

**AUTOSTRADA (A14) : BOLOGNA-BARI-TARANTO**  
**TRATTO: BOLOGNA BORGO PANIGALE – BOLOGNA SAN LAZZARO**

**POTENZIAMENTO IN SEDE DEL SISTEMA**  
**AUTOSTRADALE DI BOLOGNA**  
**“PASSANTE DI BOLOGNA”**

**PROGETTO ESECUTIVO**


**DOCUMENTAZIONE GENERALE**

**GEOLOGIA**  
**PARTE GENERALE**

**RELAZIONE GEOLOGICA-GEOMORFOLOGICA**

|   |  |  |
|---|--|--|
| <b>IL GEOLOGO</b>   | <b>IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE<br/>PRESTAZIONI SPECIALISTICHE</b> | <b>IL DIRETTORE TECNICO</b>  |
| Dott. Enrico Maranini<br>Ord. Geol. Emilia-Romagna n.1056 | Ing. Raffaele Rinaldesi<br>Ord. Ingg. Macerata n. A1068            | Ing. Piero Bongio<br>Ord. Ingg. Sondrio n.A538<br>T.A. – Geologia e Geotecnica |

| CODICE IDENTIFICATIVO |                               |      |                        |           |           |             |                       |      |            |             | Ordinatore |            |
|-----------------------|-------------------------------|------|------------------------|-----------|-----------|-------------|-----------------------|------|------------|-------------|------------|------------|
| RIFERIMENTO PROGETTO  |                               |      | RIFERIMENTO DIRETTORIO |           |           |             | RIFERIMENTO ELABORATO |      |            |             |            |            |
| Codice Commessa       | Lotto, Sub-Prog, Cod. Appalto | Fase | Capitolo               | Paragrafo | WBS       |             | PARTE D'OPERA         | Tipo | Disciplina | Progressivo | Rev.       |            |
|                       |                               |      |                        |           | tipologia | progressivo |                       |      |            |             |            |            |
| 111465                | 0001                          | PE   | DG                     | GEO       | GE000     |             | 00000                 | R    | GEO        | 0001        | 0          | SCALA<br>- |

|   |   |  |                         |  |  |  |           |              |
|---|---|--|-------------------------|--|--|--|-----------|--------------|
|  | ENGINEERING COORDINATOR:                                |  | SUPPORTO SPECIALISTICO: |  |  |  | REVISIONE |              |
|   | Ing. Raffaele Rinaldesi<br>Ord. Ingg. Macerata n. A1068 |  |                         |  |  |  | n.        | data         |
|   |   |  |                         |  |  |  | 0         | GENNAIO 2022 |
|   | REDATTO:  |  |                         |  |  |  |           |              |

|   |  |
|---|--|
| <b>VISTO DEL COMMITTENTE</b>  | <b>VISTO DEL CONCEDENTE</b>  |
|  |   |
| IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO<br>Ing. Fabio Visintin                       | <b>Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti</b><br><small>DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE<br/>STRUTTURA DI VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI</small> |

## Sommario

|   |    |
|---|----|
| PREMESSA .....  | 5  |
| 1   NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....  | 6  |
| 2   INQUADRAMENTO GEOGRAFICO .....  | 7  |
| 3   INDAGINI GEOGNOSTICHE .....   | 10 |
| 3.1   INDAGINI BIBLIOGRAFICHE E PREGRESSE .....   | 10 |
| 3.2   INDAGINI GEOGNOSTICHE DI PROGETTO - PASSANTE.....                                 | 10 |
| 4   INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....   | 13 |
| 4.1   INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE .....   | 13 |
| 4.2   ASSETTO STRATIGRAFICO LOCALE .....  | 15 |
| 4.3   CARTOGRAFIA E PROFILO GEOLOGICO DI PROGETTO.....                                  | 18 |
| 5   INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.....   | 19 |
| 5.1   RETICOLO IDROGRAFICO .....  | 19 |
| 5.2   FOTOINTERPRETAZIONE .....   | 22 |
| 5.3   PIANO CAVE .....  | 22 |
| 5.4   DESCRIZIONE GEOMORFOLOGICA DELL' AREA DI INTERVENTO .....                         | 25 |
| 5.4.1 <i>Attraversamento Fiume Reno</i> .....   | 26 |
| 5.4.2 <i>Attraversamento canale Navile e Savena Abbandonato</i> .....                   | 36 |
| 5.4.3 <i>Quartiere San Vitale – Torrente Savena Naturale</i> .....                      | 40 |
| 5.5   COMPATIBILITÀ GEOMORFOLOGICA CON CARTOGRAFIE DI ENTI ED ISTITUZIONI .....         | 45 |
| 5.5.1 <i>Piano di Coordinamento Gestione Rischi Alluvioni (PGRA)</i> .....              | 45 |
| 5.5.2 <i>Piano di assetto idrogeologico (PAI)</i> .....                                 | 46 |
| 5.5.3 <i>Piano territoriale metropolitano (Ptm)</i> .....                               | 47 |
| 5.5.4 <i>Piani strutturali comunali (Psc)</i> .....                                     | 48 |
| 5.6   CARTOGRAFIA GEOMORFOLOGICA DI PROGETTO .....                                      | 48 |
| 5.6.1 <i>Carta dei vincoli e pericolosità idraulica dell'area di intervento</i> .....   | 49 |
| 5.7   ASPETTI LEGATI ALLA SUBSIDENZA .....  | 52 |
| 5.8   SINKOLES.....   | 58 |
| 5.9   PRESENZA DI GAS NEL SOTTOSUOLO .....  | 59 |
| 6   INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....  | 61 |
| 7   ELEMENTI DI SISMICA .....   | 63 |
| 7.1   SISMICITÀ STORICA.....  | 63 |
| 7.2   SISMICITÀ STRUMENTALE RECENTE (1985 -2022) .....                                  | 68 |
| 7.3   FAGLIE CAPACI (PROGETTO ITHACA) .....   | 70 |
| 7.4   STRUTTURE SISMOGENETICHE.....   | 71 |
| 7.5   CLASSIFICAZIONE SISMICA .....   | 72 |
| 7.6   CARATTERISTICHE SISMICHE DEL SITO DI INTERESSE PROGETTUALE .....                  | 75 |
| 7.7   DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO .....                                   | 77 |
| 7.8   ASPETTI LEGATI ALLA LIQUEFAZIONE.....   | 83 |
| 7.8.1 <i>Rischio liquefazione definito dalla cartografia dei PSC-POC Comunali</i> ..... | 83 |
| 8   PRINCIPALI ELEMENTI GEOLOGICI DI INTERESSE INGEGNERISTICO .....                     | 85 |
| 8.1   DESCRIZIONE GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA LUNGO IL TRACCIATO DI PROGETTO .....       | 85 |
| 8.1.1 <i>Principali opere connesse al potenziamento (lotto 1)</i> .....                 | 87 |
| 9   RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....   | 90 |

