 0.09                  |      |                |     |              |                |
| 30.22    | L        | 30.22 | 24               | L        | 544.0           | 351.8            | 0.53           | 9    | 12.80                           | 13.52                              | 0.14 | 0.37           | 0.13 | 0.08                  |      |                |     |              |                |
| 32.22    | L        | 32.22 | 21               | L        | 580.0           | 367.8            | 0.52           | 89   | 10.95                           | 16.47                              | 0.17 | 0.31           | 0.11 | 0.07                  |      |                |     |              |                |
| 34.22    | L        | 34.22 | 26               |          | 616.0           | 383.8            | 0.51           | 89   | 13.27                           | 18.79                              | 0.19 | 0.26           | 0.09 | 0.06                  |      |                |     |              |                |

| SPT - S2 |          |       |                  |          |                 |                  |                |      |                                 |                                    |      |                |      | IWASAKI ET AL. (1982) |      |                |     |              |                |
|----------|----------|-------|------------------|----------|-----------------|------------------|----------------|------|---------------------------------|------------------------------------|------|----------------|------|-----------------------|------|----------------|-----|--------------|----------------|
| z        | Litotipo | z     | N <sub>SPT</sub> | Litotipo | σ <sub>v0</sub> | σ' <sub>v0</sub> | C <sub>N</sub> | F.C. | (N <sub>1</sub> ) <sub>60</sub> | (N <sub>1</sub> ) <sub>60,CS</sub> | CRR  | r <sub>d</sub> | CSR  | CSR <sub>7.5</sub>    | w    | F <sub>L</sub> | F   | F(z)*w(z)*dz | I <sub>L</sub> |
| (m)      | (-)      | m     | (-)              | (-)      | (kPa)           | (kPa)            | (-)            | (%)  | (-)                             | (-)                                | (-)  | (?)            | (-)  | (-)                   | (m)  | (-)            | (-) | (m2)         | (m2)           |
| 2.22     | S        | 2.22  | 10               | S        | 40.0            | 40.0             | 1.58           | 55   | 15.82                           | 21.43                              | 0.22 | 0.97           | 0.21 | 0.14                  | 8.89 | 1.551226       | 0   | 0            | 0.00           |
| 4.22     | S        | 4.22  | 10               | S        | 76.0            | 76.0             | 1.15           | 55   | 11.47                           | 17.09                              | 0.17 | 0.94           | 0.21 | 0.14                  | 7.89 | 1.256406       | 0   | 0            | RISCHIO BASSO  |
| 6.22     | S        | 6.22  | 10               | S        | 112.0           | 112.0            | 0.95           | 55   | 9.45                            | 15.06                              | 0.16 | 0.89           | 0.20 | 0.13                  | 6.89 | 1.182334       | 0   | 0            |                |
| 8.22     | S        | 8.22  | 9                | S        | 148.0           | 148.0            | 0.82           | 34   | 7.40                            | 12.88                              | 0.14 | 0.84           | 0.19 | 0.13                  | 5.89 | 1.109625       | 0   | 0            |                |
| 10.22    | S        | 10.22 | 17               | S        | 184.0           | 166.8            | 0.77           | 34   | 13.16                           | 18.65                              | 0.19 | 0.79           | 0.19 | 0.09                  | 4.89 | 2.150846       | 0   | 0            |                |
| 12.22    | S        | 12.22 | 19               | S        | 220.0           | 182.8            | 0.74           | 34   | 14.05                           | 19.54                              | 0.20 | 0.74           | 0.20 | 0.09                  | 3.89 | 2.211472       | 0   | 0            |                |
| 14.22    | S        | 14.22 | 33               | L        | 256.0           | 198.8            | 0.71           | 28   | 23.41                           | 28.68                              | 0.41 | 0.70           | 0.20 | 0.13                  | 2.89 | 3.097418       | 0   | 0            |                |
| 16.22    | L        | 16.22 | 42               | L        | 292.0           | 214.8            | 0.68           | 28   | 28.66                           | 33.93                              | 0.90 | 0.65           | 0.20 | 0.13                  | 1.89 | 6.810427       | 0   | 0            |                |
| 18.22    | L        | 18.22 | 51               | L        | 328.0           | 230.8            | 0.66           | 28   | 33.57                           | 38.84                              | 2.89 | 0.61           | 0.19 | 0.13                  | 0.89 | 22.40101       | 0   | 0            |                |
| 20.22    | L        | 20.22 | 14               | L        | 364.0           | 246.8            | 0.64           | 89   | 8.91                            | 14.43                              | 0.15 | 0.63           | 0.21 | 0.14                  |      |                |     |              |                |
| 22.22    | L        | 22.22 | 4                | L        | 400.0           | 262.8            | 0.62           | 89   | 2.47                            | 7.98                               | 0.10 | 0.58           | 0.19 | 0.13                  |      |                |     |              |                |
| 24.8     | L        | 24.8  | 17               | L        | 446.4           | 283.4            | 0.59           | 60   | 10.10                           | 15.70                              | 0.16 | 0.51           | 0.18 | 0.12                  |      |                |     |              |                |
| 26.22    | L        | 26.22 | 17               | L        | 472.0           | 294.8            | 0.58           | 60   | 9.90                            | 15.50                              | 0.16 | 0.47           | 0.17 | 0.11                  |      |                |     |              |                |
| 28.22    | L        | 28.22 | 13               | S        | 508.0           | 310.8            | 0.57           | 68   | 7.37                            | 12.96                              | 0.14 | 0.42           | 0.15 | 0.10                  |      |                |     |              |                |
| 30.22    | S        | 30.22 | 24               |          | 544.0           | 326.8            | 0.55           | 68   | 13.28                           | 18.86                              | 0.19 | 0.37           | 0.13 | 0.09                  |      |                |     |              |                |

|                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna<br><br>PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria),<br>SETECO INGEGNERIA S.r.l.<br>ITEC ENGINEERING S.r.l. | INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13<br>TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA<br>(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)<br><br>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA |
| ELABORATI GENERALI<br>Relazione sismica                                                                                                                        | CODICE PROGETTO<br><b>24V25</b><br><br>LIVELLO PROG.<br><b>PF</b><br><br>TIPO DOC.<br><b>R</b><br><br>AMBITO<br><b>GT</b><br><br>PROGRESSIVO<br><b>101</b><br><br>REV.<br><b>r00</b>            |

7.2 Verifica a liquefazione da prove geofisiche

| MASW1 |                |                 |                 |      |                 |     |                  |                   |                |        |                    |                   | IWASAKI ET AL. (1982) |                |           |            |                 |
|-------|----------------|-----------------|-----------------|------|-----------------|-----|------------------|-------------------|----------------|--------|--------------------|-------------------|-----------------------|----------------|-----------|------------|-----------------|
| z     | V <sub>s</sub> | σ <sub>vm</sub> | σ <sub>vm</sub> | CV   | V <sub>s1</sub> | FC  | V* <sub>s1</sub> | CRR               | r <sub>d</sub> | CSR    | CSR <sub>7.5</sub> |                   | w                     | F <sub>L</sub> | F         | (z)*w(z)*d | I <sub>L</sub>  |
| (m)   | (m/s)          | (kPa)           | (kPa)           | (-)  | (m/s)           | (%) | (-)              | (-)               | (?)            | (-)    | (-)                |                   | (m)                   | (-)            | (-)       | (m2)       | (m2)            |
| 1.0   | 115            | 19.0            | 19.0            | 1.40 | 161.00          | 42  | 200.00           | 0.11              | 0.99           | 0.219  | 0.148              | 0.776723263       | 9.5                   | 0.7767233      | 0.2232767 | 1.0605645  | 30.55569486     |
| 2.0   | 115            | 38.0            | 38.0            | 1.27 | 146.47          | 42  | 200.00           | 0.09              | 0.98           | 0.215  | 0.145              | 0.588084177       | 9                     | 0.5880842      | 0.4119158 | 4.7678069  | DESTABILIZZANTE |
| 3.0   | 115            | 57.0            | 47.0            | 1.21 | 138.89          | 42  | 200.00           | 0.07              | 0.96           | 0.256  | 0.173              | 0.429114863       | 8.5                   | 0.4291149      | 0.5708851 | 6.7061449  |                 |
| 4.0   | 115            | 76.0            | 56.0            | 1.16 | 132.94          | 42  | 200.00           | 0.07              | 0.94           | 0.281  | 0.190              | 0.351349605       | 8                     | 0.3513496      | 0.6486504 | 7.615465   |                 |
| 5.0   | 115            | 95.0            | 65.0            | 1.11 | 128.08          | 42  | 200.00           | 0.06              | 0.92           | 0.296  | 0.200              | 0.305678933       | 7.5                   | 0.3056789      | 0.6943211 | 7.8020096  |                 |
| 6.0   | 190            | 114.0           | 74.0            | 1.08 | 204.85          | 42  | 200.00           | NON LIQUEFACIBILE | 0.90           | 0.304  | 0.205              | NON LIQUEFACIBILE | 7                     |                | 0         | 2.603704   |                 |
| 7.0   | 190            | 133.0           | 83.0            | 1.05 | 199.06          | 42  | 200.00           | 3.05              | 0.87           | 0.308  | 0.208              | 14.67715949       | 6.5                   | 14.677159      | 0         | 0          |                 |
| 8.0   | 190            | 152.0           | 92.0            | 1.02 | 194.00          | 42  | 200.00           | 0.54              | 0.85           | 0.309  | 0.208              | 2.569124581       | 6                     | 2.5691246      | 0         | 0          |                 |
| 9.0   | 190            | 171.0           | 101.0           | 1.00 | 189.53          | 64  | 200.00           | 0.33              | 0.82           | 0.307  | 0.207              | 1.602110066       | 5.5                   | 1.6021101      | 0         | 0          |                 |
| 10.0  | 190            | 190.0           | 110.0           | 0.98 | 185.53          | 64  | 200.00           | 0.26              | 0.80           | 0.304  | 0.205              | 1.242878574       | 5                     | 1.2428786      | 0         | 0          |                 |
| 11.0  | 190            | 209.0           | 119.0           | 0.96 | 181.91          | 64  | 200.00           | 0.21              | 0.77           | 0.300  | 0.202              | 1.056023436       | 4.5                   | 1.0560234      | 0         | 0          |                 |
| 12.0  | 210            | 228.0           | 128.0           | 0.94 | 197.43          | 64  | 200.00           | 1.16              | 0.75           | 0.294  | 0.199              | 5.849493602       | 4                     | 5.8494936      | 0         | 0          |                 |
| 13.0  | 210            | 247.0           | 137.0           | 0.92 | 194.11          | 64  | 200.00           | 0.54              | 0.73           | 0.288  | 0.195              | 2.795982855       | 3.5                   | 2.7959829      | 0         | 0          |                 |
| 14.0  | 210            | 266.0           | 146.0           | 0.91 | 191.04          | 64  | 200.00           | 0.38              | 0.70           | 0.282  | 0.190              | 1.992552059       | 3                     | 1.9925521      | 0         | 0          |                 |
| 15.0  | 210            | 285.0           | 155.0           | 0.90 | 188.21          | 67  | 200.00           | 0.30              | 0.68           | 0.275  | 0.186              | 1.62385746        | 2.5                   | 1.6238575      | 0         | 0          |                 |
| 16.0  | 210            | 304.0           | 164.0           | 0.88 | 185.57          | 67  | 200.00           | 0.26              | 0.66           | 0.268  | 0.181              | 1.413844008       | 2                     | 1.413844       | 0         | 0          |                 |
| 17.0  | 210            | 323.0           | 173.0           | 0.87 | 183.11          | 67  | 200.00           | 0.23              | 0.63           | 0.261  | 0.176              | 1.279444271       | 1.5                   | 1.2794443      | 0         | 0          |                 |
| 18.0  | 210            | 342.0           | 182.0           | 0.86 | 180.80          | 67  | 200.00           | 0.20              | 0.61           | 0.254  | 0.172              | 1.186930747       | 1                     | 1.1869307      | 0         | 0          |                 |
| 19.0  | 210            | 361.0           | 191.0           | 0.85 | 178.63          | 67  | 200.00           | 0.19              | 0.59           | 0.248  | 0.167              | 1.119955456       | 0.5                   | 1.1199555      | 0         | 0          |                 |
| 20.0  | 210            | 380.0           | 200.0           | 0.84 | 176.59          | 28  | 203.50           | 0.16              | 0.58           | 0.241  | 0.163              | 0.975562676       | 0                     | 0.9755627      | 0.0244373 | 0          |                 |
| 21.0  | 210            | 399.0           | 209.0           | 0.83 | 174.66          | 28  | 203.50           | 0.15              | 0.61           | 0.258  | 0.174              | 0.8638419         |                       |                |           |            |                 |
| 22.0  | 245            | 418.0           | 218.0           | 0.82 | 201.63          | 28  | 203.50           | 1.57              | 0.59           | 0.248  | 0.167              | 9.396339162       |                       |                |           |            |                 |
| 23.0  | 245            | 437.0           | 227.0           | 0.81 | 199.60          | 28  | 203.50           | 0.79              | 0.56           | 0.238  | 0.160              | 4.939065948       |                       |                |           |            |                 |
| 24.0  | 245            | 456.0           | 236.0           | 0.81 | 197.67          | 59  | 200.00           | 1.27              | 0.53           | 0.227  | 0.153              | 8.308438538       |                       |                |           |            |                 |
| 25.0  | 245            | 475.0           | 245.0           | 0.80 | 195.83          | 59  | 200.00           | 0.74              | 0.51           | 0.216  | 0.146              | 5.077109517       |                       |                |           |            |                 |
| 26.0  | 245            | 494.0           | 254.0           | 0.79 | 194.07          | 59  | 200.00           | 0.54              | 0.48           | 0.206  | 0.139              | 3.898226298       |                       |                |           |            |                 |
| 27.0  | 245            | 513.0           | 263.0           | 0.79 | 192.39          | 59  | 200.00           | 0.44              | 0.45           | 0.195  | 0.131              | 3.31132256        |                       |                |           |            |                 |
| 28.0  | 245            | 532.0           | 272.0           | 0.78 | 190.78          | 9   | 213.00           | 0.19              | 0.43           | 0.184  | 0.124              | 1.555331419       |                       |                |           |            |                 |
| 29.0  | 245            | 551.0           | 281.0           | 0.77 | 189.23          | 9   | 213.00           | 0.18              | 0.40           | 0.173  | 0.117              | 1.573619339       |                       |                |           |            |                 |
| 30.0  | 245            | 570.0           | 290.0           | 0.77 | 187.74          | 9   | 213.00           | 0.18              | 0.37           | 0.162  | 0.109              | 1.607415832       |                       |                |           |            |                 |
| 31.0  | 270            | 589.0           | 299.0           | 0.76 | 205.33          | 9   | 213.00           | 0.44              | 0.35           | 0.150  | 0.101              | 4.381375964       |                       |                |           |            |                 |
| 32.0  | 270            | 608.0           | 308.0           | 0.75 | 203.81          | 89  | 200.00           | NON LIQUEFACIBILE | 0.32           | 0.139  | 0.094              | NON LIQUEFACIBILE |                       |                |           |            |                 |
| 33.0  | 270            | 627.0           | 317.0           | 0.75 | 202.35          | 89  | 200.00           | NON LIQUEFACIBILE | 0.29           | 0.128  | 0.086              | NON LIQUEFACIBILE |                       |                |           |            |                 |
| 34.0  | 270            | 646.0           | 326.0           | 0.74 | 200.94          | 89  | 200.00           | NON LIQUEFACIBILE | 0.27           | 0.116  | 0.078              | NON LIQUEFACIBILE |                       |                |           |            |                 |
| 35.0  | 270            | 665.0           | 335.0           | 0.74 | 199.57          | 89  | 200.00           | 6.64              | 0.24           | 0.105  | 0.071              | 93.85843052       |                       |                |           |            |                 |
| 36.0  | 270            | 684.0           | 344.0           | 0.73 | 198.26          | 89  | 200.00           | 1.68              | 0.21           | 0.093  | 0.063              | 26.64992737       |                       |                |           |            |                 |
| 37.0  | 270            | 703.0           | 353.0           | 0.73 | 196.98          | 89  | 200.00           | 1.00              | 0.19           | 0.082  | 0.055              | 18.11009236       |                       |                |           |            |                 |
| 38.0  | 270            | 722.0           | 362.0           | 0.72 | 195.74          | 89  | 200.00           | 0.73              | 0.16           | 0.070  | 0.047              | 15.39812889       |                       |                |           |            |                 |
| 39.0  | 270            | 741.0           | 371.0           | 0.72 | 194.55          | 89  | 200.00           | 0.58              | 0.13           | 0.058  | 0.039              | 14.77904258       |                       |                |           |            |                 |
| 40.0  | 270            | 760.0           | 380.0           | 0.72 | 193.38          | 89  | 200.00           | 0.49              | 0.11           | 0.047  | 0.032              | 15.58578127       |                       |                |           |            |                 |
| 41.0  | 270            | 779.0           | 389.0           | 0.71 | 192.25          | 89  | 200.00           | 0.43              | 0.08           | 0.035  | 0.024              | 18.15617131       |                       |                |           |            |                 |
| 42.0  | 270            | 798.0           | 398.0           | 0.71 | 191.16          | 89  | 200.00           | 0.38              | 0.05           | 0.023  | 0.016              | 24.42247923       |                       |                |           |            |                 |
| 43.0  | 270            | 817.0           | 407.0           | 0.70 | 190.09          | 89  | 200.00           | 0.35              | 0.03           | 0.011  | 0.008              | 45.02059536       |                       |                |           |            |                 |
| 44.0  | 270            | 836.0           | 416.0           | 0.70 | 189.06          | 89  | 200.00           | 0.32              | 0.00           | 0.000  | 0.000              | -1340.342746      |                       |                |           |            |                 |
| 45.0  | 270            | 855.0           | 425.0           | 0.70 | 188.05          | 89  | 200.00           | 0.30              | -0.03          | -0.012 | -0.008             | -36.22372279      |                       |                |           |            |                 |
| 46.0  | 270            | 874.0           | 434.0           | 0.69 | 187.06          | 89  | 200.00           | 0.28              | -0.05          | -0.024 | -0.016             | -17.21431662      |                       |                |           |            |                 |
| 47.0  | 270            | 893.0           | 443.0           | 0.69 | 186.11          | 89  | 200.00           | 0.26              | -0.08          | -0.036 | -0.024             | -10.87419283      |                       |                |           |            |                 |
| 48.0  | 270            | 912.0           | 452.0           | 0.69 | 185.17          | 89  | 200.00           | 0.25              | -0.11          | -0.048 | -0.032             | -7.751589662      |                       |                |           |            |                 |
| 49.0  | 270            | 931.0           | 461.0           | 0.68 | 184.26          | 89  | 200.00           | 0.24              | -0.13          | -0.060 | -0.040             | -5.915681607      |                       |                |           |            |                 |
| 50.0  | 270            | 950.0           | 470.0           | 0.68 | 183.37          | 89  | 200.00           | 0.23              | -0.16          | -0.072 | -0.048             | -4.719031574      |                       |                |           |            |                 |

|                                                                                                    |                                                                                                                                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna                                               | INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13<br>TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA<br>(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)                    |
| PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria),<br>SETECO INGEGNERIA S.r.l.<br>ITEC ENGINEERING S.r.l. | PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA                                                                                                                       |
| ELABORATI GENERALI<br>Relazione sismica                                                            | CODICE PROGETTO<br><b>24V25</b><br>LIVELLO PROG.<br><b>PF</b><br>TIPO DOC.<br><b>R</b><br>AMBITO<br><b>GT</b><br>PROGRESSIVO<br><b>101</b><br>REV.<br><b>r00</b> |

| MASW2 |                |                 |                  |      |                 |     |                              |                   |                |        |                    | IWASAKI ET AL. (1982) |                |           |                         |                |
|-------|----------------|-----------------|------------------|------|-----------------|-----|------------------------------|-------------------|----------------|--------|--------------------|-----------------------|----------------|-----------|-------------------------|----------------|
| z     | V <sub>s</sub> | σ <sub>vo</sub> | σ' <sub>vo</sub> | CV   | V <sub>s1</sub> | FC  | V <sup>*</sup> <sub>s1</sub> | CRR               | r <sub>d</sub> | CSR    | CSR <sub>7.5</sub> | w                     | F <sub>L</sub> | F         | {z}*w(z)*d <sub>i</sub> | I <sub>L</sub> |
| (m)   | (m/s)          | (kPa)           | (kPa)            | (-)  | (m/s)           | (%) | (-)                          | (-)               | (?)            | (-)    | (-)                | (m)                   | (-)            | (-)       | (m2)                    | (m2)           |
| 1.0   | 180            | 19.0            | 19.0             | 1.40 | 252.00          | 55  | 200.00                       | NON LIQUEFACIBILE | 0.99           | 0.219  | 0.148              | 9.5                   |                | 0         | 0                       | 1.842832859    |
| 2.0   | 180            | 38.0            | 38.0             | 1.27 | 229.26          | 55  | 200.00                       | NON LIQUEFACIBILE | 0.98           | 0.215  | 0.145              | 9                     |                | 0         | 0                       | RISCHIO BASSO  |
| 3.0   | 180            | 57.0            | 57.0             | 1.15 | 207.16          | 55  | 200.00                       | NON LIQUEFACIBILE | 0.96           | 0.211  | 0.143              | 8.5                   |                | 0         | 0                       |                |
| 4.0   | 180            | 76.0            | 76.0             | 1.07 | 192.78          | 55  | 200.00                       | 0.46              | 0.94           | 0.207  | 0.140              | 8                     | 3.26137648     | 0         | 0                       |                |
| 5.0   | 230            | 95.0            | 95.0             | 1.01 | 232.97          | 55  | 200.00                       | NON LIQUEFACIBILE | 0.92           | 0.202  | 0.137              | 7.5                   |                | 0         | 0                       |                |
| 6.0   | 230            | 114.0           | 114.0            | 0.97 | 222.59          | 55  | 200.00                       | NON LIQUEFACIBILE | 0.90           | 0.197  | 0.133              | 7                     |                | 0         | 0                       |                |
| 7.0   | 230            | 133.0           | 133.0            | 0.93 | 214.17          | 55  | 200.00                       | NON LIQUEFACIBILE | 0.87           | 0.192  | 0.130              | 6.5                   |                | 0         | 0                       |                |
| 8.0   | 230            | 152.0           | 152.0            | 0.90 | 207.14          | 55  | 200.00                       | NON LIQUEFACIBILE | 0.85           | 0.187  | 0.126              | 6                     |                | 0         | 0                       |                |
| 9.0   | 230            | 171.0           | 166.0            | 0.88 | 202.63          | 34  | 200.50                       | NON LIQUEFACIBILE | 0.82           | 0.187  | 0.126              | 5.5                   |                | 0         | 0                       |                |
| 10.0  | 230            | 190.0           | 175.0            | 0.87 | 199.97          | 34  | 200.50                       | 5.37              | 0.80           | 0.191  | 0.129              | 5                     | 41.63423656    | 0         | 0                       |                |
| 11.0  | 230            | 209.0           | 184.0            | 0.86 | 197.48          | 34  | 200.50                       | 1.00              | 0.77           | 0.194  | 0.131              | 4.5                   | 7.63609408     | 0         | 0                       |                |
| 12.0  | 200            | 228.0           | 193.0            | 0.85 | 169.68          | 34  | 200.50                       | 0.14              | 0.75           | 0.195  | 0.132              | 4                     | 1.064509889    | 0         | 0                       |                |
| 13.0  | 200            | 247.0           | 202.0            | 0.84 | 167.76          | 34  | 200.50                       | 0.13              | 0.73           | 0.195  | 0.132              | 3.5                   | 1.0116021      | 0         | 0                       |                |
| 14.0  | 200            | 266.0           | 211.0            | 0.83 | 165.94          | 28  | 203.50                       | 0.12              | 0.70           | 0.195  | 0.132              | 3                     | 0.9224654      | 0.0775346 | 0.2326037               |                |
| 15.0  | 200            | 285.0           | 220.0            | 0.82 | 164.22          | 28  | 203.50                       | 0.12              | 0.68           | 0.194  | 0.131              | 2.5                   | 0.8936899      | 0.1063101 | 0.3820771               |                |
| 16.0  | 200            | 304.0           | 229.0            | 0.81 | 162.58          | 28  | 203.50                       | 0.11              | 0.66           | 0.192  | 0.130              | 2                     | 0.8707208      | 0.1292792 | 0.3914461               |                |
| 17.0  | 200            | 323.0           | 238.0            | 0.81 | 161.02          | 28  | 203.50                       | 0.11              | 0.63           | 0.190  | 0.128              | 1.5                   | 0.852276684    | 0.1477233 | 0.3508642               |                |
| 18.0  | 200            | 342.0           | 247.0            | 0.80 | 159.53          | 28  | 203.50                       | 0.11              | 0.61           | 0.187  | 0.126              | 1                     | 0.837366189    | 0.1626338 | 0.2734263               |                |
| 19.0  | 200            | 361.0           | 256.0            | 0.79 | 158.11          | 28  | 203.50                       | 0.10              | 0.59           | 0.185  | 0.125              | 0.5                   | 0.825201934    | 0.1747981 | 0.1687159               |                |
| 20.0  | 200            | 380.0           | 265.0            | 0.78 | 156.75          | 89  | 200.00                       | 0.10              | 0.58           | 0.182  | 0.123              | 0                     | 0.852622516    | 0.1473775 | 0.0436995               |                |
| 21.0  | 200            | 399.0           | 274.0            | 0.78 | 155.45          | 89  | 200.00                       | 0.10              | 0.61           | 0.197  | 0.133              |                       | 0.768038691    |           |                         |                |
| 22.0  | 200            | 418.0           | 283.0            | 0.77 | 154.20          | 89  | 200.00                       | 0.10              | 0.59           | 0.191  | 0.129              |                       | 0.771739048    |           |                         |                |
| 23.0  | 200            | 437.0           | 292.0            | 0.76 | 153.00          | 89  | 200.00                       | 0.10              | 0.56           | 0.185  | 0.125              |                       | 0.778915896    |           |                         |                |
| 24.0  | 260            | 456.0           | 301.0            | 0.76 | 197.39          | 60  | 200.00                       | 1.15              | 0.53           | 0.178  | 0.120              |                       | 9.537134749    |           |                         |                |
| 25.0  | 260            | 475.0           | 310.0            | 0.75 | 195.94          | 60  | 200.00                       | 0.76              | 0.51           | 0.171  | 0.115              |                       | 6.592040119    |           |                         |                |
| 26.0  | 260            | 494.0           | 319.0            | 0.75 | 194.55          | 60  | 200.00                       | 0.58              | 0.48           | 0.164  | 0.111              |                       | 5.27394971     |           |                         |                |
| 27.0  | 260            | 513.0           | 328.0            | 0.74 | 193.20          | 60  | 200.00                       | 0.48              | 0.45           | 0.156  | 0.105              |                       | 4.552598809    |           |                         |                |
| 28.0  | 260            | 532.0           | 337.0            | 0.74 | 191.90          | 68  | 200.00                       | 0.41              | 0.43           | 0.148  | 0.100              |                       | 4.120632364    |           |                         |                |
| 29.0  | 260            | 551.0           | 346.0            | 0.73 | 190.64          | 68  | 200.00                       | 0.36              | 0.40           | 0.140  | 0.095              |                       | 3.855270328    |           |                         |                |
| 30.0  | 260            | 570.0           | 355.0            | 0.73 | 189.42          | 68  | 200.00                       | 0.33              | 0.37           | 0.132  | 0.089              |                       | 3.69903806     |           |                         |                |
| 31.0  | 270            | 589.0           | 364.0            | 0.72 | 195.47          | 68  | 200.00                       | 0.69              | 0.35           | 0.123  | 0.083              |                       | 8.263511421    |           |                         |                |
| 32.0  | 270            | 608.0           | 373.0            | 0.72 | 194.28          | 68  | 200.00                       | 0.56              | 0.32           | 0.115  | 0.077              |                       | 7.213258537    |           |                         |                |
| 33.0  | 270            | 627.0           | 382.0            | 0.72 | 193.13          | 68  | 200.00                       | 0.48              | 0.29           | 0.106  | 0.072              |                       | 6.651448847    |           |                         |                |
| 34.0  | 270            | 646.0           | 391.0            | 0.71 | 192.01          | 68  | 200.00                       | 0.42              | 0.27           | 0.097  | 0.065              |                       | 6.382214505    |           |                         |                |
| 35.0  | 270            | 665.0           | 400.0            | 0.71 | 190.92          | 68  | 200.00                       | 0.37              | 0.24           | 0.088  | 0.059              |                       | 6.324491346    |           |                         |                |
| 36.0  | 270            | 684.0           | 409.0            | 0.70 | 189.86          | 68  | 200.00                       | 0.34              | 0.21           | 0.078  | 0.053              |                       | 6.450825068    |           |                         |                |
| 37.0  | 270            | 703.0           | 418.0            | 0.70 | 188.83          | 68  | 200.00                       | 0.32              | 0.19           | 0.069  | 0.047              |                       | 6.769315186    |           |                         |                |
| 38.0  | 270            | 722.0           | 427.0            | 0.70 | 187.83          | 68  | 200.00                       | 0.29              | 0.16           | 0.059  | 0.040              |                       | 7.324975348    |           |                         |                |
| 39.0  | 270            | 741.0           | 436.0            | 0.69 | 186.85          | 68  | 200.00                       | 0.28              | 0.13           | 0.050  | 0.034              |                       | 8.220484402    |           |                         |                |
| 40.0  | 270            | 760.0           | 445.0            | 0.69 | 185.90          | 68  | 200.00                       | 0.26              | 0.11           | 0.040  | 0.027              |                       | 9.678114073    |           |                         |                |
| 41.0  | 270            | 779.0           | 454.0            | 0.69 | 184.97          | 68  | 200.00                       | 0.25              | 0.08           | 0.030  | 0.020              |                       | 12.23309806    |           |                         |                |
| 42.0  | 270            | 798.0           | 463.0            | 0.68 | 184.06          | 68  | 200.00                       | 0.24              | 0.05           | 0.020  | 0.013              |                       | 17.520885      |           |                         |                |
| 43.0  | 270            | 817.0           | 472.0            | 0.68 | 183.18          | 68  | 200.00                       | 0.23              | 0.03           | 0.010  | 0.007              |                       | 33.93933812    |           |                         |                |
| 44.0  | 270            | 836.0           | 481.0            | 0.68 | 182.32          | 68  | 200.00                       | 0.22              | 0.00           | 0.000  | 0.000              |                       | -1051.647777   |           |                         |                |
| 45.0  | 270            | 855.0           | 490.0            | 0.67 | 181.47          | 68  | 200.00                       | 0.21              | -0.03          | -0.011 | -0.007             |                       | -29.36906371   |           |                         |                |
| 46.0  | 270            | 874.0           | 499.0            | 0.67 | 180.65          | 68  | 200.00                       | 0.20              | -0.05          | -0.021 | -0.014             |                       | -14.34280305   |           |                         |                |
| 47.0  | 270            | 893.0           | 508.0            | 0.67 | 179.84          | 68  | 200.00                       | 0.20              | -0.08          | -0.031 | -0.021             |                       | -9.270689799   |           |                         |                |
| 48.0  | 270            | 912.0           | 517.0            | 0.66 | 179.06          | 68  | 200.00                       | 0.19              | -0.11          | -0.042 | -0.028             |                       | -6.73878557    |           |                         |                |
| 49.0  | 270            | 931.0           | 526.0            | 0.66 | 178.29          | 68  | 200.00                       | 0.18              | -0.13          | -0.052 | -0.035             |                       | -5.229537736   |           |                         |                |
| 50.0  | 270            | 950.0           | 535.0            | 0.66 | 177.53          | 68  | 200.00                       | 0.18              | -0.16          | -0.063 | -0.043             |                       | -4.232435949   |           |                         |                |