## Indice delle figure

|  |    |
|--|----|
| FIGURA 2-1 - INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA DI INTERVENTO (DA RER, MODIF.) .....   | 7  |
| FIGURA 2-2- PLANIMETRIA DELL'AREA DI INTERVENTO (PARTE 1).....   | 8  |
| FIGURA 2-3- PLANIMETRIA DELL'AREA DI INTERVENTO (PARTE 2) (IN ROSSO LE PRINCIPALI OPERE CONNESSE RICADENTI NEL LOTTO 1). ....  | 8  |
| FIGURA 2-4- PLANIMETRIA DELL'AREA DI INTERVENTO (PARTE 3) (IN ROSSO LE PRINCIPALI OPERE CONNESSE RICADENTI NEL LOTTO 1). ....  | 9  |
| FIGURA 2-5 - PLANIMETRIA DELL'AREA DI INTERVENTO (PARTE 4) (IN ROSSO LE PRINCIPALI OPERE CONNESSE RICADENTI NEL LOTTO 1).....  | 9  |
| FIGURA 4-1 - SCHEMA STRUTTURALE DELLA PIANURA EMILIANO – ROMAGNOLA - ESTRATTO (NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA, SCALA 1.250.000); IN ROSSO L'AREA DI INTERESSE. ....  | 14 |
| FIGURA 4-2 - INQUADRAMENTO GEOLOGICO - STRATIGRAFICO DELL'AREA DI STUDIO .....   | 15 |
| FIGURA 4-3 - SCHEMA DEL MODELLO STRATIGRAFICO ADOTTATO PER IL SETTORE ORIENTALE E COSTIERO DELLA PIANURA EMILIANO – ROMAGNOLA. ....  | 16 |
| FIGURA 5-1 - INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO DELLA PIANURA EMILIANO ROMAGNOLA - ESTRATTO. (DA NOTE ILLUSTRATIVE ALLA CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA, SCALA 1.250.000). IN ROSSO L'AREA DI INTERESSE. ....  | 19 |
| FIGURA 5-2 - STRALCIO DELLA CARTA DEL RETICOLO IDROGRAFICO A NORD DI BOLOGNA (DA PSC BOLOGNA MODIF.).....  | 20 |
| FIGURA 5-3 - STRALCIO DELLA CARTA DEL RETICOLO IDROGRAFICO A NORD-EST DI BOLOGNA (DA PSC, BOLOGNA MODIF.) .....  | 21 |
| FIGURA 5-4 - STRALCIO DELLA CARTA DEL RETICOLO IDROGRAFICO A EST DI BOLOGNA (DA PSC, BOLOGNA MODIF.).....  | 21 |
| FIGURA 5-5 - LEGENDA DELLA CARTA DEL RETICOLO IDROGRAFICO A EST DI BOLOGNA (DA PSC, BOLOGNA) .....   | 22 |
| FIGURA 5-6 - CARTA DELLE ATTIVITÀ ESTRATTIVE (DA PIAE 2002 MODIF.) .....   | 23 |
| FIGURA 5-7 - CARTA DELLE ATTIVITÀ ESTRATTIVE (DA PIAE 2013 MODIF.) .....   | 24 |
| FIGURA 5-8 - CARTA DELLE ATTIVITÀ ESTRATTIVE STORICHE A NORD-NORD/OVEST DI BOLOGNA (DA PAE 2007 MODIF.).....   | 24 |
| FIGURA 5-9 - CARTA DELLE ATTIVITÀ ESTRATTIVE STORICHE A EST-SUD/EST DI BOLOGNA (DA PAE 2007 MODIF.).....   | 25 |
| FIGURA 5-10 - PIANO DELLE ATTIVITÀ ESTRATTIVE PAE 2020 (STATO DI FATTO DELLA PARTE NORD-NORD/OVEST DI BOLOGNA.) .....  | 25 |
| FIGURA 5-11 - CARTA TOPOGRAFICA NELLA ZONA DI BORGO PANIGALE (DA BASE TOPOGRAFICA IGM MODIF.) (IN ROSSO L'AREA DI ATTRAVERSAMENTO DELL'OPERA SUL FIUME RENO).....  | 26 |
| FIGURA 5-12 - STRALCIO DELLA PLANIMETRIA GEOMORFOLOGICA NELLA ZONA DI BORGO PANIGALE (DA BASE TOPOGRAFICA CTR MODIF.) E RELATIVA LEGENDA .....   | 27 |
| FIGURA 5-13 - ARGINE ARTIFICIALE DEL F. RENO IN LOC. BONORA; IN SECONDO PIANO L'IMPALCATO DELLA TANGENZIALE.....   | 28 |
| FIGURA 5-14 - MORFOLOGIA DEPRESSA DI ORIGINE ANTROPICA DERIVANTE DALLE ATTIVITÀ ESTRATTIVE, IN LOC. LIPPO A NORD-EST DELL'AEROPORTO DI BOLOGNA (FOTO 2016). ....   | 28 |
| FIGURA 5-15 - MORFOLOGIA DEPRESSA DI ORIGINE ANTROPICA DERIVANTE DALLE ATTIVITÀ ESTRATTIVE, ATTUALMENTE OCCUPATA DA RISTAGNI D'ACQUA E DA UN VIADOTTO FERROVIARIO IN COSTRUZIONE (PEOPLE MOVER, IN FOTO PALI VERTICALI BIANCHI NEL 2016), A SUD-OVEST DELL'AEROPORTO DI BOLOGNA. ....                                    | 28 |
| FIGURA 5-16 - MORFOLOGIA DEPRESSA (SCAVO ANTROPICO RESIDUALE) DERIVANTE DALLE ATTIVITÀ ESTRATTIVE (CAVE NORD S.P.A.) ATTUALMENTE RIPRISTINATA AMBIENTALMENTE E OCCUPATA DA UN LAGO ARTIFICIALE (LOC. BIRRA, FOTO 2016). ....   | 29 |
| FIGURA 5-17 – ALVEO DEL F. RENO (FOTO 2016) C.A. 200M A SUD DEL SISTEMA TANGENZIALE-AUTOSTRADALE: A SINISTRA LA PARETE INTERNA DELL'ARGINE ARTIFICIALE SINISTRO, SEGUITA DALLA SUPERFICIE PIANEGGIANTE DEL TERRAZZO FLUVIALE; IN SECONDO PIANO NELLA FOTO SI VEDE L'IMPALCATO DEL SISTEMA TANGENZIALE IN ESERCIZIO. .... | 29 |
| FIGURA 5-18 – ALVEO ATTUALE DEL F. RENO (PANORAMICA VERSO VALLE DEL 2016): A SINISTRA SCARPATE FLUVIALI DI ALTEZZA VARIABILE DA 3÷5 M; IN SECONDO PIANO L'IMPALCATO DEL SISTEMA TANGENZIALE IN ESERCIZIO. ....   | 30 |
| FIGURA 5-19 – ALVEO ATTUALE DEL F. RENO (FOTO PANORAMICA DEL 2016 VERSO MONTE): A DESTRA LE SCARPATE FLUVIALI DI ALTEZZA VARIABILE DA 3÷4 M; IN SECONDO PIANO ATTIVITÀ DI MOVIMENTO TERRA INERENTE ALLA COSTRUZIONE DEL NUOVO VIADOTTO FERROVIARIO – PEOPLE MOVER. ....  | 30 |
| FIGURA 5-20 – ALVEO ATTUALE DEL F. RENO (FOTO PANORAMICA DEL 2016 VERSO VALLE): A SINISTRA IN SECONDO PIANO LE SCARPATE FLUVIALI DI ALTEZZA VARIABILE DA 1÷2 M; IN PRIMO PIANO LA SUPERFICIE PIANEGGIANTE DEL TERRAZZO FLUVIALE IN CUI NON SI OSSERVANO DINAMICHE GEOMORFOLOGICHE RECENTI. ....                          | 30 |
| FIGURA 5-21 - ALVEO DEL F. RENO: DEPOSITI ALLUVIONALI RECENTI (FOTO 2016); SONO PRESENTI SCOGLIERE ARTIFICIALI .....   | 31 |
| FIGURA 5-22 - ALVEO ATTUALE DEL F. RENO: A SINISTRA DELLA FOTO (2016) SI INDIVIDUANO DEPOSITI ALLUVIONALI RECENTI CON UNO SPESSORE VARIABILE IN 1÷1.5 M. ....  | 31 |
| FIGURA 5-23 - ALVEO ATTUALE DEL F. RENO (FOTO 2016): SONO PRESENTI DEPOSITI ALLUVIONALI RECENTI CON SPESSORE VARIABILE 1÷1.5 M. ....   | 32 |
| FIGURA 5-24 - ALVEO ATTUALE DEL F. RENO (FOTO 2016): PARTICOLARE DEI FENOMENI EROSIVI MOLTO ATTIVI SULLE SCARPATE E PROSSIMI ALLE FONDAZIONI DELL'IMPALCATO DELLA TANGENZIALE. ....  | 32 |
| FIGURA 5-25 - ALVEO ATTUALE DEL F. RENO (FOTO 09/2020: PARTICOLARE DEI FENOMENI EROSIVI ATTIVI CHE ARRIVANO A LAMBIRE LE FONDAZIONI DELL'IMPALCATO DELLA TANGENZIALE. ....   | 33 |