|                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna<br><br>PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria),<br>SETECO INGEGNERIA S.r.l.<br>ITEC ENGINEERING S.r.l. | INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13<br>TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA<br>(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)<br><br>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA |
| ELABORATI GENERALI<br>Relazione sismica                                                                                                                        | CODICE PROGETTO<br><b>24V25</b><br><br>LIVELLO PROG.<br><b>PF</b><br><br>TIPO DOC.<br><b>R</b><br><br>AMBITO<br><b>GT</b><br><br>PROGRESSIVO<br><b>101</b><br><br>REV.<br><b>r00</b>            |

| DH-S2 |                |                 |                  |      |                 |     |                  |                   |                |        |                    |                   | IWASAKI ET AL. (1982) |                |          |           |                 |
|-------|----------------|-----------------|------------------|------|-----------------|-----|------------------|-------------------|----------------|--------|--------------------|-------------------|-----------------------|----------------|----------|-----------|-----------------|
| z     | V <sub>s</sub> | σ <sub>vo</sub> | σ' <sub>vo</sub> | CV   | V <sub>s1</sub> | FC  | V* <sub>s1</sub> | CRR               | r <sub>d</sub> | CSR    | CSR <sub>γ,5</sub> |                   | w                     | F <sub>L</sub> | F        | z *w(z)*d | I <sub>L</sub>  |
| (m)   | (m/s)          | (kPa)           | (kPa)            | (-)  | (m/s)           | (%) | (-)              | (-)               | (?)            | (-)    | (-)                |                   | (m)                   | (-)            | (-)      | (m2)      | (m2)            |
| 1.0   | 80             | 19.0            | 19.0             | 1.40 | 112.00          | 55  | 200.00           | 0.05              | 0.99           | 0.219  | 0.148              | 0.307216022       | 9.5                   | 0.307216       | 0.692784 | 3.2907239 | 6.581447795     |
| 2.0   | 149            | 38.0            | 38.0             | 1.27 | 189.78          | 55  | 200.00           | 0.34              | 0.98           | 0.215  | 0.145              | 2.33212403        | 9                     | 2.332124       | 0        | 3.2907239 | RISCHIO ELEVATO |
| 3.0   | 210            | 57.0            | 57.0             | 1.15 | 241.69          | 55  | 200.00           | NON LIQUEFACIBILE | 0.96           | 0.211  | 0.143              | NON LIQUEFACIBILE | 8.5                   |                | 0        | 0         |                 |
| 4.0   | 246            | 76.0            | 76.0             | 1.07 | 263.47          | 55  | 200.00           | NON LIQUEFACIBILE | 0.94           | 0.207  | 0.140              | NON LIQUEFACIBILE | 8                     |                | 0        | 0         |                 |
| 5.0   | 289            | 95.0            | 95.0             | 1.01 | 292.73          | 55  | 200.00           | NON LIQUEFACIBILE | 0.92           | 0.202  | 0.137              | NON LIQUEFACIBILE | 7.5                   |                | 0        | 0         |                 |
| 6.0   | 252            | 114.0           | 114.0            | 0.97 | 243.88          | 55  | 200.00           | NON LIQUEFACIBILE | 0.90           | 0.197  | 0.133              | NON LIQUEFACIBILE | 7                     |                | 0        | 0         |                 |
| 7.0   | 277            | 133.0           | 133.0            | 0.93 | 257.94          | 34  | 200.50           | NON LIQUEFACIBILE | 0.87           | 0.192  | 0.130              | NON LIQUEFACIBILE | 6.5                   |                | 0        | 0         |                 |
| 8.0   | 265            | 152.0           | 152.0            | 0.90 | 238.66          | 34  | 200.50           | NON LIQUEFACIBILE | 0.85           | 0.187  | 0.126              | NON LIQUEFACIBILE | 6                     |                | 0        | 0         |                 |
| 9.0   | 270            | 171.0           | 166.0            | 0.88 | 237.87          | 34  | 200.50           | NON LIQUEFACIBILE | 0.82           | 0.187  | 0.126              | NON LIQUEFACIBILE | 5.5                   |                | 0        | 0         |                 |
| 10.0  | 259            | 190.0           | 175.0            | 0.87 | 225.19          | 34  | 200.50           | NON LIQUEFACIBILE | 0.80           | 0.191  | 0.129              | NON LIQUEFACIBILE | 5                     |                | 0        | 0         |                 |
| 11.0  | 280            | 209.0           | 184.0            | 0.86 | 240.41          | 34  | 200.50           | NON LIQUEFACIBILE | 0.77           | 0.194  | 0.131              | NON LIQUEFACIBILE | 4.5                   |                | 0        | 0         |                 |
| 12.0  | 353            | 228.0           | 193.0            | 0.85 | 299.49          | 34  | 200.50           | NON LIQUEFACIBILE | 0.75           | 0.195  | 0.132              | NON LIQUEFACIBILE | 4                     |                | 0        | 0         |                 |
| 13.0  | 285            | 247.0           | 202.0            | 0.84 | 239.06          | 28  | 203.50           | NON LIQUEFACIBILE | 0.73           | 0.195  | 0.132              | NON LIQUEFACIBILE | 3.5                   |                | 0        | 0         |                 |
| 14.0  | 290            | 266.0           | 211.0            | 0.83 | 240.62          | 28  | 203.50           | NON LIQUEFACIBILE | 0.70           | 0.195  | 0.132              | NON LIQUEFACIBILE | 3                     |                | 0        | 0         |                 |
| 15.0  | 296            | 285.0           | 220.0            | 0.82 | 243.04          | 28  | 203.50           | NON LIQUEFACIBILE | 0.68           | 0.194  | 0.131              | NON LIQUEFACIBILE | 2.5                   |                | 0        | 0         |                 |
| 16.0  | 324            | 304.0           | 229.0            | 0.81 | 263.38          | 28  | 203.50           | NON LIQUEFACIBILE | 0.66           | 0.192  | 0.130              | NON LIQUEFACIBILE | 2                     |                | 0        | 0         |                 |
| 17.0  | 231            | 323.0           | 238.0            | 0.81 | 185.98          | 28  | 203.50           | 0.22              | 0.63           | 0.190  | 0.128              | 1.733901998       | 1.5                   | 1.733902       | 0        | 0         |                 |
| 18.0  | 225            | 342.0           | 247.0            | 0.80 | 179.48          | 89  | 200.00           | 0.19              | 0.61           | 0.187  | 0.126              | 1.528127713       | 1                     | 1.5281277      | 0        | 0         |                 |
| 19.0  | 218            | 361.0           | 256.0            | 0.79 | 172.34          | 89  | 200.00           | 0.15              | 0.59           | 0.185  | 0.125              | 1.223287203       | 0.5                   | 1.2232872      | 0        | 0         |                 |
| 20.0  | 213            | 380.0           | 265.0            | 0.78 | 166.94          | 89  | 200.00           | 0.13              | 0.58           | 0.182  | 0.123              | 1.074005266       | 0                     | 1.0740053      | 0        | 0         |                 |
| 21.0  | 207            | 399.0           | 274.0            | 0.78 | 160.89          | 89  | 200.00           | 0.11              | 0.61           | 0.197  | 0.133              | 0.86237665        |                       |                |          |           |                 |
| 22.0  | 202            | 418.0           | 283.0            | 0.77 | 155.74          | 89  | 200.00           | 0.10              | 0.59           | 0.191  | 0.129              | 0.796428305       |                       |                |          |           |                 |
| 23.0  | 223            | 437.0           | 292.0            | 0.76 | 170.59          | 60  | 200.00           | 0.15              | 0.56           | 0.185  | 0.125              | 1.165424657       |                       |                |          |           |                 |
| 24.0  | 311            | 456.0           | 301.0            | 0.76 | 236.11          | 60  | 200.00           | NON LIQUEFACIBILE | 0.53           | 0.178  | 0.120              | NON LIQUEFACIBILE |                       |                |          |           |                 |
| 25.0  | 318            | 475.0           | 310.0            | 0.75 | 239.66          | 60  | 200.00           | NON LIQUEFACIBILE | 0.51           | 0.171  | 0.115              | NON LIQUEFACIBILE |                       |                |          |           |                 |
| 26.0  | 310            | 494.0           | 319.0            | 0.75 | 231.96          | 60  | 200.00           | NON LIQUEFACIBILE | 0.48           | 0.164  | 0.111              | NON LIQUEFACIBILE |                       |                |          |           |                 |
| 27.0  | 321            | 513.0           | 328.0            | 0.74 | 238.53          | 68  | 200.00           | NON LIQUEFACIBILE | 0.45           | 0.156  | 0.105              | NON LIQUEFACIBILE |                       |                |          |           |                 |
| 28.0  | 332            | 532.0           | 337.0            | 0.74 | 245.04          | 68  | 200.00           | NON LIQUEFACIBILE | 0.43           | 0.148  | 0.100              | NON LIQUEFACIBILE |                       |                |          |           |                 |
| 29.0  | 334            | 551.0           | 346.0            | 0.73 | 244.89          | 68  | 200.00           | NON LIQUEFACIBILE | 0.40           | 0.140  | 0.095              | NON LIQUEFACIBILE |                       |                |          |           |                 |
| 30.0  | 346            | 570.0           | 355.0            | 0.73 | 252.07          | 68  | 200.00           | NON LIQUEFACIBILE | 0.37           | 0.132  | 0.089              | NON LIQUEFACIBILE |                       |                |          |           |                 |
| 31.0  | 360            | 589.0           | 364.0            | 0.72 | 260.63          | 68  | 200.00           | NON LIQUEFACIBILE | 0.35           | 0.123  | 0.083              | NON LIQUEFACIBILE |                       |                |          |           |                 |
| 32.0  | 344            | 608.0           | 373.0            | 0.72 | 247.53          | 68  | 200.00           | NON LIQUEFACIBILE | 0.32           | 0.115  | 0.077              | NON LIQUEFACIBILE |                       |                |          |           |                 |
| 33.0  | 319            | 627.0           | 382.0            | 0.72 | 228.18          | 68  | 200.00           | NON LIQUEFACIBILE | 0.29           | 0.106  | 0.072              | NON LIQUEFACIBILE |                       |                |          |           |                 |
| 34.0  | 309            | 646.0           | 391.0            | 0.71 | 219.74          | 68  | 200.00           | NON LIQUEFACIBILE | 0.27           | 0.097  | 0.065              | NON LIQUEFACIBILE |                       |                |          |           |                 |
| 35.0  | 299            | 665.0           | 400.0            | 0.71 | 211.42          | 68  | 200.00           | NON LIQUEFACIBILE | 0.24           | 0.088  | 0.059              | NON LIQUEFACIBILE |                       |                |          |           |                 |
| 36.0  | 317            | 684.0           | 409.0            | 0.70 | 222.91          | 68  | 200.00           | NON LIQUEFACIBILE | 0.21           | 0.078  | 0.053              | NON LIQUEFACIBILE |                       |                |          |           |                 |
| 37.0  | 319            | 703.0           | 418.0            | 0.70 | 223.10          | 68  | 200.00           | NON LIQUEFACIBILE | 0.19           | 0.069  | 0.047              | NON LIQUEFACIBILE |                       |                |          |           |                 |
| 38.0  | 338            | 722.0           | 427.0            | 0.70 | 235.13          | 68  | 200.00           | NON LIQUEFACIBILE | 0.16           | 0.059  | 0.040              | NON LIQUEFACIBILE |                       |                |          |           |                 |
| 39.0  | 289            | 741.0           | 436.0            | 0.69 | 200.00          | 68  | 200.00           | 1610.61           | 0.13           | 0.050  | 0.034              | 48018.22628       |                       |                |          |           |                 |
| 40.0  | 359            | 760.0           | 445.0            | 0.69 | 247.17          | 68  | 200.00           | NON LIQUEFACIBILE | 0.11           | 0.040  | 0.027              | NON LIQUEFACIBILE |                       |                |          |           |                 |
| 41.0  | 385            | 779.0           | 454.0            | 0.69 | 263.75          | 68  | 200.00           | NON LIQUEFACIBILE | 0.08           | 0.030  | 0.020              | NON LIQUEFACIBILE |                       |                |          |           |                 |
| 42.0  | 374            | 798.0           | 463.0            | 0.68 | 254.96          | 68  | 200.00           | NON LIQUEFACIBILE | 0.05           | 0.020  | 0.013              | NON LIQUEFACIBILE |                       |                |          |           |                 |
| 43.0  | 302            | 817.0           | 472.0            | 0.68 | 204.89          | 68  | 200.00           | NON LIQUEFACIBILE | 0.03           | 0.010  | 0.007              | NON LIQUEFACIBILE |                       |                |          |           |                 |
| 44.0  | 253            | 836.0           | 481.0            | 0.68 | 170.84          | 68  | 200.00           | 0.15              | 0.00           | 0.000  | 0.000              | -707.1034617      |                       |                |          |           |                 |
| 45.0  | 260            | 855.0           | 490.0            | 0.67 | 174.75          | 68  | 200.00           | 0.16              | -0.03          | -0.011 | -0.007             | -22.99285705      |                       |                |          |           |                 |
| 46.0  | 252            | 874.0           | 499.0            | 0.67 | 168.61          | 68  | 200.00           | 0.14              | -0.05          | -0.021 | -0.014             | -9.755465488      |                       |                |          |           |                 |
| 47.0  | 245            | 893.0           | 508.0            | 0.67 | 163.19          | 68  | 200.00           | 0.12              | -0.08          | -0.031 | -0.021             | -5.70491642       |                       |                |          |           |                 |
| 48.0  | 367            | 912.0           | 517.0            | 0.66 | 243.38          | 68  | 200.00           | NON LIQUEFACIBILE | -0.11          | -0.042 | -0.028             | NON LIQUEFACIBILE |                       |                |          |           |                 |
| 49.0  | 362            | 931.0           | 526.0            | 0.66 | 239.04          | 68  | 200.00           | NON LIQUEFACIBILE | -0.13          | -0.052 | -0.035             | NON LIQUEFACIBILE |                       |                |          |           |                 |
| 50.0  | 357            | 950.0           | 535.0            | 0.66 | 234.74          | 68  | 200.00           | NON LIQUEFACIBILE | -0.16          | -0.063 | -0.043             | NON LIQUEFACIBILE |                       |                |          |           |                 |

INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13

(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)

## PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

|                 |               |           |        |             |     |
|-----------------|---------------|-----------|--------|-------------|-----|
| CODICE PROGETTO | LIVELLO PROG. | TIPO DOC. | AMBITO | PROGRESSIVO | REV |
| 24V25           | PF            | R         | GT     | 101         | r00 |

## 7.3

### Verifica a liquefazione da prove CPT

[illegible]

INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13  
TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA  
(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)

## PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

|                 |               |           |        |             |      |
|-----------------|---------------|-----------|--------|-------------|------|
| CODICE PROGETTO | LIVELLO PROG. | TIPO DOC. | AMBITO | PROGRESSIVO | REV. |
| 24V25           | PF            | R         | GT     | 101         | r00  |

Pag. 43/47

STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna

PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria),  
SETECO INGEGNERIA S.r.l.  
ITEC ENGINEERING S.r.l.

INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13  
TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA  
(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)

PROGETTO DI FATTABILITA' TECNICO ECONOMICA

ELABORATI GENERALI  
Relazione sismica

CODICE PROGETTO  
24V25

LIVELLO PROG.  
PF

TIPO COD. R

AMBITO  
GT

PROGRESSIVO  
101

REV.  
r00

| CPTu2 |                |                |                    |                   |                 |          |                   |                |                      |             |                |             | Idriss & Boulanger |                |                      |             |                |             |                  |                |           |                | Robertson & Wride |              |                |      |                |                    |  |  |  |  | IWASAKI ET AL. (1982) - IDRISS & BOULLANGER |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IWASAKI ET AL. (1982) - ROBERTSON & WRIDE |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|-------|----------------|----------------|--------------------|-------------------|-----------------|----------|-------------------|----------------|----------------------|-------------|----------------|-------------|--------------------|----------------|----------------------|-------------|----------------|-------------|------------------|----------------|-----------|----------------|-------------------|--------------|----------------|------|----------------|--------------------|--|--|--|--|---------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|-------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| z     | q <sub>l</sub> | f <sub>l</sub> | C <sub>0,def</sub> | q <sub>1N/2</sub> | Q <sup>3*</sup> | F        | I <sub>l</sub> 3* | K <sub>c</sub> | q <sub>c1N</sub> /cs | CRR         | r <sub>d</sub> | CSR         | CSR <sub>5</sub>   | F <sub>s</sub> | q <sub>c1N</sub> /cs | CRR7.5      | r <sub>d</sub> | CSR         | CSR <sub>5</sub> | F <sub>s</sub> | w         | F <sub>l</sub> | F                 | F(z)*w(z)/dz | I <sub>l</sub> | Fz   | I <sub>l</sub> | I <sub>l</sub> tot |  |  |  |  |                                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| (m)   | (MPa)          | (kPa)          |                    | (g)               | (g)             |          | (g)               |                | (g)                  | (%)         | (%)            | (g)         | (g)                | (g)            | (g)                  | (%)         | (%)            | (g)         | (g)              | (g)            | (m)       | (g)            | (g)               | (m2)         | (g)            | (m2) | (m2)           |                    |  |  |  |  |                                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0.2   | 0.0005         | 1.4745         | 1.700              | 0.01              | 0.38342         | 44.6818  | #N/MI             | #N/MI          | #N/MI                | #N/MI       | 1.01           | 0.221573295 | 0.149550201        | #N/MI          | #N/MI                | #N/MI       | 1.00           | 0.220012865 | 0.148959945      | #N/MI          | 0.99      | #N/MI          | 0                 | 0            | 2.556783478    | 0    | 0              | 2.294669349        |  |  |  |  |                                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0.4   | -0.01          | 0              | #VALUE!            | #VALUE!           | 1.21591         | 0        | #N/MI             | #N/MI          | #N/MI                | #N/MI       | 1.00           | 0.220363817 | 0.149138836        | #N/MI          | #N/MI                | #N/MI       | 1.00           | 0.219675729 | 0.148269944      | #N/MI          | 0.98      | #N/MI          | 0                 | 0            | RISCHIO BASSO  | 0    | 0              | 0                  |  |  |  |  |                                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0.6   | -0.0085        | 0.0045         | #VALUE!            | #VALUE!           | -1.01432        | -0.02261 | #N/MI             | #N/MI          | #N/MI                | #N/MI       | 1.00           | 0.220335051 | 0.148714453        | #N/MI          | #N/MI                | #N/MI       | 1.00           | 0.219338594 | 0.148043897      | #N/MI          | 0.97      | #N/MI          | 0                 | 0            | 0              | 0    | 0              | 0                  |  |  |  |  |                                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 0.8   | 0.1535         | 1.0915         | 1.700              | 2.61              | 5.681192        | 0.789226 | 2.6               | 3.23923        | 8.68796889           | 0.051338831 | 0.99           | 0.219687324 | 0.148277721        | 0.346569169    | 18.9145253           | 0.0557558   | 0.99           | 0.219001458 | 0.147814348      | 0.44485397     | 9.6       | 0.3465692      | 0                 | 0            | 0              | 0    | 0              | 0                  |  |  |  |  |                                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1     | 0.161          | 1.482          | 1.700              | 2.74              | 4.943273        | 1.043662 | 2.6               | 3.23923        | 9.1123576            | 0.051050596 | 0.99           | 0.219020797 | 0.147827518        | 0.348416838    | 16.42778842          | 0.06368448  | 0.99           | 0.218664323 | 0.1475868        | 0.431504362    | 9.5       | 0.3484168      | 0                 | 0            | 0              | 0    | 0              | 0                  |  |  |  |  |                                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1.2   | 0.143          | 1.301          | 1.700              | 2.43              | 3.642951        | 1.082363 | 2.6               | 3.23923        | 8.0935847            | 0.05123003  | 0.99           | 0.21836531  | 0.147365423        | 0.347639419    | 12.12856136          | 0.060103092 | 0.99           | 0.218327187 | 0.147359251      | 0.407867787    | 9.4       | 0.3476394      | 0                 | 0            | 0              | 0    | 0              | 0                  |  |  |  |  |                                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1.4   | 0.4615         | 1.3755         | 1.700              | 7.85              | 11.74162        | 0.31628  | 2.505954          | 2.801232       | 21.9770651           | 0.056638971 | 0.99           | 0.217633758 | 0.146891223        | 0.385584448    | 32.89101296          | 0.077398214 | 0.99           | 0.217990052 | 0.147313102      | 0.526047157    | 9.3       | 0.3855844      | 0                 | 0            | 0              | 0    | 0              | 0                  |  |  |  |  |                                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1.6   | 2.343          | 13.1425        | 1.700              | 39.83             | 56.48659        | 0.5683   | 2.088648          | 1.436644       | 57.2229584           | 0.084832912 | 0.98           | 0.216913607 | 0.14640516         | 0.579439361    | 81.15110365          | 0.129701127 | 0.99           | 0.217652916 | 0.146904154      | 0.882896256    | 9.2       | 0.5794394      | 0                 | 0            | 0              | 0    | 0              | 0                  |  |  |  |  |                                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1.8   | 4.9715         | 14.8465        | 1.602              | 79.66             | 110.4002        | 0.307071 | 1.694065          | 1.035536       | 82.4947641           | 0.116076283 | 0.98           | 0.216126242 | 0.145907478        | 0.795547181    | 114.323363           | 0.218959398 | 0.99           | 0.217315781 | 0.146676605      | 1.492803827    | 9.1       | 0.7955472      | 0                 | 0            | 0              | 0    | 0              | 0                  |  |  |  |  |                                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2     | 7.098          | 150.23         | 1.398              | 99.20             | 145.8703        | 2.127805 | 2.094579          | 1.447112       | 133.553839           | 0.244882828 | 0.98           | 0.215423034 | 0.145399427        | 1.168421937    | 211.0907433          | #N/A        | 0.98           | 0.216978645 | 0.146449057      | #N/A           | 9.1       | 0.6842192      | 0                 | 0            | 0              | 0    | 0              | 0                  |  |  |  |  |                                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2.2   | 3.659          | 115.701        | 1.575              | 57.62             | 69.58094        | 3.199634 | 2.437525          | 2.474567       | 142.587854           | 0.241356495 | 0.97           | 0.214651358 | 0.144878262        | 1.66592622     | 172.1827178          | #N/A        | 0.98           | 0.21664151  | 0.146221508      | #N/A           | 8.9       | 1.6659262      | 0                 | 0            | 0              | 0    | 0              | 0                  |  |  |  |  |                                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2.4   | 1.1385         | 68.0265        | 1.639              | 35.04             | 37.71593        | 3.252046 | 2.566092          | 3.127965       | 109.604101           | 0.159118013 | 0.97           | 0.213864596 | 0.144347739        | 1.110232869    | 117.9741084          | 0.232704144 | 0.98           | 0.216304374 | 0.145993996      | 1.593911247    | 8.8       | 1.1023287      | 0                 | 0            | 0              | 0    | 0              | 0                  |  |  |  |  |                                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2.6   | 2.1435         | 58.1165        | 1.558              | 33.39             | 35.53875        | 2.77525  | 2.598087          | 3.317625       | 110.7652             | 0.061524702 | 0.97           | 0.213062136 | 0.143805621        | 0.121337958    | 117.904254           | 0.232430324 | 0.98           | 0.215967239 | 0.145766411      | 1.594539664    | 8.7       | 1.121338       | 0                 | 0            | 0              | 0    | 0              | 0                  |  |  |  |  |                                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2.8   | 5.091          | 62.317         | 1.315              | 66.93             | 80.87368        | 1.236989 | 2.093212          | 1.444681       | 96.6916249           | 0.13719917  | 0.96           | 0.21224437  | 0.143253673        | 0.957757575    | 116.8366955          | 0.228327182 | 0.98           | 0.215630103 | 0.145538863      | 1.568839947    | 8.6       | 0.9577558      | 0                 | 0            | 0              | 0    | 0              | 0                  |  |  |  |  |                                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3     | 10.4975        | 193.1475       | 1.140              | 119.63            | 159.1531        | 1.849831 | 1.996414          | 1.295023       | 154.259267           | 0.259824845 | 0.96           | 0.211411695 | 0.142691662        | 2.073175415    | 206.1069538          | #N/A        | 0.98           | 0.215292968 | 0.145311314      | #N/A           | 8.5       | 0.2073154      | 0                 | 0            | 0              | 0    | 0              | 0                  |  |  |  |  |                                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3.2   | 11.753         | 226.1          | 1.103              | 129.67            | 169.8121        | 1.933768 | 1.985909          | 1.28401        | 166.49856            | 0.379494548 | 0.96           | 0.210564513 | 0.142119858        | 2.638231929    | 218.0403686          | #N/A        | 0.98           | 0.214955832 | 0.145083765      | #N/A           | 8.4       | 2.6382319      | 0                 | 0            | 0              | 0    | 0              | 0                  |  |  |  |  |                                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3.4   | 6.1565         | 174.636        | 1.183              | 72.82             | 84.54314        | 2.866692 | 2.311463          | 1.988375       | 144.8020578          | 0.249594585 | 0.95           | 0.209702328 | 0.141538537        | 1.763439067    | 168.1034901          | #N/A        | 0.97           | 0.214618697 | 0.144856217      | #N/A           | 8.3       | 1.7634391      | 0                 | 0            | 0              | 0    | 0              | 0                  |  |  |  |  |                                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3.6   | 4.009          | 86.212         | 1.205              | 48.52             | 32.39264        | 1.87789  | 2.37587           | 2.189932       | 107.2273             | 0.154840854 | 0.95           | 0.20882825  | 0.140947973        | 1.098567441    | 116.2556916          | 0.226125369 | 0.97           | 0.214281561 | 0.144628668      | 1.563489254    | 8.2       | 1.0985674      | 0                 | 0            | 0              | 0    | 0              | 0                  |  |  |  |  |                                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3.8   | 2.288          | 30.2375        | 1.222              | 27.96             | 28.28966        | 1.364631 | 2.460469          | 2.578915       | 72.0967999           | 0.102230313 | 0.94           | 0.20793999  | 0.140234845        | 0.725666053    | 0.116114101          | 0.97        | 0.213944426    | 0.14440112  | 0.804108307      | 8.1            | 0.7284036 | 0              | 0                 | 0            | 0              | 0    | 0              |                    |  |  |  |  |                                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4     | 1.902          | 18.4745        | 1.196              | 22.75             | 22.43317        | 1.011747 | 2.47358           | 2.640867       | 60.0706832           | 0.087931204 | 0.94           | 0.207038865 | 0.139740233        | 0.629261181    | 59.24300248          | 0.099337226 | 0.97           | 0.21360729  | 0.144173571      | 0.689011342    | 8.0       | 0.6292612      | 0                 | 0            | 0              | 0    | 0              | 0                  |  |  |  |  |                                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4.2   | 1.838          | 18.03          | 1.160              | 21.32             | 20.82409        | 1.025481 | 2.499974          | 2.770804       | 59.0686616           | 0.086849285 | 0.94           | 0.206125291 | 0.13912362         | 0.624259813    | 57.69947219          | 0.097492183 | 0.97           | 0.213270155 | 0.143946023      | 0.6798716      | 7.9       | 0.6242598      | 0                 | 0            | 0              | 0    | 0              | 0                  |  |  |  |  |                                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4.4   | 1.8805         | 19.034         | 1.124              | 21.14             | 20.55272        | 1.059269 | 2.507496          | 2.809136       | 59.3931841           | 0.087185305 | 0.93           | 0.205199689 | 0.138498888        | 0.629580143    | 57.75373218          | 0.09798179  | 0.97           | 0.212933019 | 0.143718474      | 0.681188023    | 7.8       | 0.6295801      | 0                 | 0            | 0              | 0    | 0              | 0                  |  |  |  |  |                                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4.6   | 2.0775         | 22.004         | 1.089              | 22.63             | 22.01615        | 1.05673  | 2.705299          | 3.12172791     | 0.089213082          | 0.93        | 0.204267481    | 0.137866322 | 0.647098444        | 59.560258      | 0.099549552          | 0.96        | 0.212595884    | 0.143490926 | 0.694465882      | 7.7            | 0.6470984 | 0              | 0                 | 0            | 0              | 0    | 0              |                    |  |  |  |  |                                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4.8   | 2.864          | 26.2095        | 1.054              | 30.18             | 29.71135        | 1.945236 | 3.336188          | 2.07258        | 0.2458946            | 0.00719927  | 0.92           | 0.203314089 | 0.137226008        | 0.606109764    | 61.5791397           | 0.10176198  | 0.96           | 0.212258748 | 0.143263377      | 0.70994421     | 7.6       | 0.6610977      | 0                 | 0            | 0              | 0    | 0              | 0                  |  |  |  |  |                                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 5     | 5.8755         | 54.9125        | 1.030              | 59.58             | 58.87471        | 1.976336 | 2.51256           | 2.882366       | 85.2701135           | 0.119989721 | 0.92           | 0.202345039 | 0.136578832        | 0.878604909    | 82.22750313          | 0.133614569 | 0.96           | 0.211921613 | 0.143033529      | 0.934134196    | 7.5       | 0.8786041      | 0                 | 0            | 0              | 0    | 0              | 0                  |  |  |  |  |                                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 5.2   | 4.6855         | 71.6165        | 1.005              | 47.11             | 46.28419        | 1.51365  | 2.93298           | 1.92928        | 1.927001             | 90.9132816  | 0.91           | 0.201385456 | 0.135794716        | 89.21384566    | 0.146229966          | 0.146229966 | 0.96           | 0.21184477  | 0.14280828       | 1.024170071    | 7.4       | 0.9437347      | 0                 | 0            | 0              | 0    | 0              | 0                  |  |  |  |  |                                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 5.4   | 4.016          | 94.1795        | 0.987              | 39.66             | 38.38784        | 2.40659  | 2.471882          | 2.632796       | 104.407763           | 0.149921678 | 0.91           | 0.200406066 | 0.135263446        | 1.083806101    | 101.0673507          | 0.170098086 | 0.96           | 0.211247342 | 0.142580731      | 1.2345717      | 7.3       | 1.108368       | 0                 | 0            | 0              | 0    | 0              | 0                  |  |  |  |  |                                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 5.6   | 2.716          | 86.8755        | 0.965              | 26.20             | 24.90966        | 3.329073 | 2.6               | 3.23923        | 87.2320797           | 0.122830089 | 0.91           | 0.201283009 | 0.134596011        | 0.91258943     | 82.93229423          | 0.130461615 | 0.96           | 0.210910206 | 0.142353183      | 0.93462023     | 7.2       | 0.9125894      | 0                 | 0            | 0              | 0    | 0              | 0                  |  |  |  |  |                                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 5.8   | 2.7505         | 57.562         | 0.946              | 26.01             | 24.54805        | 2.180131 | 2.6               | 3.23923        | 86.5849078           | 0.121890727 | 0.90           | 0.198419269 | 0.133922464        | 0.910591894    | 81.72840755          | 0.130769403 | 0.96           | 0.210573071 | 0.142125634      | 0.920097236    | 7.1       | 0.9101589      | 0                 | 0            | 0              | 0    | 0              | 0                  |  |  |  |  |                                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 6     | 1.7685         | 92.0875        | 0.916              | 16.21             | 14.99644        | 5.565881 | 2.6               | 3.23923        | 53.9590067           | 0.08142046  | 0.90           | 0.197412716 | 0.133243094        | 0.61067016     | 49.92799086          | 0.091500016 | 0.95           | 0.210235935 | 0.141898086      | 0.65463368     | 7.        |                |                   |              |                |      |                |                    |  |  |  |  |                                             |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                           |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