|  |    |
|--|----|
| FIGURA 5-26 - ALVEO DEL F. RENO PANORAMICA VERSO MONTE (FOTO 2016): DEPOSITI ALLUVIONALI RECENTI CON UNO SPESSORE 1÷1.5 M; SI NOTANO PORZIONI RESIDUALI RELATIVI ALLE OPERE DI PROTEZIONE SUI PLINTI DEL SISTEMA TANGENZIALE IN ESERCIZIO. ....              | 33 |
| FIGURA 5-27 - SCALZAMENTO DELLE PILE IN ALVEO DEL VIADOTTO RENO (FOTO 09/2020). ....   | 34 |
| FIGURA 5-28- SCALZAMENTO DELLE PILE IN ALVEO DEL VIADOTTO RENO (FOTO 09/2020). ....  | 34 |
| FIGURA 5-29 - ALVEO ATTUALE DEL F. RENO: EROSIONI SUPERFICIALI ATTIVE LEGATE AL RUSCELLAMENTO CONCENTRATO; L'ACQUA PROVIENE DALLE BANCHINE DEL SISTEMA TANGENZIALE IN ESERCIZIO; A DESTRA DELLA FOTO SI VEDE IL PROFILO DELL'ARGINE IDRAULICO SINISTRO. .... | 35 |
| FIGURA 5-30 - ALVEO ATTUALE DEL F. RENO: EROSIONI SUPERFICIALI ATTIVE LEGATE AL RUSCELLAMENTO CONCENTRATO; L'ACQUA PROVIENE DAL SISTEMA TANGENZIALE IN ESERCIZIO; IN SECONDO PIANO S'INTRAVEDE IL PROFILO DELL'ARGINE IDRAULICO DESTRO. ....                 | 35 |
| FIGURA 5-31 - CARTA TOPOGRAFICA NELLA ZONA DI ARCOVEGGIO I CIRCOLI ROSSI INDICANO LE AREE CHE HANNO SUBITO MODIFICHE ANTROPICHE (DA BASE TOPOGRAFICA IGM MODIF.).....  | 36 |
| FIGURA 5-32 - ALVEO ATTUALE DEL SAVENA ABBANDONATO, SI NOTI LA RISAGOMATURA ARTIFICIALE DELLE SPONDE. ....   | 37 |
| FIGURA 5-33 - ALVEO SAVENA ABBANDONATO, SI NOTI LO SCATOLARE IN MURATURA PER L'ATTRAVERSAMENTO. ....   | 37 |
| FIGURA 5-34 - ALVEO SAVENA ABBANDONATO, SI NOTI IL TUBO CORRUGATO CON UN DIAMETRO DI 1.5M PER L'ATTRAVERSAMENTO. ....  | 38 |
| FIGURA 5-35 – RILEVATO ARTIFICIALE NEI PRESSI DELLO SVINCOLO DI IMMISSIONE SU A13, ALTEZZA MEDIA DA 2÷4 M CIRCA CON PROBABILE FUNZIONE DI MITIGAZIONE ACUSTICA E SEDE DI CAVIDOTTO INDUSTRIALE. ....   | 38 |
| FIGURA 5-36 – ALVEO ARTIFICIALE CANALE NAVILE, PARTICOLARE DELLE OPERE IDRAULICHE E DEI RIVESTIMENTI DELLE SPONDE. ....  | 39 |
| FIGURA 5-37 – ALVEO ARTIFICIALE CANALE NAVILE, DEPOSITI ALLUVIONALI RECENTI CON UNO SPESSORE DI 0.30÷0.50M. ....   | 39 |
| FIGURA 5-38 – RILEVATO ARTIFICIALE, IN VIA DEL SALICETO CON ALTEZZA MEDIA DA 2÷3 M CIRCA CON FUNZIONE PORTANTE DEL MURO DI CONTENIMENTO DEL SISTEMA TANGENZIALE IN ESERCIZIO. ....   | 40 |
| FIGURA 5-39 - CARTA TOPOGRAFICA DELLA PIANURA BOLOGNESE COMPRESA TRA IL SAVENA ABBANDONATO CON PERCORSO A MEANDRI (IN ALTO A SINISTRA) E LA LOCALITÀ SAN VITALE (DA BASE TOPOGRAFICA IGM MODIF.).....  | 41 |
| FIGURA 5-40 - CARTA TOPOGRAFICA NELL'INTORNO DELLA CONFLUENZA TRA IL T. SAVENA NATURALE E IL T. IDICE (DA BASE TOPOGRAFICA IGM MODIF.).....  | 41 |
| FIGURA 5-41 - ALVEO DEL T. SAVENA: SCARPATA FLUVIALE A GEOMETRIA SUBVERTICALE DI ALTEZZA 3 M CIRCA. SI NOTI IL CONTATTO STRATIGRAFICO TRA DEPOSITI GROSSOLANI E TERRENI FINI GRIGIO SCURO (LOCALITÀ FONDO MORI). ....  | 42 |
| FIGURA 5-42 - ALVEO DEL T. SAVENA: DEPOSITI ALLUVIONALI RECENTI, SPESSORE MEDIO DI 1 M; SI INDIVIDUA IL PROFILO DI DUE BRIGLIE FLUVIALI DOTATE DI SCARSA MANUTENZIONE (LOCALITÀ CASELLE). ....   | 43 |
| FIGURA 5-43 - ALVEO DEL T. SAVENA: FENOMENI DI RUSCELLAMENTO CONCENTRATO CHE SI ORIGINANO SULLE SUPERFICI RESIDUALI DEI TERRAZZI FLUVIALI; NELL'ALVEO ATTIVO I DEPOSITI ALLUVIONALI RECENTI HANNO UNO SPESSORE DI CIRCA 1 M (LOCALITÀ FONDO MORI). ....      | 43 |
| FIGURA 5-44 – RILEVATO ARTIFICIALE IN LOCALITÀ CASE ALTE, CON ALTEZZA VARIABILE DA 3÷5 M CON FUNZIONE DI MITIGAZIONE ACUSTICA. ....  | 44 |
| FIGURA 5-45 – MORFOLOGIA COLLINARE ARTIFICIALE RELATIVA AD UNA DISCARICA RIPRISTINATA AMBIENTALMENTE, UBICATA NEI PRESSI DEL SISTEMA TANGENZIALE IN ESERCIZIO (LOCALITÀ FONDO MORO). ....  | 44 |
| FIGURA 5-46 – RILEVATO ARTIFICIALE CON ALTEZZA MEDIA DI 3÷4 M CIRCA RELATIVO AL MURO DI CONTENIMENTO CON FUNZIONE PORTANTE DEL SISTEMA TANGENZIALE IN ESERCIZIO (LOCALITÀ CROCE DEL BIANCO). ....  | 45 |
| FIGURA 5-47 – DISTRETTI IDROGRAFICI 2018 - ESTRATTO. ....  | 45 |
| FIGURA 5-48 - PIANI STRALCI VIGENTI NEL BACINO DEL F. RENO (MODIF. DA RELAZIONE PGRA).....   | 47 |
| FIGURA 5-49 - PASSANTE DI BOLOGNA: ATTRAVERSAMENTO DEL F. RENO (MODIF. PLANIMETRIA DEI VINCOLI E DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA).....  | 50 |
| FIGURA 5-50 - PASSANTE DI BOLOGNA: ATTRAVERSAMENTO SISTEMA IDRAULICO NAVILE-SAVENA ABBANDONATO (PLANIMETRIA DEI VINCOLI DEI VINCOLI E DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA).....   | 51 |
| FIGURA 5-51 - PASSANTE DI BOLOGNA: ZONA PIÙ A EST DELL'ATTRAVERSAMENTO SISTEMA IDRAULICO NAVILE-SAVENA ABBANDONATO (MODIF. PLANIMETRIA DEI VINCOLI DEI VINCOLI E DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA).....  | 51 |
| FIGURA 5-52 - PASSANTE DI BOLOGNA: ATTRAVERSAMENTO DEL T. SAVENA (MODIF. PLANIMETRIA DEI VINCOLI E DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA).....  | 52 |
| FIGURA 5-53 - PASSANTE DI BOLOGNA: LEGENDA PLANIMETRIA DEI VINCOLI (A SINISTRA), LEGENDA PLANIMETRIA DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA (A DESTRA). ....   | 52 |
| FIGURA 5-54- ISOCINETICHE RELATIVE AL PERIODO 2006-2011. ....  | 54 |
| FIGURA 5-55 - ISOCINETICHE RELATIVE AL PERIODO 2006-2011.....  | 55 |
| FIGURA 5-56 - ISOCINETICHE RELATIVE AL PERIODO 2011-2016.....  | 56 |
| FIGURA 5-57 - ISOCINETICHE RELATIVE AL PERIODO 2011-2016.....  | 57 |
| FIGURA 5-58 - DISTRIBUZIONE DEI SINKHOLE (PUNTI ROSA) A SUD/SUD-OVEST DELL'AREA DI INTERESSE (IN COLORE BLU) - APAT - <a href="http://sgi.isprambiente.it/sinkholeweb/viewer/index.html">HTTP://SGI.ISPRAMBIENTE.IT/SINKHOLEWEB/VIEWER/INDEX.HTML</a> .....  | 58 |
| FIGURA 5-59 - UBICAZIONE SINKHOLE AREA NORD DI BOLOGNA; IN VERDE I PUNTI IN CUI SI SONO REGISTRATI FENOMENI DI SPROFONDAMENTO ED IN BLU L'AREA DI INTERVENTO. ....   | 59 |