|                                                                                                    |                                                                                                                                               |                     |                |              |                    |             |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------|--------------|--------------------|-------------|
| STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna                                               | INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13<br>TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA<br>(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001) |                     |                |              |                    |             |
| PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria),<br>SETECO INGEGNERIA S.r.l.<br>ITEC ENGINEERING S.r.l. | PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA                                                                                                    |                     |                |              |                    |             |
| ELABORATI GENERALI<br>Relazione sismica                                                            | CODICE PROGETTO<br>24V25                                                                                                                      | LIVELLO PROG.<br>PF | TIPO DOC.<br>R | AMBITO<br>GT | PROGRESSIVO<br>101 | REV.<br>r00 |

| CPTU2 |                |                |                   |                   |                               |          |                               |                |                     |             |                |                 |                   |                |                     |                    |                |                 |                   |                |                     |                    |                |                 |                   | Idriss & Boulanger |     |                |       |                         |                   |                |                |                    |                   | Robertson & Wride |       |       |                   |   |   |   |  |  |  | IWASAKI ET AL (1982) - IDRIS & BOLLANGER |  |  |  |  |  |  |  |  |  | IWASAKI ET AL (1982) - ROBERTSON & WRIDE |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|-------|----------------|----------------|-------------------|-------------------|-------------------------------|----------|-------------------------------|----------------|---------------------|-------------|----------------|-----------------|-------------------|----------------|---------------------|--------------------|----------------|-----------------|-------------------|----------------|---------------------|--------------------|----------------|-----------------|-------------------|--------------------|-----|----------------|-------|-------------------------|-------------------|----------------|----------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------|-------|-------------------|---|---|---|--|--|--|------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| z     | q <sub>v</sub> | f <sub>v</sub> | C <sub>u,20</sub> | q <sub>u,20</sub> | Q <sup>3</sup> / <sub>4</sub> | F        | L <sup>3</sup> / <sub>4</sub> | K <sub>u</sub> | [eqN] <sub>cs</sub> | CRR         | t <sub>v</sub> | C <sub>SR</sub> | CS <sub>R,3</sub> | F <sub>s</sub> | [eqN] <sub>cs</sub> | CRR <sub>7.5</sub> | t <sub>v</sub> | C <sub>SR</sub> | CS <sub>R,3</sub> | F <sub>s</sub> | [eqN] <sub>cs</sub> | CRR <sub>7.5</sub> | t <sub>v</sub> | C <sub>SR</sub> | CS <sub>R,3</sub> | F <sub>s</sub>     | w   | F <sub>1</sub> | F     | F/(z)*w <sup>0.75</sup> | t <sub>2</sub>    | F <sub>2</sub> | t <sub>2</sub> | t <sub>1,tot</sub> |                   |                   |       |       |                   |   |   |   |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| (m)   | (MPa)          | (kPa)          | (kPa)             | (kPa)             | (kPa)                         | (kPa)    | (kPa)                         | (kPa)          | (kPa)               | (kPa)       | (kPa)          | (kPa)           | (kPa)             | (kPa)          | (kPa)               | (kPa)              | (kPa)          | (kPa)           | (kPa)             | (kPa)          | (kPa)               | (kPa)              | (kPa)          | (kPa)           | (kPa)             | (kPa)              | (m) | (kPa)          | (kPa) | (kPa)                   | (m <sup>2</sup> ) | (kPa)          | (kPa)          | (kPa)              | (m <sup>2</sup> ) | (kPa)             | (kPa) | (kPa) | (m <sup>2</sup> ) |   |   |   |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 16.2  | 1.669          | 118.7385       | 0.568             | 9.47              | 7.269342                      | 8.723075 | 2.6                           | 3.329323       | 31.544837           | 0.06327119  | 0.65           | 0.19157369      | 0.12930201        | 0.482027344    | 24.2008836          | 0.070360256        | 0.57           | 0.16675586      | 0.112551349       | 0.623362195    | NON LIQUEFACIBILE   | 1.9                | 0.4820273      | 0               | 0                 | 0                  | 1.9 | 0.4820273      | 0     | 0                       | 0                 | 0              | 0              | 0                  | 0                 | 0                 | 0     | 0     | 0                 | 0 | 0 | 0 |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 16.4  | 1.6375         | 119.5275       | 0.563             | 9.22              | 7.093689                      | 9.01482  | 2.6                           | 3.329323       | 30.695566           | 0.06175907  | 0.65           | 0.191158121     | 0.129201575       | 0.478677357    | 23.43740009         | 0.069523355        | 0.56           | 0.16591879      | 0.11199520        | 0.62077083     | NON LIQUEFACIBILE   | 1.8                | 0.4786774      | 0               | 0                 | 0                  | 1.8 | 0.4786774      | 0     | 0                       | 0                 | 0              | 0              | 0                  | 0                 | 0                 | 0     | 0     | 0                 | 0 | 0 | 0 |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 16.6  | 1.609          | 119.5275       | 0.559             | 9.8               | 6.82602                       | 9.244937 | 2.6                           | 3.329323       | 29.910025           | 0.061252573 | 0.64           | 0.190728801     | 0.128731807       | 0.475815376    | 22.73462309         | 0.068937941        | 0.56           | 0.16506236      | 0.111421846       | 0.618711173    | NON LIQUEFACIBILE   | 1.7                | 0.4758154      | 0               | 0                 | 0                  | 1.7 | 0.4758154      | 0     | 0                       | 0                 | 0              | 0              | 0                  | 0                 | 0                 | 0     | 0     | 0                 | 0 | 0 | 0 |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 16.8  | 1.6435         | 112.389        | 0.557             | 9.16              | 6.950667                      | 8.486672 | 2.6                           | 3.329323       | 30.504663           | 0.061634597 | 0.64           | 0.190286614     | 0.128433354       | 0.479895562    | 23.14101566         | 0.069274666        | 0.55           | 0.164207999     | 0.110381675       | 0.625060175    | NON LIQUEFACIBILE   | 1.6                | 0.4798956      | 0               | 0                 | 0                  | 1.6 | 0.4798956      | 0     | 0                       | 0                 | 0              | 0              | 0                  | 0                 | 0                 | 0     | 0     | 0                 | 0 | 0 | 0 |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 17    | 1.7455         | 110.4645       | 0.560             | 9.78              | 7.424685                      | 7.765518 | 2.6                           | 3.329323       | 32.5497617          | 0.063013042 | 0.63           | 0.18983425      | 0.128126817       | 0.491802129    | 24.71584793         | 0.070588301        | 0.55           | 0.163309255     | 0.1102759         | 0.640400151    | NON LIQUEFACIBILE   | 1.5                | 0.4918021      | 0               | 0                 | 0                  | 1.5 | 0.4918021      | 0     | 0                       | 0                 | 0              | 0              | 0                  | 0                 | 0                 | 0     | 0     | 0                 | 0 | 0 | 0 |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 17.2  | 1.6475         | 122.426        | 0.552             | 9.06              | 6.853677                      | 8.260763 | 2.6                           | 3.329323       | 30.2780805          | 0.061486133 | 0.63           | 0.188916773     | 0.127821278       | 0.480346446    | 22.81777277         | 0.06907025         | 0.54           | 0.16248671      | 0.10980402        | 0.629613985    | NON LIQUEFACIBILE   | 1.4                | 0.4803464      | 0               | 0                 | 0                  | 1.4 | 0.48064        | 0     | 0                       | 0                 | 0              | 0              | 0                  | 0                 | 0                 | 0     | 0     | 0                 | 0 | 0 |   |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 17.4  | 1.625          | 107.659        | 0.549             | 9.08              | 6.821438                      | 8.144232 | 2.6                           | 3.329323       | 30.2111951          | 0.061455513 | 0.63           | 0.188891826     | 0.127819172       | 0.480240979    | 22.71077107         | 0.069118072        | 0.54           | 0.161440588     | 0.108964028       | 0.623484615    | NON LIQUEFACIBILE   | 1.3                | 0.4802409      | 0               | 0                 | 0                  | 1.3 | 0.482035       | 0     | 0                       | 0                 | 0              | 0              | 0                  | 0                 | 0                 | 0     | 0     | 0                 | 0 | 0 |   |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 17.6  | 1.707          | 106.2445       | 0.550             | 9.38              | 7.043744                      | 7.740383 | 2.6                           | 3.329323       | 31.2403792          | 0.064112258 | 0.62           | 0.188406625     | 0.127164462       | 0.48852155     | 23.45009035         | 0.0695346          | 0.53           | 0.160472334     | 0.108310299       | 0.6194935      | NON LIQUEFACIBILE   | 1.2                | 0.4885216      | 0               | 0                 | 0                  | 1.2 | 0.4885216      | 0     | 0                       | 0                 | 0              | 0              | 0                  | 0                 | 0                 | 0     | 0     | 0                 | 0 | 0 |   |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 17.8  | 1.8695         | 109.597        | 0.550             | 9.38              | 7.814837                      | 7.157121 | 2.6                           | 3.329323       | 34.5800439          | 0.064904494 | 0.62           | 0.187912966     | 0.126811268       | 0.508148716    | 26.01481187         | 0.071673093        | 0.52           | 0.159481519     | 0.107641552       | 0.66849681     | NON LIQUEFACIBILE   | 1.1                | 0.5081487      | 0               | 0                 | 0                  | 1.1 | 0.5081487      | 0     | 0                       | 0                 | 0              | 0              | 0                  | 0                 | 0                 | 0     | 0     | 0                 | 0 | 0 |   |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 18    | 1.803          | 115.3195       | 0.549             | 9.91              | 7.415279                      | 7.89319  | 2.6                           | 3.329323       | 32.981936           | 0.06331111  | 0.61           | 0.187414119     | 0.12642975        | 0.500527579    | 24.6876609          | 0.070546898        | 0.52           | 0.15846894      | 0.106958115       | 0.659744127    | NON LIQUEFACIBILE   | 1                  | 0.5005276      | 0               | 0                 | 0                  | 1   | 0.5005276      | 0     | 0                       | 0                 | 0              | 0              | 0                  | 0                 | 0                 | 0     | 0     | 0                 | 0 | 0 |   |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 18.2  | 2.034          | 105.4545       | 0.559             | 11.36             | 8.521894                      | 6.246504 | 2.6                           | 3.329323       | 37.8296885          | 0.066886491 | 0.61           | 0.186002736     | 0.126149417       | 0.50367948     | 28.37213849         | 0.073633991        | 0.51           | 0.157435069     | 0.106263007       | 0.69295858     | NON LIQUEFACIBILE   | 0.9                | 0.5032164      | 0               | 0                 | 0                  | 0.9 | 0.5032164      | 0     | 0                       | 0                 | 0              | 0              | 0                  | 0                 | 0                 | 0     | 0     | 0                 | 0 | 0 |   |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 18.4  | 1.4685         | 109.47         | 0.525             | 7.72              | 5.61766                       | 9.787176 | 2.6                           | 3.329323       | 25.687594           | 0.05861005  | 0.61           | 0.18638746      | 0.125901758       | 0.466430431    | 18.70300677         | 0.06579605         | 0.51           | 0.15638036      | 0.105548348       | 0.612132361    | NON LIQUEFACIBILE   | 0.8                | 0.4664304      | 0               | 0                 | 0                  | 0.8 | 0.4664304      | 0     | 0                       | 0                 | 0              | 0              | 0                  | 0                 | 0                 | 0     | 0     | 0                 | 0 | 0 |   |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 18.6  | 1.3675         | 50.035         | 0.517             | 7.06              | 5.064234                      | 4.939393 | 2.6                           | 3.329323       | 23.5205777          | 0.057451918 | 0.58           | 0.18584666      | 0.125450252       | 0.457965749    | 16.86018735         | 0.064444773        | 0.50           | 0.14802286      | 0.104981124       | 0.61579657     | NON LIQUEFACIBILE   | 0.7                | 0.4579657      | 0               | 0                 | 0                  | 0.7 | 0.4579657      | 0     | 0                       | 0                 | 0              | 0              | 0                  | 0                 | 0                 | 0     | 0     | 0                 | 0 | 0 |   |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 18.8  | 2.4325         | 49.0385        | 0.570             | 13.86             | 10.30859                      | 2.36256  | 2.6                           | 3.329323       | 46.159333           | 0.07886743  | 0.60           | 0.185341052     | 0.125095363       | 0.59072377     | 34.32062464         | 0.0785806          | 0.50           | 0.154210229     | 0.104083711       | 0.755056477    | NON LIQUEFACIBILE   | 0.6                | 0.5907233      | 0               | 0                 | 0                  | 0.6 | 0.5907233      | 0     | 0                       | 0                 | 0              | 0              | 0                  | 0                 | 0                 | 0     | 0     | 0                 | 0 | 0 |   |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 19    | 3.779          | 174.325        | 0.622             | 23.49             | 16.88854                      | 5.100205 | 2.6                           | 3.329323       | 78.2138242          | 0.110213425 | 0.59           | 0.184810055     | 0.124737541       | 0.883562589    | 56.22740514         | 0.096532064        | 0.49           | 0.153095651     | 0.1033343         | 0.93419847     | NON LIQUEFACIBILE   | 0.5                | 0.8835626      | 0               | 0                 | 0                  | 0.5 | 0.8835626      | 0     | 0                       | 0                 | 0              | 0              | 0                  | 0                 | 0                 | 0     | 0     | 0                 | 0 | 0 |   |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 19.2  | 3.788          | 250.317        | 0.620             | 23.48             | 16.82558                      | 7.312369 | 2.6                           | 3.329323       | 78.163809           | 0.110142656 | 0.59           | 0.184277061     | 0.12477225        | 0.88582274     | 56.07179963         | 0.096347867        | 0.49           | 0.151961948     | 0.102566241       | 0.93937214     | NON LIQUEFACIBILE   | 0.4                | 0.8858223      | 0               | 0                 | 0                  | 0.4 | 0.8858223      | 0     | 0                       | 0                 | 0              | 0              | 0                  | 0                 | 0                 | 0     | 0     | 0                 | 0 | 0 |   |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 19.4  | 3.43           | 232.566        | 0.604             | 23.73             | 14.96896                      | 7.59672  | 2.6                           | 3.329323       | 69.0083103          | 0.098378051 | 0.59           | 0.183740151     | 0.124014839       | 0.793276444    | 49.83649822         | 0.091513803        | 0.48           | 0.150809519     | 0.101788413       | 0.890959142    | NON LIQUEFACIBILE   | 0.3                | 0.7932764      | 0               | 0                 | 0                  | 0.3 | 0.7932764      | 0     | 0                       | 0                 | 0              | 0              | 0                  | 0                 | 0                 | 0     | 0     | 0                 | 0 | 0 |   |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 19.6  | 2.529          | 180.4765       | 0.605             | 14.28             | 10.49036                      | 8.368566 | 2.6                           | 3.329323       | 47.558962           | 0.075179641 | 0.58           | 0.183200763     | 0.12399953        | 0.70799653     | 34.92580063         | 0.07909953         | 0.48           | 0.149638751     | 0.100998206       | 0.783114818    | NON LIQUEFACIBILE   | 0.2                | 0.6079997      | 0               | 0                 | 0                  | 0.2 | 0.6079997      | 0     | 0                       | 0                 | 0              | 0              | 0                  | 0                 | 0                 | 0     | 0     | 0                 | 0 | 0 |   |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 19.8  | 1.931          | 130.434        | 0.534             | 10.30             | 7.524196                      | 8.996128 | 2.6                           | 3.329323       | 34.3055729          | 0.06425105  | 0.58           | 0.18265957      | 0.12328486        | 0.521156604    | 25.05948135         | 0.070867051        | 0.47           | 0.148450091     | 0.100199876       | 0.70728511     | NON LIQUEFACIBILE   | 0.1                | 0.5211566      | 0               | 0                 | 0                  | 0.1 | 0.5211566      | 0     | 0                       | 0                 | 0              | 0              | 0                  | 0                 | 0                 | 0     | 0     | 0                 | 0 | 0 |   |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 20    | 1.458          | 69.8655        | 0.505             | 5.05              | 5.100203                      | 6.402165 | 2.6                           | 3.329323       | 24.4937999          | 0.05785503  | 0.58           | 0.182117043     | 0.122919327       | 0.47173625     | 17.2788617          | 0.064394126        | 0.47           | 0.146980091     | 0.09938168        | 0.674947735    | NON LIQUEFACIBILE   | 0                  | 0.4717362      | 0               | 0                 | 0                  | 0   | 0.4717362      | 0     | 0                       | 0                 | 0              | 0              | 0                  | 0                 | 0                 | 0     | 0     | 0                 | 0 | 0 |   |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 20.2  | 1.994          | 42.626         | 0.532             | 10.61             | 7.71304                       | 2.647249 | 2.6                           | 3.329323       | 35.311208           | 0.064997435 | 0.63           | 0.182114684     | 0.123578223       | 0.476888844    | 25.68002026         | 0.071391509        | 0.48           | 0.146022011     | 0.098558203       | 0.724376361    | NON LIQUEFACIBILE   | 0                  | 0              | 0               | 0                 | 0                  | 0   | 0              | 0     | 0                       | 0                 | 0              | 0              | 0                  | 0                 | 0                 | 0     | 0     | 0                 | 0 |   |   |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 20.4  | 2.585          | 95.509         | 0.557             | 14.25             | 10.3469                       | 4.399512 | 2.6                           | 3.329323       | 47.4564698          | 0.07084942  | 0.63           | 0.200107031     | 0.135061614       | 0.55591032     | 34.44817903         | 0.07890333         | 0.46           | 0.144779657     | 0.09718576        | 0.80532624     | NON LIQUEFACIBILE   | 0                  | 0              | 0               | 0                 | 0                  | 0   | 0              | 0     | 0                       | 0                 | 0              | 0              | 0                  | 0                 | 0                 | 0     | 0     | 0                 | 0 |   |   |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 20.6  | 2.0015         | 61.8005        | 0.528             | 10.57             | 7.635682                      | 3.838302 | 2.6                           | 3.329323       | 35.1857604          | 0.064900558 | 0.62           | 0.19000251      | 0.134328277       | 0.483074445    | 25.423165331        | 0.07176237         | 0.45           | 0.143522635     | 0.096870153       | 0.73475921     | NON LIQUEFACIBILE   | 0                  | 0              | 0               | 0                 | 0                  | 0   | 0              | 0     | 0                       | 0                 | 0              | 0              | 0                  | 0                 | 0                 | 0     | 0     | 0                 | 0 |   |   |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 20.8  | 1.5455         | 59.308         | 0.500             | 7.74              | 5.428065                      | 5.155872 |                               |                |                     |             |                |                 |                   |                |                     |                    |                |                 |                   |                |                     |                    |                |                 |                   |                    |     |                |       |                         |                   |                |                |                    |                   |                   |       |       |                   |   |   |   |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |                                          |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