|  |    |
|--|----|
| FIGURA 6-1 - SCHEMA DELLA STRUTTURA DEI COMPLESSI ACQUIFERI DELLA PIANURA EMILIANO-ROMAGNOLA. ....   | 61 |
| FIGURA 6-2 - CORRISPONDENZA TRA GRUPPO ACQUIFERO E UNITA STRATIGRAFICHE. ....  | 62 |
| FIGURA 7-1 - INTENSITÀ MACROSISMICHE DAL 1000 AL 2005 NEL COMUNE DI BOLOGNA.....   | 67 |
| FIGURA 7-2 - INTENSITÀ MACROSISMICHE DAL 1000 AL 2005 NEL COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA.....   | 68 |
| FIGURA 7-3 - DISTRIBUZIONE DEI TERREMOTI LOCALIZZATI IN TEMPO REALE DALL'INGV CENTRO NAZIONALE DEI TERREMOTI IN UN RAGGIO DI<br>70-80 KM DAL COMUNE DI BOLOGNA (PERIODO: GENNAIO 2005-GENNAIO 2022). ACCESSO WEB GENNAIO 2022. ....  | 69 |
| FIGURA 7-4 - DATABASE ISIDE: DETTAGLIO DISTRIBUZIONE TERREMOTI PERIODO 1985-2022 (IN ROSSO L'AREA DI INTERESSE).....   | 70 |
| FIGURA 7-5 - DISTRIBUZIONE FAGLIE CAPACI "PROGETTO ITHACA" (IN ROSSO L'AREA DI INTERVENTO) .....   | 71 |
| FIGURA 7-6 - MAPPA DELLE AREE SISMOGENETICHE DI INTERESSE (FONTE: DATABASE OF INDIVIDUAL SEISMOGENIC SOURCES DISS 3.3.0)<br>(ACCESSO WEB GENNAIO 2022). LA CODIFICA UTILIZZATA NEL DATABASE PER IDENTIFICARE LE STRUTTURE INCLUDE 4 CARATTERI E 3<br>NUMERI, I PRIMI DUE CARATTERI SI RIFERISCONO AL PAESE CONSIDERATO (IT PER ITALIA); GLI ALTRI DUE CARATTERI IDENTIFICANO IL TIPO<br>DI DATI (IS - INDIVIDUAL SEISMOGENIC SOURCE, CS-COMPOSITE SEISMOGENIC SOURCE, DS-DEBATED SEISMOGENIC SOURCE). .... | 72 |
| FIGURA 7-7 - CLASSIFICAZIONE SISMICA AL 2015 (FONTE: PROTEZIONE CIVILE), ACCESSO GENNAIO 2022 .....  | 74 |
| FIGURA 7-8 - "AGGIORNAMENTO DELLA CLASSIFICAZIONE SISMICA DI PRIMA APPLICAZIONE DEI COMUNI DELL'EMILIA-ROMAGNA" – DGR N°<br>1164 DEL 23/07/2018.....   | 74 |
| FIGURA 7-9 - ANALISI DI DISAGGREGAZIONE DI A(G) CON PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO DEL 10% IN 50 ANNI – Tr 1000 ANNI, SECONDO LA<br>MAPPA INTERATTIVA DI PERICOLOSITÀ SISMICA PER L'AREA DI INTERESSE (HTTP://ESSE1-GIS.MI.INGV.IT) .....  | 76 |
| FIGURA 7-10 - RAPPRESENTAZIONE DELLE VELOCITÀ VP E VS CON LA PROFONDITÀ CALCOLATE DALLA PROVA DOWN HOLE IN S1(DH) PEOPLE<br>MOVER (INTERPRETAZIONE PROGEO S.R.L., 2010).....   | 78 |
| FIGURA 7-11 - RAPPRESENTAZIONE DELLE VELOCITÀ VP E VS CON LA PROFONDITÀ CALCOLATE DALLE PROVE DOWN HOLE IN PB3(DH) E<br>PB6(DH) (INTERPRETAZIONE TECHNOSOIL S.R.L., 2016).....   | 79 |
| FIGURA 7-12 - RAPPRESENTAZIONE DELLE VELOCITÀ VP E VS CON LA PROFONDITÀ CALCOLATE DALLA PROVA DOWN HOLE IN PB10(DH)<br>PB12(DH) (INTERPRETAZIONE TECHNOSOIL S.R.L., 2016).....   | 79 |
| FIGURA 7-13 - RAPPRESENTAZIONE DELLE VELOCITÀ VS CON LA PROFONDITÀ CALCOLATE DALLE PROVE DOWN HOLE IN PB17(DH),<br>PB21(DH), PB24(DH), PB26(DH) (INTERPRETAZIONE SERVIZI GEOTECNICI S.R.L., 2016).....   | 80 |
| FIGURA 7-14 - RAPPRESENTAZIONE DELLE VELOCITÀ VS (T MEDI E T INTERVALLARI) CON LA PROFONDITÀ CALCOLATE DALLA PROVA DH IN<br>PE3DH (INTERPRETAZIONE CAM S.R.L., 2021) E VELOCITÀ VP E VS IN PE9(DH) (INTERPRETAZIONE TECHNOSOIL S.R.L., 2021).....  | 80 |
| FIGURA 7-15 - RAPPRESENTAZIONE DEI TEMPI E DELLE VELOCITÀ VP E VS CON LA PROFONDITÀ CALCOLATE DALLA PROVA CROSS HOLE IN<br>OC3S2-OC3S2BIS (INTERPRETAZIONE SERVIZI GEOTECNICI S.R.L., 2010). ....  | 81 |
| FIGURA 7-16 - STRALCIO RISCHIO SISMICO DA PSC COMUNE DI BOLOGNA (SOVRAPPOSIZIONE CON PROGETTO PASSANTE DI BOLOGNA): AREE<br>SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI (ACCESSO WEB GENNAIO 2022). ....  | 84 |
| FIGURA 7-17- STRALCIO RISCHIO SISMICO DA PSC COMUNE DI SAN LAZZARO DI SAVENA: AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI LOCALI (ACCESSO WEB<br>GENNAIO 2022). ....  | 84 |

## PREMESSA

La presente relazione riguarda la porzione di territorio che ricade nella piana alluvionale appenninica tra Bologna Borgo Panigale e Bologna San Lazzaro, nell'ambito del progetto esecutivo per il potenziamento in sede del sistema autostradale e tangenziale di Bologna: in particolare nel presente lavoro ci si riferisce all'ampliamento del "Passante di Bologna" da pk 8+010.79 a pk 22+175.047 (asse Tangenziale Nord) ed alle opere ad esso connesse ricadenti nel Lotto 1.

Lo scopo dello studio consiste nell'illustrare gli elementi geologici e geomorfologici utili a definire i principali aspetti riconducibili alla natura ed alle caratteristiche dei depositi interessati dall'opera in esame.

Nei riguardi dell'inquadramento geologico e geomorfologico il lavoro definisce l'assetto strutturale e litostratigrafico, la morfologia evolutiva del territorio e la verifica degli elementi di rischio esistenti, anche in relazione agli strumenti di pianificazione emessi dagli Enti competenti.

Gli elementi utilizzati per la redazione della planimetria geologico - geomorfologica in scala 1:5000 e del profilo geologico longitudinale in scala 1:5000/500 sono stati ricavati essenzialmente dall'analisi critica dei dati bibliografici e dall'esame di tutte le stratigrafie disponibili (pozzi, indagini pregresse e sondaggi appositamente realizzati).

La presente relazione contiene anche un capitolo di sismica generale, che inquadra il territorio dal punto di vista dei movimenti tellurici, ed un capitolo di inquadramento idrogeologico, che espone un quadro conoscitivo utilizzabile come punto di partenza per analoghi studi di tipo quantitativo.

Si rimanda agli elaborati geotecnici e strutturali per la definizione dei parametri caratteristici di calcolo e verifica delle fondazioni, comprese le eventuali verifiche di liquefazione dei terreni, se dovute, una volta verificate le possibili condizioni predisponenti e scatenanti individuate dalla normativa. Agli stessi elaborati geotecnici si rimanda anche per la definizione dei parametri sismici di progetto.

Per tutto ciò che riguarda gli aspetti idrogeologici si rimanda all'elaborato di progetto specialistico e relativa documentazione cartografica di riferimento.

## 1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Lo studio è stato realizzato nel rispetto e in ottemperanza alla normativa vigente, ed elencata di seguito.

- Legge 464/84. Norme per agevolare l'acquisizione da parte del Servizio geologico (Dipartimento Difesa del Suolo dell'APAT) della Direzione generale delle miniere del Ministero dell'industria, del commercio e dell'artigianato di elementi di conoscenza relativi alla struttura geologica e geofisica del sottosuolo nazionale.
- Ministero delle Infrastrutture e degli Interni (2008). NTC 2008: Norme Tecniche delle Costruzioni
- Ministero delle Infrastrutture e degli Interni (2018). NTC 2018: Norme Tecniche delle Costruzioni
- Ministero delle Infrastrutture e degli Interni (2019). Circolare n.7 C.S.LL.PP.: Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17/01/2018.
- Presidenza del Consiglio dei Ministri (2003). Ordinanza OPCM 3274/2003: Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.
- Presidenza del Consiglio dei Ministri (2006). Ordinanza OPCM 3519/2006: Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone.
- Presidenza della Repubblica (2001). DPR 380/2001: Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia.
- Regione Emilia Romagna (2018). DGR 1164/2018. Aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei comuni dell'Emilia-Romagna.
- Regione Emilia Romagna (2019). DGR 630/2019: Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, l.r. n. 24/2017).
- Regione Emilia Romagna (2021). DGR 476/2021: Aggiornamento dell'"Atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, L.R. n. 24/2017)" di cui alla deliberazione della Giunta regionale 29 aprile 2019, n. 630

## 2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area oggetto di intervento (lotto 1) interessa una porzione della pianura bolognese, che borda le propaggini collinari dell'Appennino Settentrionale; essa risulta quindi trasversale alle fasce di pertinenza fluviali, delimitate a ovest dal Fiume Reno e a est dal Torrente Savena che hanno direzione grossomodo nord-nordest. La città di Bologna è ubicata sul raccordo morfologico tra le due unità fisiografiche citate. Nelle Figg. 2-2, 2-3, 2-4, 2-5 sono indicate le ubicazioni delle aree di intervento (asse principale ed opere connesse).

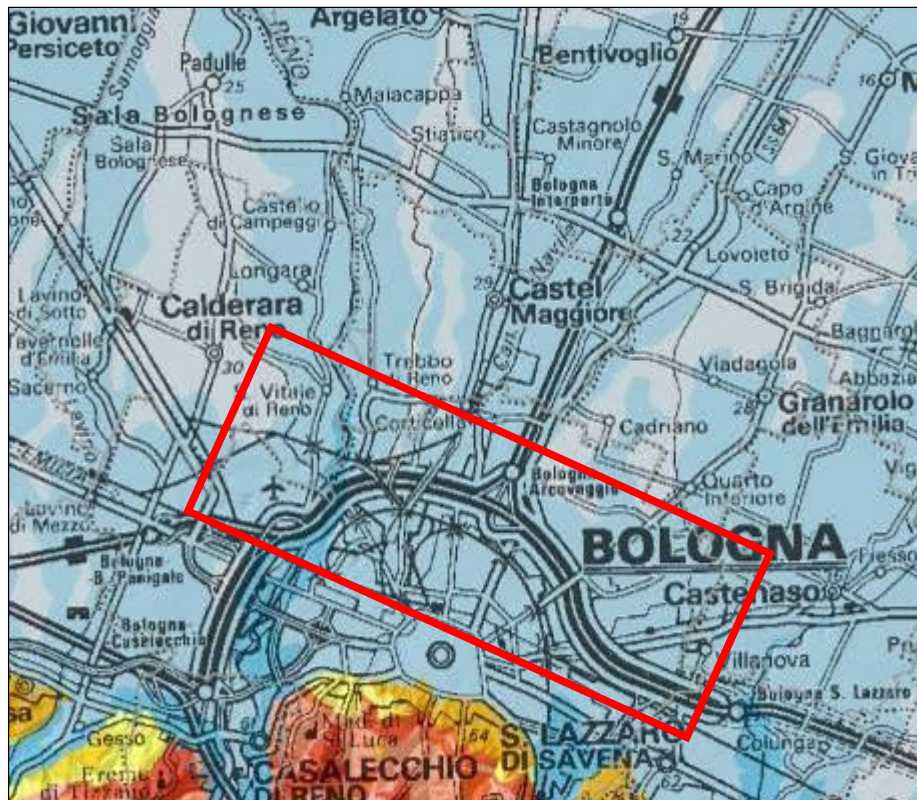


Figura 2-1 - Inquadramento geografico dell'area di intervento (da RER, modif.)



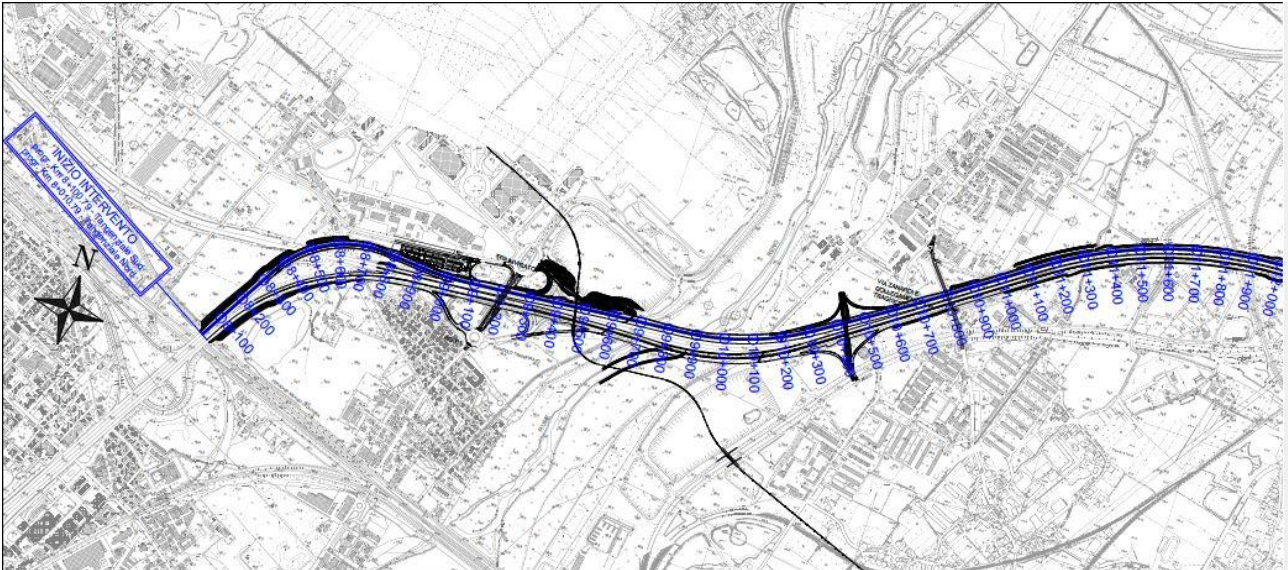


Figura 2-2- Planimetria dell'area di intervento (parte 1).