|                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                  |                                        |                                   |                                 |                                       |                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| <div>STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna</div> <div>PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandatara),<br/>SETECO INGEGNERIA S.r.l.<br/>ITEC ENGINEERING S.r.l.</div> | <div>INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13<br/>TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA<br/>(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)</div> <div>PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA</div> |                                        |                                   |                                 |                                       |                                |
| <div>ELABORATI GENERALI</div> <div>Relazione sismica</div>                                                                                                                     | <div>CODICE PROGETTO</div> <div>24V25</div>                                                                                                                                                                      | <div>LIVELLO PROG.</div> <div>PF</div> | <div>TIPO DOC.</div> <div>R</div> | <div>AMBITO</div> <div>GT</div> | <div>PROGRESSIVO</div> <div>101</div> | <div>REV.</div> <div>r00</div> |

#### 7.4 Stima dei cedimenti post liquefazione

| CPTu1 |     |          |          |          |          |          |           | CPTu1 |          |          |          |          |          |          |           | CPTu1 |          |          |          |          |          |          |           |  |
|-------|-----|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|--|
| z     | Δz  | (qc1N)cs | FS       | EV (%)   | EV (-)   | s (m)    | S tot (m) | z     | Δz       | (qc1N)cs | FS       | EV (%)   | EV (-)   | s (m)    | S tot (m) | z     | Δz       | (qc1N)cs | FS       | EV (%)   | EV (-)   | s (m)    | S tot (m) |  |
| 0.2   | 0   | 458.4448 | #N/A     | #VALUE!  | #VALUE!  | #VALUE!  |           | 10.2  | 0.2      | 39.40052 | 0.441484 | 5.015204 | 0.050152 | 0.01003  |           | 20.2  | 0.2      | 74.44642 | 0.908452 | 2.42665  | 0.024267 | 0.004853 |           |  |
| 0.4   | 0.2 | 352.886  | #N/A     | #VALUE!  | #VALUE!  | #VALUE!  |           | 10.4  | 0.2      | 40.10229 | 0.446347 | 4.943123 | 0.049431 | 0.009886 |           | 20.4  | 0.2      | 79.45199 | 0.982381 | 1.094164 | 0.010942 | 0.002188 |           |  |
| 0.6   | 0.2 | 200.3325 | #N/A     | #VALUE!  | #VALUE!  | #VALUE!  |           | 10.6  | 0.2      | 42.95735 | 0.460957 | 4.672071 | 0.046721 | 0.009344 |           | 20.6  | 0.2      | 76.79194 | 0.95757  | 1.129371 | 0.011294 | 0.002259 |           |  |
| 0.8   | 0.2 | 157.4026 | 2.994809 | 0        | 0        | 0        |           | 10.8  | 0.2      | 45.18673 | 0.472947 | 4.4822   | 0.044822 | 0.008964 |           | 20.8  | 0.2      | 57.08173 | 0.771404 | 3.700603 | 0.037006 | 0.007401 |           |  |
| 1     | 0.2 | 144.6618 | 2.449697 | 0        | 0        | 0        |           | 11    | 0.2      | 46.12542 | 0.479282 | 4.407264 | 0.044073 | 0.008815 |           | 21    | 0.2      | 49.51917 | 0.731577 | 4.158015 | 0.04158  | 0.008316 |           |  |
| 1.2   | 0.2 | 130.2406 | 1.937155 | 0        | 0        | 0        |           | 11.2  | 0.2      | 41.91634 | 0.462392 | 4.767007 | 0.04767  | 0.009534 |           | 21.2  | 0.2      | 55.02234 | 0.774309 | 3.813802 | 0.038138 | 0.007628 |           |  |
| 1.4   | 0.2 | 90.01239 | 1.004712 | 0.974269 | 0.009743 | 0.001949 |           | 11.4  | 0.2      | 45.5316  | 0.481065 | 4.454342 | 0.044543 | 0.008909 |           | 21.4  | 0.2      | 55.78516 | 0.78862  | 3.770985 | 0.03771  | 0.007542 |           |  |
| 1.6   | 0.2 | 58.15239 | 0.669068 | 3.644641 | 0.036446 | 0.007289 |           | 11.6  | 0.2      | 78.6621  | 0.688717 | 2.844914 | 0.028449 | 0.00569  |           | 21.6  | 0.2      | 51.28404 | 0.767988 | 4.040311 | 0.040403 | 0.008081 |           |  |
| 1.8   | 0.2 | 78.05955 | 0.846996 | 2.86293  | 0.028629 | 0.005726 |           | 11.8  | 0.2      | 83.06821 | 0.736619 | 2.720593 | 0.027206 | 0.005441 |           | 21.8  | 0.2      | 54.99194 | 0.801675 | 3.815531 | 0.038155 | 0.007631 |           |  |
| 2     | 0.2 | 94.5117  | 1.082374 | 0.571909 | 0.005719 | 0.001144 |           | 12    | 0.2      | 77.35451 | 0.683454 | 2.88431  | 0.028843 | 0.005769 |           | 22    | 0.2      | 66.6052  | 0.913469 | 2.861172 | 0.028612 | 0.005722 |           |  |
| 2.2   | 0.2 | 106.3863 | 1.250119 | 0        | 0        | 0        |           | 12.2  | 0.2      | 61.88635 | 0.569815 | 3.463318 | 0.034633 | 0.006927 |           | 22.2  | 0.2      | 74.09777 | 1.013777 | 1.67512  | 0.011675 | 0.002335 |           |  |
| 2.4   | 0.2 | 68.34907 | 0.685456 | 3.192416 | 0.031924 | 0.006385 |           | 12.4  | 0.2      | 48.90657 | 0.50947  | 0        | 0        | 0        |           | 22.4  | 0.2      | #NUM!    | #NUM!    | #VALUE!  | #VALUE!  | #VALUE!  |           |  |
| 2.6   | 0.2 | 63.7648  | 0.627487 | 3.379432 | 0.033794 | 0.006759 |           | 12.6  | 0.2      | 75.25144 | 0.675456 | 2.950244 | 0.029502 | 0.0059   |           | 22.6  | 0.2      | 58.07704 | 0.866359 | 3.648518 | 0.036485 | 0.007297 |           |  |
| 2.8   | 0.2 | 87.39102 | 0.829375 | 2.473689 | 0.024737 | 0.004947 |           | 12.8  | 0.2      | 56.33678 | 0.548722 | 0        | 0        | 0        |           | 22.8  | 0.2      | 68.33445 | 0.979862 | 1.258824 | 0.012588 | 0.002518 |           |  |
| 3     | 0.2 | 48.56383 | 0.513275 | 0        | 0        | 0        |           | 13    | 0.2      | 74.67331 | 0.67816  | 2.968961 | 0.02969  | 0.005938 |           | 23    | 0.2      | 72.61427 | 1.046346 | 1.89678  | 0.011897 | 0.002379 |           |  |
| 3.2   | 0.2 | 50.73232 | 0.509755 | 0        | 0        | 0        |           | 13.2  | 0.2      | 54.70553 | 0.547209 | 0        | 0        | 0        |           | 23.2  | 0.2      | 71.69544 | 1.047982 | 1.203851 | 0.012039 | 0.002408 |           |  |
| 3.4   | 0.2 | 31.68131 | 0.413067 | 0        | 0        | 0        |           | 13.4  | 0.2      | 44.73438 | 0.504538 | 0        | 0        | 0        |           | 23.4  | 0.2      | 66.38475 | 0.996429 | 1.293172 | 0.012932 | 0.002586 |           |  |
| 3.6   | 0.2 | 61.22694 | 0.536817 | 0        | 0        | 0        |           | 13.6  | 0.2      | 45.24693 | 0.510189 | 0        | 0        | 0        |           | 23.6  | 0.2      | 27.67465 | 0.68828  | 0        | 0        | 0        |           |  |
| 3.8   | 0.2 | 70.50374 | 0.585331 | 3.112191 | 0.031122 | 0.006224 |           | 13.8  | 0.2      | 43.20216 | 0.503482 | 0        | 0        | 0        |           | 23.8  | 0.2      | 24.53328 | 0.67286  | 0        | 0        | 0        |           |  |
| 4     | 0.2 | 77.57546 | 0.630758 | 2.877572 | 0.028776 | 0.005755 |           | 14    | 0.2      | 44.14186 | 0.511383 | 0        | 0        | 0        |           | 24    | 0.2      | 22.59095 | 0.666702 | 0        | 0        | 0        |           |  |
| 4.2   | 0.2 | 48.45096 | 0.454674 | 4.233039 | 0.04233  | 0.008466 |           | 14.2  | 0.2      | 70.40561 | 0.667178 | 3.115747 | 0.031157 | 0.006231 |           | 24.2  | 0.2      | 22.16615 | 0.672812 | 0        | 0        | 0        |           |  |
| 4.4   | 0.2 | 23.72618 | 0.346065 | 0        | 0        | 0        |           | 14.4  | 0.2      | 87.2422  | 0.846691 | 2.479852 | 0.024799 | 0.00496  |           | 24.4  | 0.2      | 20.0781  | 0.665307 | 0        | 0        | 0        |           |  |
| 4.6   | 0.2 | 28.01205 | 0.359036 | 0        | 0        | 0        |           | 14.6  | 0.2      | 77.51698 | 0.741664 | 2.879352 | 0.028794 | 0.005759 |           | 24.6  | 0.2      | 20.41182 | 0.678014 | 0        | 0        | 0        |           |  |
| 4.8   | 0.2 | 73.61908 | 0.56646  | 3.00378  | 0.030038 | 0.006008 |           | 14.8  | 0.2      | 94.32723 | 0.95725  | 0.932755 | 0.009328 | 0.001866 |           | 24.8  | 0.2      | 17.92127 | 0.666959 | 0        | 0        | 0        |           |  |
| 5     | 0.2 | 39.94301 | 0.398333 | 4.959281 | 0.049593 | 0.009919 | 0.408425  | 15    | 0.2      | 91.89276 | 0.928175 | 1.776988 | 0.01777  | 0.003554 |           | 25    | 0.2      | 16.57199 | 0.665502 | 0        | 0        | 0        | 0.408425  |  |
| 5.2   | 0.2 | 16.65801 | 0.302416 | 0        | 0        | 0        |           | 15.2  | 0.2      | 88.68921 | 0.890152 | 1.872782 | 0.018728 | 0.003746 |           | 25.2  | 0.2      | 25.33185 | 0.753228 | 0        | 0        | 0        |           |  |
| 5.4   | 0.2 | 10.90521 | 0.277068 | 0        | 0        | 0        |           | 15.4  | 0.2      | 99.25293 | 1.057998 | 0.554    | 0.00554  | 0.001108 |           | 25.4  | 0.2      | 46.94613 | 0.959016 | 1.784811 | 0.017848 | 0.00357  |           |  |
| 5.6   | 0.2 | 11.39718 | 0.276526 | 0        | 0        | 0        |           | 15.6  | 0.2      | 126.8626 | 1.683028 | 0        | 0        | 0        |           | 25.6  | 0.2      | 73.59748 | 1.280481 | 0        | 0        | 0        |           |  |
| 5.8   | 0.2 | 9.61917  | 0.267428 | 0        | 0        | 0        |           | 15.8  | 0.2      | 131.2162 | 1.822998 | 0        | 0        | 0        |           | 25.8  | 0.2      | 64.85871 | 1.171565 | 0.545147 | 0.005451 | 0.00109  |           |  |
| 6     | 0.2 | 12.35162 | 0.275796 | 0        | 0        | 0        |           | 16    | 0.2      | 106.5765 | 1.21955  | 0.386977 | 0.00387  | 0.000774 |           | 26    | 0.2      | 72.99267 | 1.313324 | 0        | 0        | 0        |           |  |
| 6.2   | 0.2 | 13.52235 | 0.27826  | 0        | 0        | 0        |           | 16.2  | 0.2      | 84.31755 | 0.866432 | 2.018261 | 0.020183 | 0.004037 |           | 26.2  | 0.2      | 63.34265 | 1.191754 | 0.554117 | 0.005541 | 0.001108 |           |  |
| 6.4   | 0.2 | 13.14346 | 0.274985 | 0        | 0        | 0        |           | 16.4  | 0.2      | 20.93867 | 0.433905 | 0        | 0        | 0        |           | 26.4  | 0.2      | 37.17483 | 0.947356 | 5.260125 | 0.052601 | 0.01052  |           |  |
| 6.6   | 0.2 | 12.80852 | 0.272026 | 0        | 0        | 0        |           | 16.6  | 0.2      | 20.65835 | 0.435922 | 0        | 0        | 0        |           | 26.6  | 0.2      | 55.36123 | 1.140663 | 0.809672 | 0.008097 | 0.001619 |           |  |