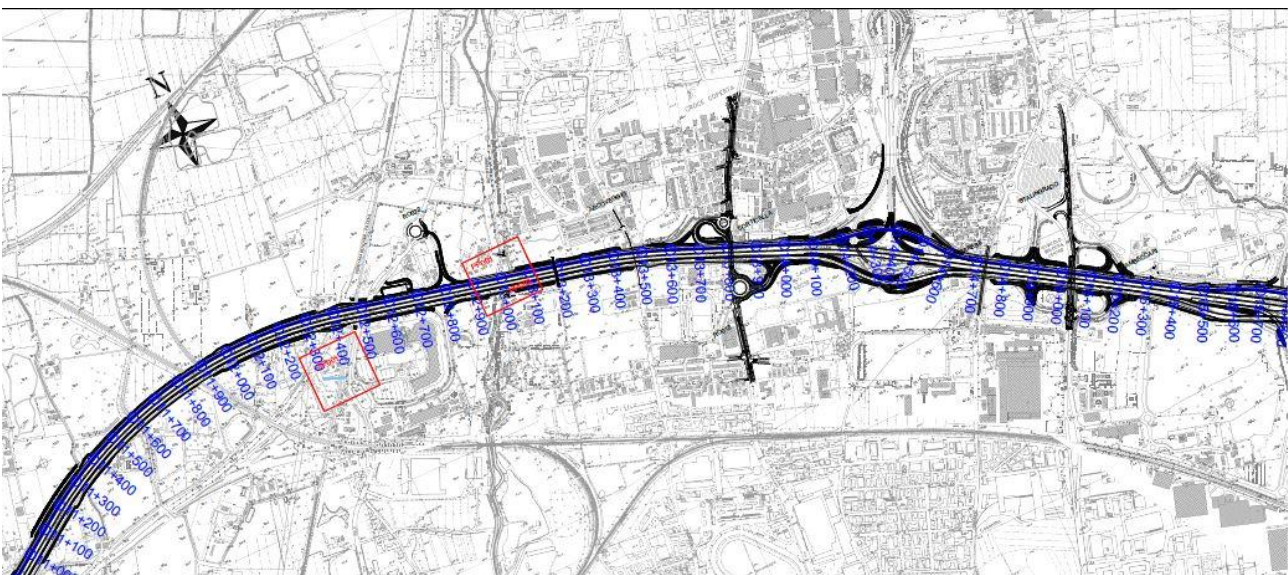


Figura 2-3- Planimetria dell'area di intervento (parte 2) (in rosso le principali opere connesse ricadenti nel Lotto 1).

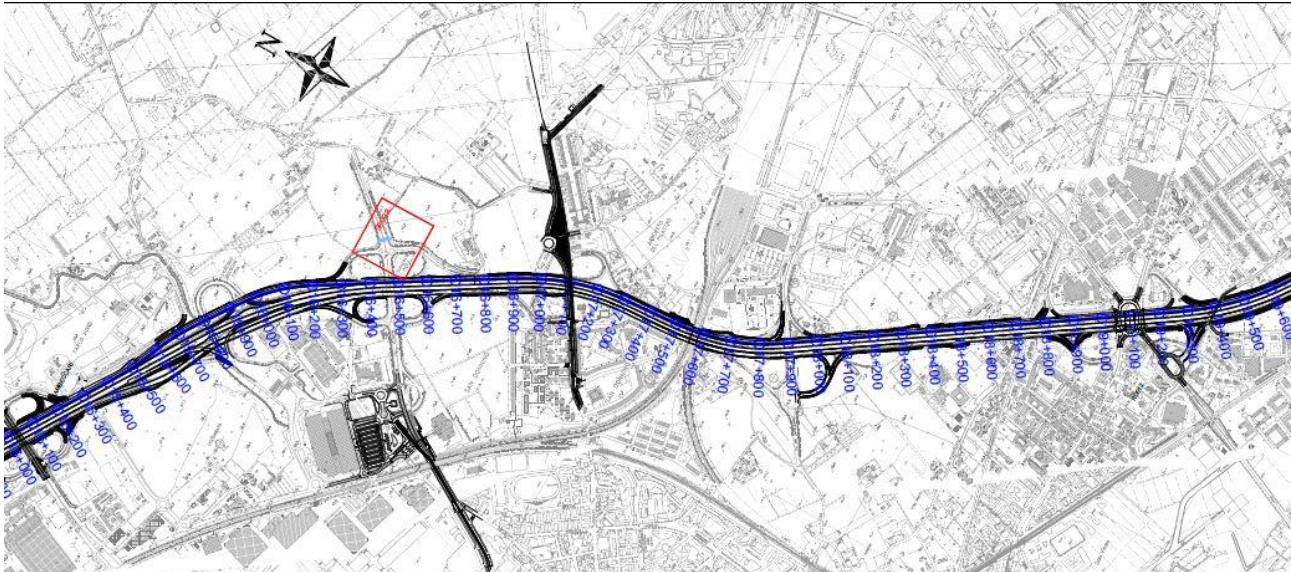


Figura 2-4– Planimetria dell'area di intervento (parte 3) (in rosso le principali opere connesse ricadenti nel Lotto 1).

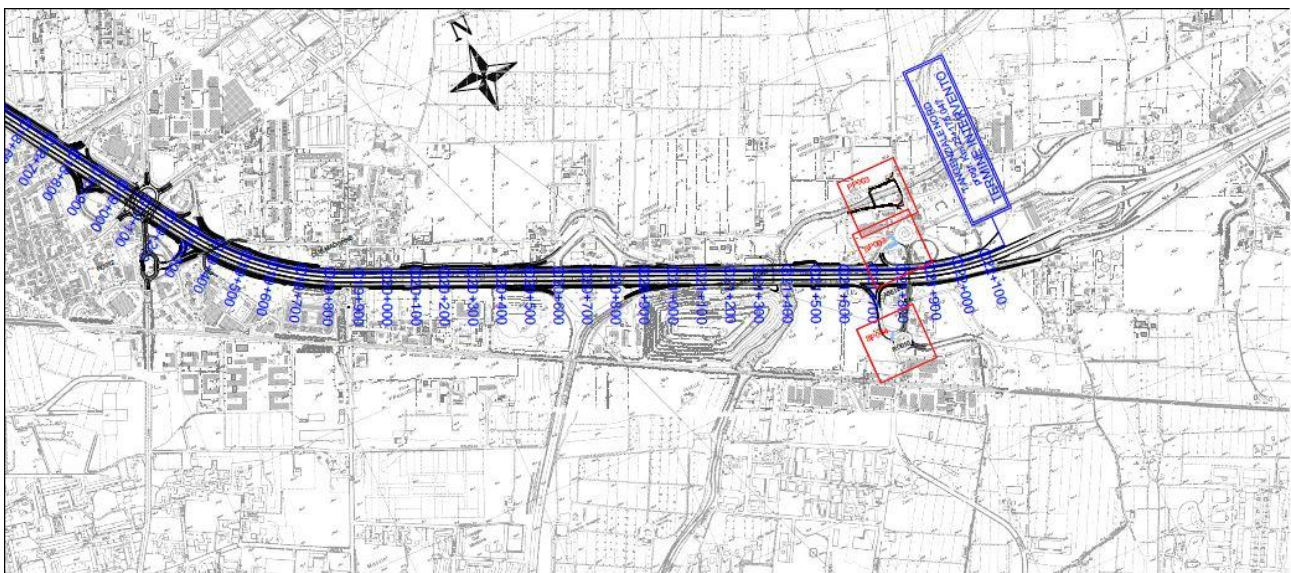


Figura 2-5 – Planimetria dell'area di intervento (parte 4) (in rosso le principali opere connesse ricadenti nel Lotto 1).

Il territorio risulta già fortemente antropizzato, in particolare sono presenti:

- infrastrutture lineari per il trasporto mezzi (ferrovie, autostrada, strade provinciali, comunali e di accesso alle proprietà);
- una fitta rete idrografica di origine e ordine gerarchico differente (fiumi, torrenti, canali artificiali);
- aree antropizzate costituite da insediamenti abitativi (residenziali), ricreativi (parchi), produttivi (cave, discariche, laghi artificiali).

### 3 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per la progettazione delle opere oggetto di studio è stata sviluppata una campagna di indagini geognostiche dedicata, cui si affiancano le indagini geognostiche pregresse, realizzate in periodi differenti nei pressi del tracciato ed in relazione a differenti finalità, nonché le indagini bibliografiche reperite presso gli enti pubblici.

L'ubicazione delle indagini è riportata negli elaborati cartografici allegati al progetto, con simbologia differente in relazione al tipo di indagine.

I certificati di indagine sono raccolti in fascicoli a parte allegati al progetto.

#### 3.1 INDAGINI BIBLIOGRAFICHE E PREGRESSE

##### Indagini del Servizio Geologico regionale

La consultazione delle stratigrafie fornite dal Servizio Geologico Regionale ha riguardato le verticali d'indagine relative al progetto CARG ed alla realizzazione di pozzi per acqua ad uso pubblico / privato: tale documentazione consiste per lo più di stratigrafie di difficile interpretazione, in quanto molto vecchie e talora derivanti da perforazioni realizzate a distruzione di nucleo (ricostruzione granulometrica derivata dall'analisi del cutting e dei fanghi). Le descrizioni sono frequentemente risultate sommarie (soprattutto per quanto attiene agli strati più superficiali e significativi ai fini della progettazione) e povere di quegli elementi indispensabili per una inequivocabile attribuzione alle unità geologiche (fuso granulometrico, colore ed alterazione dei granuli).