| 6.8   | 0.2 | 16.3976  | 0.283774 | 0        | 0        | 0        |           | 16.8  | 0.2      | 58.11004 | 0.642521 | 3.648919 | 0.036468 | 0.007294 |           | 26.8  | 0.2      | 67.56438 | 1.317881 | 0        | 0        | 0        |           |  |
| 7     | 0.2 | 17.33428 | 0.285692 | 0        | 0        | 0        | 17        | 0.2   | 44.23022 | 0.5727   | 4.56153  | 0.045615 | 0.009123 |          | 27        | 0.2   | 70.72187 | 1.39436  | 0        | 0        | 0        |          |           |  |
| 7.2   | 0.2 | 24.40242 | 0.31021  | 0        | 0        | 0        | 17.2      | 0.2   | 24.52176 | 0.468392 | 0        | 0        | 0        |          | 27.2      | 0.2   | 76.78864 | 1.536704 | 0        | 0        | 0        |          |           |  |
| 7.4   | 0.2 | 25.53045 | 0.312857 | 0        | 0        | 0        | 17.4      | 0.2   | 22.82756 | 0.462946 | 0        | 0        | 0        |          | 27.4      | 0.2   | 76.86716 | 1.56807  | 0        | 0        | 0        |          |           |  |
| 7.6   | 0.2 | 20.32638 | 0.292516 | 0        | 0        | 0        | 17.6      | 0.2   | 18.98199 | 0.445358 | 0        | 0        | 0        |          | 27.6      | 0.2   | 60.16194 | 1.31141  | 0        | 0        | 0        |          |           |  |
| 7.8   | 0.2 | 21.99799 | 0.297352 | 0        | 0        | 0        | 17.8      | 0.2   | 18.49604 | 0.44656  | 0        | 0        | 0        |          | 27.8      | 0.2   | 95.56461 | 2.15078  | 0        | 0        | 0        |          |           |  |
| 8     | 0.2 | 35.28226 | 0.344156 | 5.4904   | 0.054904 | 0.010981 | 18        | 0.2   | 18.81443 | 0.452422 | 0        | 0        | 0        |          | 28        | 0.2   | 26.56538 | 0.982415 | 0        | 0        | 0        |          |           |  |
| 8.2   | 0.2 | 34.72783 | 0.340895 | 5.562174 | 0.055622 | 0.011124 | 18.2      | 0.2   | 17.28828 | 0.447731 | 0        | 0        | 0        |          | 28.2      | 0.2   | 26.98096 | 1.00794  | 0        | 0        | 0        |          |           |  |
| 8.4   | 0.2 | 37.63509 | 0.350143 | 5.207316 | 0.052073 | 0.010415 | 18.4      | 0.2   | 38.98105 | 0.578692 | 5.059414 | 0.050594 | 0.010119 |          | 28.4      | 0.2   | 25.08907 | 1.007287 | 0        | 0        | 0        |          |           |  |
| 8.6   | 0.2 | 37.59444 | 0.348884 | 5.211933 | 0.052119 | 0.010424 | 18.6      | 0.2   | 49.92074 | 0.6487   | 4.130567 | 0.041306 | 0.008261 |          | 28.6      | 0.2   | 24.40462 | 1.021241 | 0        | 0        | 0        |          |           |  |
| 8.8   | 0.2 | 37.54052 | 0.347614 | 5.21807  | 0.052181 | 0.010436 | 18.8      | 0.2   | 60.99228 | 0.722968 | 3.504893 | 0.035049 | 0.00701  |          | 28.8      | 0.2   | 26.20096 | 1.066541 | 0        | 0        | 0        |          |           |  |
| 9     | 0.2 | 37.50687 | 0.346505 | 5.221909 | 0.052219 | 0.010444 | 19        | 0.2   | 52.89411 | 0.677004 | 3.939183 | 0.039392 | 0.007878 |          | 29        | 0.2   | 24.96973 | 1.075654 | 0        | 0        | 0        |          |           |  |
| 9.2   | 0.2 | 38.16113 | 0.428727 | 5.148382 | 0.051484 | 0.010297 | 19.2      | 0.2   | 44.20936 | 0.633099 | 4.563295 | 0.045633 | 0.009127 |          | 29.2      | 0.2   | 21.98716 | 1.062541 | 0        | 0        | 0        |          |           |  |
| 9.4   | 0.2 | 39.24319 | 0.434735 | 5.031685 | 0.050317 | 0.010063 | 19.4      | 0.2   | 52.67943 | 0.689281 | 3.952342 | 0.039523 | 0.007905 |          | 29.4      | 0.2   | 23.2647  | 1.10536  | 0        | 0        | 0        |          |           |  |
| 9.6   | 0.2 | 39.12398 | 0.435589 | 5.044253 | 0.050443 | 0.010089 | 19.6      | 0.2   | 52.0683  | 0.692792 | 3.990341 | 0.039903 | 0.007981 |          | 29.6      | 0.2   | 18.05687 | 1.062635 | 0        | 0        | 0        |          |           |  |
| 9.8   | 0.2 | 41.034   | 0.445476 | 4.850899 | 0.048509 | 0.009702 | 19.8      | 0.2   | 61.24685 | 0.761838 | 3.492943 | 0.034929 | 0.006986 |          | 29.8      | 0.2   | 17.9288  | 1.088616 | 0        | 0        | 0        |          |           |  |
| 10    | 0.2 | 41.67468 | 0.449897 | 4.789663 | 0.047897 | 0.009579 | 20        | 0.2   | 77.36298 | 0.93454  | 2.292487 | 0.022925 | 0.004585 |          |           |       |          |          |          |          |          |          |           |  |

|                                                                                                    |                                                                                                                                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna                                               | INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13<br>TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA<br>(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)                    |
| PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandataria),<br>SETECO INGEGNERIA S.r.l.<br>ITEC ENGINEERING S.r.l. | PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA                                                                                                                       |
| ELABORATI GENERALI<br>Relazione sismica                                                            | CODICE PROGETTO<br><b>24V25</b><br>LIVELLO PROG.<br><b>PF</b><br>TIPO DOC.<br><b>R</b><br>AMBITO<br><b>GT</b><br>PROGRESSIVO<br><b>101</b><br>REV.<br><b>r00</b> |

| CPTu2 |     |          |          |           |           |          |              |
|-------|-----|----------|----------|-----------|-----------|----------|--------------|
| z     | Δz  | (qc1N)cs | FS       | ev<br>(%) | ev<br>(-) | s<br>(m) | S tot<br>(m) |
| 0.2   | 0   | #NUM!    | #NUM!    | #VALUE!   | #VALUE!   | #VALUE!  |              |
| 0.4   | 0.2 | #NUM!    | #NUM!    | #VALUE!   | #VALUE!   | #VALUE!  |              |
| 0.6   | 0.2 | #NUM!    | #NUM!    | #VALUE!   | #VALUE!   | #VALUE!  |              |
| 0.8   | 0.2 | 18.91453 | 0.444854 | 0         | 0         | 0        |              |
| 1     | 0.2 | 16.42779 | 0.431504 | 0         | 0         | 0        |              |
| 1.2   | 0.2 | 12.12856 | 0.407868 | 0         | 0         | 0        |              |
| 1.4   | 0.2 | 32.89101 | 0.526047 | 0         | 0         | 0        |              |
| 1.6   | 0.2 | 81.1511  | 0.882896 | 2.135897  | 0.021359  | 0.004272 |              |
| 1.8   | 0.2 | 114.3234 | 1.492804 | 0         | 0         | 0        |              |
| 2     | 0.2 | 211.0907 | #N/A     | #VALUE!   | #VALUE!   | #VALUE!  |              |
| 2.2   | 0.2 | 172.1827 | #N/A     | #VALUE!   | #VALUE!   | #VALUE!  |              |
| 2.4   | 0.2 | 117.9741 | 1.593911 | 0         | 0         | 0        |              |
| 2.6   | 0.2 | 117.9043 | 1.59454  | 0         | 0         | 0        |              |
| 2.8   | 0.2 | 116.8367 | 1.56884  | 0         | 0         | 0        |              |
| 3     | 0.2 | 206.107  | #N/A     | #VALUE!   | #VALUE!   | #VALUE!  |              |
| 3.2   | 0.2 | 218.0404 | #N/A     | #VALUE!   | #VALUE!   | #VALUE!  |              |
| 3.4   | 0.2 | 168.1035 | #N/A     | #VALUE!   | #VALUE!   | #VALUE!  |              |
| 3.6   | 0.2 | 116.2557 | 1.563489 | 0         | 0         | 0        |              |
| 3.8   | 0.2 | 72.95661 | 0.804108 | 3.026127  | 0.030261  | 0.006052 |              |
| 4     | 0.2 | 59.243   | 0.689011 | 3.589532  | 0.035895  | 0.007179 |              |
| 4.2   | 0.2 | 57.69947 | 0.679872 | 3.668084  | 0.036681  | 0.007336 |              |
| 4.4   | 0.2 | 57.73537 | 0.68118  | 3.666214  | 0.036662  | 0.007332 |              |
| 4.6   | 0.2 | 59.56026 | 0.694466 | 3.573846  | 0.035738  | 0.007148 |              |
| 4.8   | 0.2 | 61.57914 | 0.709994 | 3.47748   | 0.034775  | 0.006955 |              |
| 5     | 0.2 | 83.2275  | 0.934134 | 2.057506  | 0.020575  | 0.004115 |              |
| 5.2   | 0.2 | 89.31466 | 1.02417  | 0.981345  | 0.009813  | 0.001963 |              |
| 5.4   | 0.2 | 101.0674 | 1.234457 | 0.401412  | 0.004014  | 0.000803 |              |
| 5.6   | 0.2 | 82.93229 | 0.93462  | 2.068355  | 0.020684  | 0.004137 | 0.33         |
| 5.8   | 0.2 | 81.72841 | 0.920097 | 2.113606  | 0.021136  | 0.004227 |              |
| 6     | 0.2 | 49.92799 | 0.645463 | 4.130076  | 0.041301  | 0.00826  |              |
| 6.2   | 0.2 | 61.24943 | 0.715528 | 3.492822  | 0.034928  | 0.006986 |              |
| 6.4   | 0.2 | 66.45549 | 0.758571 | 3.266817  | 0.032668  | 0.006534 |              |
| 6.6   | 0.2 | 56.68496 | 0.686461 | 3.72183   | 0.037218  | 0.007444 |              |
| 6.8   | 0.2 | 64.00304 | 0.740368 | 3.369114  | 0.033691  | 0.006738 |              |
| 7     | 0.2 | 55.08193 | 0.678757 | 3.810418  | 0.038104  | 0.007621 |              |
| 7.2   | 0.2 | 42.42048 | 0.607234 | 4.720502  | 0.047205  | 0.009441 |              |
| 7.4   | 0.2 | 23.65515 | 0.496808 | 0         | 0         | 0        |              |
| 7.6   | 0.2 | 17.07537 | 0.458487 | 0         | 0         | 0        |              |
| 7.8   | 0.2 | 15.53634 | 0.450066 | 0         | 0         | 0        |              |
| 8     | 0.2 | 15.56515 | 0.450971 | 0         | 0         | 0        |              |
| 8.2   | 0.2 | 41.78482 | 0.608391 | 4.779308  | 0.047793  | 0.009559 |              |
| 8.4   | 0.2 | 83.90077 | 0.969525 | 1.040106  | 0.010401  | 0.00208  |              |
| 8.6   | 0.2 | 73.67751 | 0.838334 | 3.001826  | 0.030018  | 0.006004 |              |
| 8.8   | 0.2 | 39.84059 | 0.58895  | 4.969733  | 0.049697  | 0.009939 |              |
| 9     | 0.2 | 64.27177 | 0.733872 | 3.357558  | 0.033576  | 0.006715 |              |
| 9.2   | 0.2 | 65.95773 | 0.912842 | 2.902838  | 0.029028  | 0.005806 |              |
| 9.4   | 0.2 | 54.06812 | 0.807266 | 3.868908  | 0.038689  | 0.007738 |              |
| 9.6   | 0.2 | 44.27504 | 0.738147 | 4.557743  | 0.045577  | 0.009115 |              |
| 9.8   | 0.2 | 26.27037 | 0.608915 | 0         | 0         | 0        |              |
| 10    | 0.2 | 58.26817 | 0.831353 | 3.638702  | 0.036387  | 0.007277 |              |
| 10.2  | 0.2 | 56.37665 | 0.814859 | 3.738512  | 0.037385  | 0.007477 |              |
| 10.4  | 0.2 | 53.33192 | 0.791782 | 3.912647  | 0.039126  | 0.007825 |              |
| 10.6  | 0.2 | 57.3017  | 0.818997 | 3.688951  | 0.036891  | 0.007378 |              |
| 10.8  | 0.2 | 55.26738 | 0.802857 | 3.799931  | 0.037999  | 0.0076   |              |
| 11    | 0.2 | 56.19453 | 0.8088   | 3.748444  | 0.037484  | 0.007497 |              |