Inoltre, non sono corredate da prove geotecniche (SPT, prove di permeabilità, etc.). Tali stratigrafie si sono comunque rivelate utili nel momento in cui sono state definite le correlazioni tra le indagini geognostiche appositamente realizzate per il progetto.

Il Servizio Geologico Regionale ha fornito le risultanze di alcuni sondaggi geognostici e prove penetrometriche di più recente esecuzione e tutelate da vincolo di riservatezza; pertanto, questi dati sono stati consultati ma non rappresentati in chiaro.

Infine, particolare riguardo va rivolto anche i dati stratigrafici (e relativi dati idrogeologici) messi a disposizione dal "Gruppo Hera" e riguardanti il "campo pozzi di Borgo Panigale" ed il "campo pozzi di Tiro a segno".

##### Indagini relative ad altri contesti progettuali infrastrutturali (dal 1984 al 2018)

Sono state consultate e utilizzate alcune indagini realizzate per le seguenti progettazioni di opere infrastrutturali autostradali, laddove ricadenti in un intorno prossimo e pertinente allo studio di cui in argomento:

- Progetto per la Tangenziale di Bologna (1984, 1986, 1999, 2000);
- Progetto per il prolungamento della Complanare di Bologna (1996);
- Progetto per la 3<sup>a</sup> corsia della A14 tra Bologna S. Lazzaro ed Osteria Grande (1984);
- Progetto definitivo delle Opere Compensative per la 4<sup>a</sup> corsia della A14 tra Bologna S. Lazzaro e diramazione per Ravenna (2010); si specifica che è stata eseguita una prospezione sismica in foro di tipo Cross Hole nei sondaggi OC3S2-OC3S2bis;
- Progetto per la 3<sup>a</sup> corsia della A13 tra Ferrara e Bologna (2009, 2011, 2018);
- Progetto definitivo ed esecutivo per la realizzazione del People Mover di Bologna (indagini di Fase 1 del 2009-2010 e di Fase 2 del 2010);
- Progetto preliminare del Passante Nord di Bologna (2014-2015);
- Progetto per il Ponte Reno "collegamento Chiù-Triumvirato" (2017, 2018).

#### 3.2 INDAGINI GEOGNOSTICHE DI PROGETTO - PASSANTE

Le indagini di progetto sono state eseguite in più fasi temporali:

##### ∅ Indagini geognostiche Passante 2016-2017

Tali indagini sono costituite da:

- n. 26 sondaggi geognostici verticali (sigla PBxx) di cui n. 23 eseguiti a carotaggio continuo e n. 3 eseguiti a distruzione di nucleo, spinti a profondità massima di 50m, con esecuzione di prove in foro tipo SPT, prove d'acqua Lefranc e prelievo di campioni indisturbati, rimaneggiati ed ambientali; i sondaggi sono stati completati mediante installazione di tubi piezometrici e/o celle casagrande e di tubi in PVC per Down Hole;
- n. 13 pozzetti esplorativi superficiali (PZ-PBxx) spinti a profondità massima di 4m da p.c., con esecuzione di prove di carico su piastra, prove di densità e prelievo di campioni rimaneggiati ed ambientali;
- n. 8 pozzetti ambientali (PZ-AMB-Mx) realizzati in area "Michelino" mediante escavatore e spinti a profondità massima di 3m da p.c., con prelievo di campioni ambientali;
- n. 10 pozzetti ambientali (PZ-AMBxx) realizzati mediante trivella elettromeccanica e spinti a profondità massima di 1,5m da p.c., con prelievo di campioni ambientali;
- n. 8 prospezioni sismiche in foro di tipo Down Hole eseguite nei sondaggi PB3(DH), PB6(DH), PB10(DH), PB12(DH), PB17(DH), PB21(DH), PB24(DH), PB26(DH);
- Prove geotecniche di laboratorio eseguite sui campioni prelevati dai sondaggi geognostici e dai pozzetti esplorativi; si è trattato di prove di caratterizzazione fisica (granulometrie e limiti), prove meccaniche (triassiali, edometri e tagli) e prove meccaniche dinamiche (colonna risonante, taglio torsionale ciclico e prova triassiale ciclica a sforzo controllato - prova a liquefazione);
- Prove di stabilizzazione a calce eseguite su campioni di grosso volume prelevati in 3 pozzetti superficiali;
- Prove chimiche eseguite su campioni di acqua prelevati dai piezometri per la determinazione del tenore in solfati e cloruri;
- Prove chimiche ambientali (analisi chimiche di laboratorio) eseguite su campioni di terreno prelevati nei sondaggi, nei pozzetti superficiali geotecnici e negli specifici pozzetti ambientali.

Per le risultanze delle indagini ambientali si rimanda agli specifici elaborati AMB-MAM.

∅ Indagini ambientali integrative Passante 2017

Ai fini della di una ulteriore verifica di tipo ambientale, sono stati realizzati n. 27 pozzetti ambientali (sigla IA-xx) mediante trivella elettromeccanica, spinti a profondità massima di 1m da p.c., con prelievo di campioni ambientali e successiva analisi chimica di laboratorio.

Per le risultanze delle indagini ambientali si rimanda agli specifici elaborati AMB-MAM.

∅ Indagini geognostiche collegamento svincolo Lazzaretto – Asse attrezzato (2017)

Tali indagini sono costituite da:

- n. 3 sondaggi geognostici verticali (sigla L0, L3, L4) spinti a profondità massima di 35m, con esecuzione di prove in foro tipo SPT, prove d'acqua Lefranc e prelievo di campioni indisturbati, rimaneggiati ed ambientali; i sondaggi sono stati completati mediante installazione di tubi piezometrici e/o celle casagrande;
- n. 5 pozzetti esplorativi superficiali (PZ-Lxx) spinti a profondità massima di 3,80m da p.c., con esecuzione di prove di carico su piastra, prove di densità e prelievo di campioni rimaneggiati ed ambientali;
- Prove geotecniche di laboratorio eseguite sui campioni prelevati dai sondaggi geognostici e dai pozzetti esplorativi; si è trattato di prove di caratterizzazione fisica (granulometrie e limiti) e prove meccaniche (triassiali, edometri e tagli);
- Prove chimiche ambientali (analisi chimiche di laboratorio) eseguite su campioni di terreno prelevati nei sondaggi e nei pozzetti superficiali.

Per le risultanze delle indagini ambientali si rimanda agli specifici elaborati AMB-MAM.

∅ Indagini geognostiche Passante (2017-2018)

Tali indagini sono costituite da:

- n. 10 sondaggi geognostici verticali (sigla PBxx) eseguiti a carotaggio continuo, spinti a profondità massima di 50 m, con esecuzione di prove in foro tipo SPT, prove d'acqua Lefranc e prelievo di campioni indisturbati, rimaneggiati ed ambientali; i sondaggi sono stati completati mediante installazione di tubi piezometrici e/o celle casagrande;
- n. 9 pozzetti esplorativi superficiali (PZ-lxx) spinti a profondità massima di 4 m, con esecuzione di prove di carico su piastra, prove di densità e prelievo di campioni;
- n. 5 prove penetrometriche statiche (CPTUx) spinte a profondità massima di 38,5 m, di cui 2 prove con esecuzione di pre-foro (PVC cementato);
- Prove geotecniche di laboratorio eseguite sui campioni prelevati dai sondaggi geognostici e dai pozzetti esplorativi; si è trattato di prove di caratterizzazione fisica (granulometrie e limiti), prove meccaniche (triassiali, edometri e tagli);
- Prove chimiche ambientali (analisi chimiche di laboratorio) eseguite su campioni di terreno prelevati nei sondaggi.

Per le risultanze delle indagini ambientali si rimanda agli specifici elaborati identificabili mediante l'acronimo AMB-MAM.