| CPTu2 |     |          |          |           |           |          |              |
|-------|-----|----------|----------|-----------|-----------|----------|--------------|
| z     | Δz  | (qc1N)cs | FS       | ev<br>(%) | ev<br>(-) | s<br>(m) | S tot<br>(m) |
| 11.2  | 0.2 | 59.79245 | 0.836523 | 3.562462  | 0.035625  | 0.007125 |              |
| 11.4  | 0.2 | 54.49089 | 0.795717 | 3.844276  | 0.038443  | 0.007689 |              |
| 11.6  | 0.2 | 53.16533 | 0.786639 | 3.922698  | 0.039227  | 0.007845 |              |
| 11.8  | 0.2 | 26.4813  | 0.60326  | 0         | 0         | 0        |              |
| 12    | 0.2 | 53.63679 | 0.79019  | 3.894401  | 0.038944  | 0.007789 |              |
| 12.2  | 0.2 | 51.38893 | 0.776202 | 4.033547  | 0.040335  | 0.008067 |              |
| 12.4  | 0.2 | 80.36952 | 1.075986 | 0.635453  | 0.006355  | 0.001271 |              |
| 12.6  | 0.2 | 61.89517 | 0.856967 | 3.189217  | 0.031892  | 0.006378 |              |
| 12.8  | 0.2 | 13.01223 | 0.511584 | 0         | 0         | 0        |              |
| 13    | 0.2 | 11.12138 | 0.499134 | 0         | 0         | 0        |              |
| 13.2  | 0.2 | 9.831613 | 0.490976 | 0         | 0         | 0        |              |
| 13.4  | 0.2 | 55.91359 | 0.813822 | 3.763881  | 0.037639  | 0.007528 |              |
| 13.6  | 0.2 | 63.10574 | 0.875946 | 3.09909   | 0.030991  | 0.006198 |              |
| 13.8  | 0.2 | 40.6967  | 0.712704 | 4.883842  | 0.048838  | 0.009768 |              |
| 14    | 0.2 | 15.44188 | 0.535428 | 0         | 0         | 0        |              |
| 14.2  | 0.2 | 13.43906 | 0.522718 | 0         | 0         | 0        |              |
| 14.4  | 0.2 | 15.53636 | 0.539297 | 0         | 0         | 0        |              |
| 14.6  | 0.2 | 18.438   | 0.561843 | 0         | 0         | 0        |              |
| 14.8  | 0.2 | 18.18844 | 0.562001 | 0         | 0         | 0        |              |
| 15    | 0.2 | 21.28732 | 0.586411 | 0         | 0         | 0        |              |
| 15.2  | 0.2 | 23.79912 | 0.606858 | 0         | 0         | 0        |              |
| 15.4  | 0.2 | 22.50274 | 0.599891 | 0         | 0         | 0        |              |
| 15.6  | 0.2 | 19.87387 | 0.58324  | 0         | 0         | 0        |              |
| 15.8  | 0.2 | 20.01113 | 0.586824 | 0         | 0         | 0        |              |
| 16    | 0.2 | 22.65085 | 0.608968 | 0         | 0         | 0        |              |
| 16.2  | 0.2 | 24.20199 | 0.623362 | 0         | 0         | 0        |              |
| 16.4  | 0.2 | 23.4374  | 0.620771 | 0         | 0         | 0        |              |
| 16.6  | 0.2 | 22.73462 | 0.618711 | 0         | 0         | 0        |              |
| 16.8  | 0.2 | 23.14102 | 0.62506  | 0         | 0         | 0        |              |
| 17    | 0.2 | 24.71585 | 0.640402 | 0         | 0         | 0        |              |
| 17.2  | 0.2 | 22.81777 | 0.629614 | 0         | 0         | 0        |              |
| 17.4  | 0.2 | 22.71077 | 0.632485 | 0         | 0         | 0        |              |
| 17.6  | 0.2 | 23.4509  | 0.641994 | 0         | 0         | 0        |              |
| 17.8  | 0.2 | 26.01812 | 0.66585  | 0         | 0         | 0        |              |
| 18    | 0.2 | 24.68786 | 0.659744 | 0         | 0         | 0        |              |
| 18.2  | 0.2 | 28.37214 | 0.692959 | 0         | 0         | 0        |              |
| 18.4  | 0.2 | 18.70301 | 0.621322 | 0         | 0         | 0        |              |
| 18.6  | 0.2 | 16.86047 | 0.610981 | 0         | 0         | 0        |              |
| 18.8  | 0.2 | 34.32062 | 0.755056 | 5.61623   | 0.056162  | 0.011232 |              |
| 19    | 0.2 | 56.22741 | 0.934198 | 3.746647  | 0.037466  | 0.007493 |              |
| 19.2  | 0.2 | 56.0178  | 0.939372 | 3.758139  | 0.037581  | 0.007516 |              |
| 19.4  | 0.2 | 49.8365  | 0.899059 | 4.136292  | 0.041363  | 0.008273 |              |
| 19.6  | 0.2 | 34.9258  | 0.783115 | 5.536307  | 0.055363  | 0.011073 |              |
| 19.8  | 0.2 | 25.05048 | 0.707285 | 0         | 0         | 0        |              |
| 20    | 0.2 | 17.27986 | 0.647948 | 0         | 0         | 0        |              |
| 20.2  | 0.2 | 25.68008 | 0.724376 | 0         | 0         | 0        |              |
| 20.4  | 0.2 | 34.44818 | 0.805326 | 5.599172  | 0.055992  | 0.011198 |              |
| 20.6  | 0.2 | 25.42165 | 0.734759 | 0         | 0         | 0        |              |
| 20.8  | 0.2 | 18.07178 | 0.677568 | 0         | 0         | 0        |              |
| 21    | 0.2 | 18.27501 | 0.685544 | 0         | 0         | 0        |              |
| 21.2  | 0.2 | 17.85413 | 0.688229 | 0         | 0         | 0        |              |
| 21.4  | 0.2 | 16.54735 | 0.683138 | 0         | 0         | 0        |              |
| 21.6  | 0.2 | 24.18875 | 0.758633 | 0         | 0         | 0        |              |
| 21.8  | 0.2 | 60.64205 | 1.100297 | 0.763114  | 0.007631  | 0.001526 |              |
| 22    | 0.2 | 62.65202 | 1.13499  | 0.747111  | 0.007471  | 0.001494 |              |

| CPTu2 |     |          |          |           |           |          |              |
|-------|-----|----------|----------|-----------|-----------|----------|--------------|
| z     | Δz  | (qc1N)cs | FS       | EV<br>(%) | EV<br>(-) | s<br>(m) | S tot<br>(m) |
| 22.2  | 0.2 | 70.06567 | 1.2484   | 0.51686   | 0.005169  | 0.001034 | 0.33         |
| 22.4  | 0.2 | #NUM!    | #NUM!    | #VALUE!   | #VALUE!   | #VALUE!  |              |
| 22.6  | 0.2 | 73.66579 | 1.334333 | 0         | 0         | 0        |              |
| 22.8  | 0.2 | 58.23387 | 1.132471 | 0.783481  | 0.007835  | 0.001567 |              |
| 23    | 0.2 | 45.98053 | 1.028048 | 1.819643  | 0.018196  | 0.003639 |              |
| 23.2  | 0.2 | 15.08377 | 0.736774 | 0         | 0         | 0        |              |
| 23.4  | 0.2 | 16.99672 | 0.764397 | 0         | 0         | 0        |              |
| 23.6  | 0.2 | 16.55492 | 0.769106 | 0         | 0         | 0        |              |
| 23.8  | 0.2 | 16.54164 | 0.778363 | 0         | 0         | 0        |              |
| 24    | 0.2 | 27.25868 | 0.898371 | 0         | 0         | 0        |              |
| 24.2  | 0.2 | 22.49867 | 0.860184 | 0         | 0         | 0        |              |
| 24.4  | 0.2 | 14.12781 | 0.782966 | 0         | 0         | 0        |              |
| 24.6  | 0.2 | 30.16957 | 0.964975 | 0         | 0         | 0        |              |
| 24.8  | 0.2 | 54.33966 | 1.235667 | 0.615944  | 0.006159  | 0.001232 |              |
| 25    | 0.2 | 44.46915 | 1.148753 | 0.933586  | 0.009336  | 0.001867 |              |
| 25.2  | 0.2 | 17.21398 | 0.861103 | 0         | 0         | 0        |              |
| 25.4  | 0.2 | 16.21728 | 0.86224  | 0         | 0         | 0        |              |
| 25.6  | 0.2 | 12.91516 | 0.837038 | 0         | 0         | 0        |              |
| 25.8  | 0.2 | 12.79992 | 0.848282 | 0         | 0         | 0        |              |
| 26    | 0.2 | 12.27427 | 0.855099 | 0         | 0         | 0        |              |
| 26.2  | 0.2 | 10.17669 | 0.843328 | 0         | 0         | 0        |              |
| 26.4  | 0.2 | 11.06352 | 0.867689 | 0         | 0         | 0        |              |
| 26.6  | 0.2 | 11.67445 | 0.889507 | 0         | 0         | 0        |              |
| 26.8  | 0.2 | 15.24314 | 0.949451 | 0         | 0         | 0        |              |
| 27    | 0.2 | 9.760067 | 0.895396 | 0         | 0         | 0        |              |
| 27.2  | 0.2 | 12.74291 | 0.950068 | 0         | 0         | 0        |              |
| 27.4  | 0.2 | 14.09598 | 0.985129 | 0         | 0         | 0        |              |
| 27.6  | 0.2 | 14.39915 | 1.007362 | 0         | 0         | 0        |              |
| 27.8  | 0.2 | 16.66209 | 1.057555 | 0         | 0         | 0        |              |
| 28    | 0.2 | 19.24161 | 1.114233 | 0         | 0         | 0        |              |
| 28.2  | 0.2 | 12.36818 | 1.037749 | 0         | 0         | 0        |              |
| 28.4  | 0.2 | 8.504011 | 1.002284 | 0         | 0         | 0        |              |
| 28.6  | 0.2 | 14.11435 | 1.106901 | 0         | 0         | 0        |              |
| 28.8  | 0.2 | 46.92722 | 1.630894 | 0         | 0         | 0        |              |
| 29    | 0.2 | 50.61942 | 1.722236 | 0         | 0         | 0        |              |
| 29.2  | 0.2 | 50.68664 | 1.761924 | 0         | 0         | 0        |              |
| 29.4  | 0.2 | 54.42081 | 1.859016 | 0         | 0         | 0        |              |
| 29.6  | 0.2 | 64.12528 | 2.097693 | 0         | 0         | 0        |              |
| 29.8  | 0.2 | 45.76207 | 1.814713 | 0         | 0         | 0        |              |
| 30    | 0.2 | 61.7826  | 2.15549  | 0         | 0         | 0        |              |
| 30.2  | 0.2 | 51.27388 | 2.010761 | 0         | 0         | 0        |              |
| 30.4  | 0.2 | 41.81127 | 1.895547 | 0         | 0         | 0        |              |
| 30.6  | 0.2 | 20.79482 | 1.548252 | 0         | 0         | 0        |              |
| 30.8  | 0.2 | 22.40954 | 1.626657 | 0         | 0         | 0        |              |
| 31    | 0.2 | 21.87564 | 1.66621  | 0         | 0         | 0        |              |
| 31.2  | 0.2 | 21.86913 | 1.719364 | 0         | 0         | 0        |              |
| 31.4  | 0.2 | 24.62328 | 1.835908 | 0         | 0         | 0        |              |
| 31.6  | 0.2 | 22.68952 | 1.855265 | 0         | 0         | 0        |              |
| 31.8  | 0.2 | 22.45512 | 1.915458 | 0         | 0         | 0        |              |
| 32    | 0.2 | 17.55234 | 1.867673 | 0         | 0         | 0        |              |
| 32.2  | 0.2 | 18.84152 | 1.970998 | 0         | 0         | 0        |              |
| 32.4  | 0.2 | 41.64302 | 2.644145 | 0         | 0         | 0        |              |
| 32.6  | 0.2 | 49.25631 | 2.956221 | 0         | 0         | 0        |              |
| 32.8  | 0.2 | 54.21072 | 3.211509 | 0         | 0         | 0        |              |
| 33    | 0.2 | 56.56125 | 3.426954 | 0         | 0         | 0        |              |
| 33.2  | 0.2 | 55.20964 | 3.544456 | 0         | 0         | 0        |              |