Ø Indagini geognostiche Passante PE (2020-2021)

Al fine di affinare ulteriormente il modello geologico-geotecnico dell'area di ampliamento del Passante e delle aree in cui si prevede la realizzazione delle cosiddette "opere connesse" al Lotto 1 è stata realizzata una apposita campagna di indagini geognostiche (indagini in sito e prove di laboratorio) che viene di seguito sintetizzata:

- n. 12 sondaggi geognostici verticali (sigla PExx) eseguiti a carotaggio continuo (n° 1 sondaggio eseguito a distruzione di nucleo con sigla PE3bis), spinti a profondità massima di 40 m, con esecuzione di prove in foro tipo SPT, prove d'acqua Lefranc e prelievo di campioni indisturbati, rimaneggiati ed ambientali; i sondaggi sono stati completati mediante installazione di tubi piezometrici e/o celle Casagrande, oppure tubi per sismica in foro tipo Down Hole;
- n. 6 pozzetti esplorativi superficiali (PZ-PEx) spinti a profondità massima di 3,45 m, con esecuzione di prove di carico su piastra, prove di densità e prelievo di campioni geotecnici ed ambientali;
- Prove geotecniche di laboratorio eseguite sui campioni prelevati dai sondaggi geognostici e dai pozzetti esplorativi; si è trattato di prove di caratterizzazione fisica (granulometrie e limiti), prove meccaniche (triassiali, edometri e tagli);
- Prove chimiche ambientali (analisi chimiche di laboratorio) eseguite su campioni di terreno prelevati nei sondaggi e nei pozzetti superficiali.

In particolare, per quanto riguarda le risultanze delle indagini ambientali, si rimanda agli specifici elaborati identificabili mediante l'acronimo AMB-MAM.

## 4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Lo studio dell'area di interesse per la definizione delle sue caratteristiche geologico-geomorfologiche e delle eventuali criticità presenti è avvenuto attraverso le seguenti attività specifiche:

- rilevamento geologico in sito, volto al riconoscimento e alla descrizione dei litotipi presenti ed alla definizione del loro assetto strutturale;
- rilevamento geomorfologico in sito, volto al riconoscimento di forme, depositi e fenomeni geomorfologici presenti e confronto con i dati disponibili presso enti e istituzioni;
- analisi delle stratigrafie dei sondaggi realizzati per integrare i dati di superficie.

L'estrema antropizzazione dell'area indagata ha alterato o addirittura stravolto le morfologie originarie di questo tratto di pianura, rendendo molto difficoltosa l'individuazione delle forme ed in particolar modo delle discontinuità, che rappresentano uno degli elementi chiave del rilevamento geomorfologico in pianura.

Altri elementi che hanno modificato sostanzialmente la morfologia originaria del terreno sono le aree di ex cava che ad oggi sono reinserite nel paesaggio essendo per la maggior parte sistemate ambientalmente e occupate da colture.

### 4.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE

La zona oggetto di studio è situata all'interno dell'ampio bacino sedimentario padano, al bordo settentrionale del Sistema Appenninico.

L'area di pianura è costituita da una geosinclinale subsidente (bacino Perisuturale Padano), colmata da materiali alluvionali che hanno ricoperto le argille marine di ambiente costiero che fungono da substrato, fino a raggiungere spessori complessivi anche di 300-400 m. In particolare, i depositi di colmamento più recenti sono stati prodotti principalmente dall'attività deposizionale del sistema fluvio - deltizio padano con alimentazione assiale vergente verso est, e dai sistemi fluviali appenninici ad alimentazione trasversale da sud; difatti questi sedimenti pleistocenico - olocenici presentano caratteristiche deposizionali e geometriche notevolmente complesse, correlabili a deposizione e successiva erosione di depositi fluviali, attualmente terrazzati, la cui formazione è legata alla continua variazione dei livelli fluviali.

Il riempimento del bacino marino ed il passaggio alla sedimentazione continentale non avvengono in maniera continua e progressiva, ma sono il risultato di eventi tettonico - sedimentari "parossistici", separati nel tempo da periodi di forte subsidenza bacinale e movimenti ridotti delle strutture compressive. Questo fatto è testimoniato dalle numerose superfici di discontinuità stratigrafica riconosciute e cartografate sul Margine Appenninico Padano (si veda la figura seguente tratta dalle note illustrative alla carta sismotettonica della regione Emilia - Romagna, scala 1.250.000).

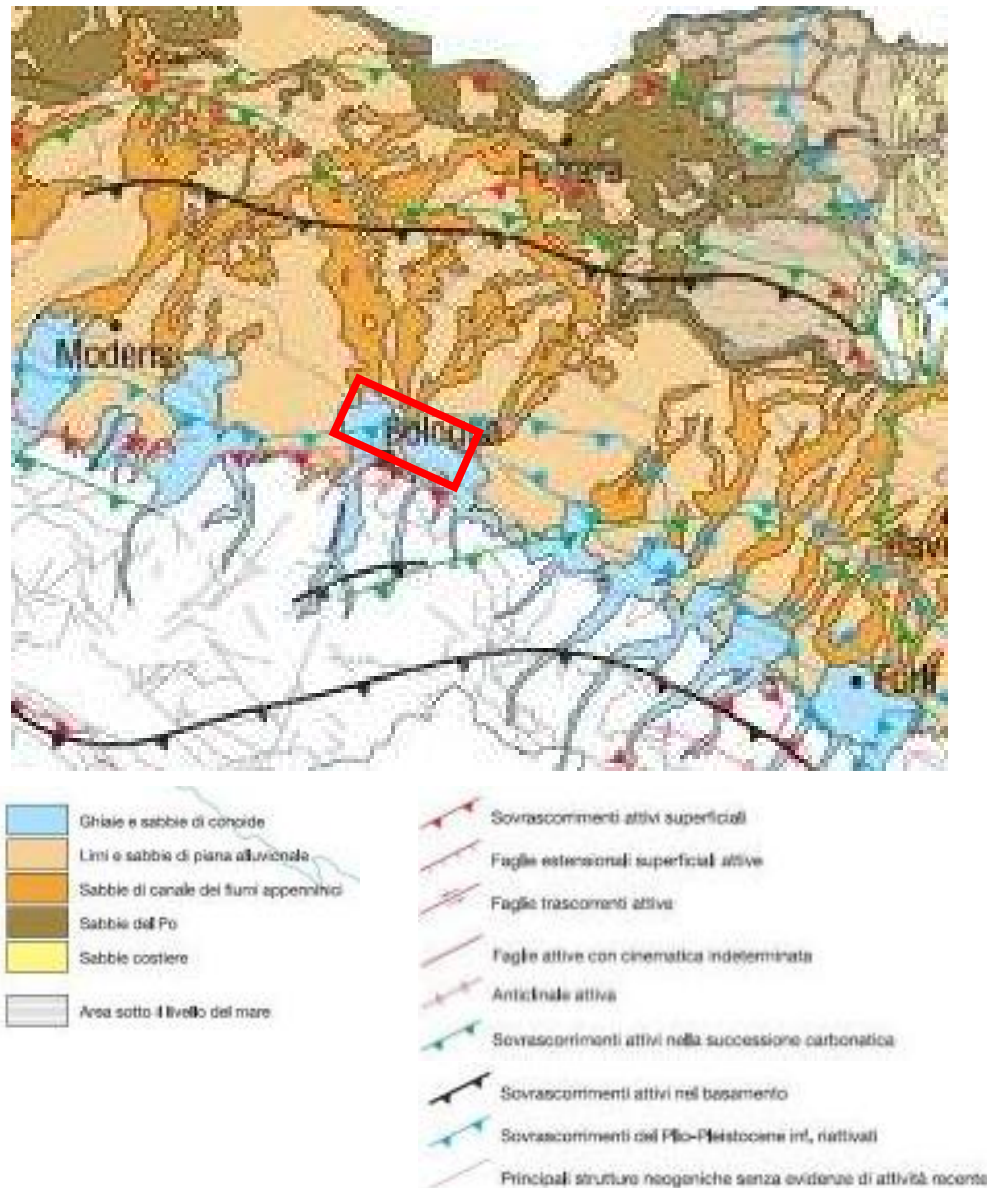


Figura 4-1 - Schema strutturale della pianura emiliano – romagnola - estratto (Note illustrative alla carta sismotettonica della regione Emilia-Romagna, scala 1.250.000); in rosso l'area di interesse.

Sulla base delle superfici di discontinuità affioranti sul margine appenninico e sulla base dell'estensione di tali discontinuità nel sottosuolo della pianura (dati sismici e di pozzo) è stato possibile definire il quadro stratigrafico riportato in Figura 4-2.

Dal punto di vista gerarchico si distinguono 3 Sequenze Principali (Supersintemi) denominate come segue:

1. Supersintema del Pliocene medio - superiore;
2. Supersintema del Quaternario Marino (che in realtà comincia nel Pliocene superiore);
3. Supersintema del Quaternario Continentale (emiliano - romagnolo).

Questa successione coincide con i gruppi Acquiferi denominati A, B e C nell'ambito delle riserve idriche sotterranee della regione Emilia Romagna.

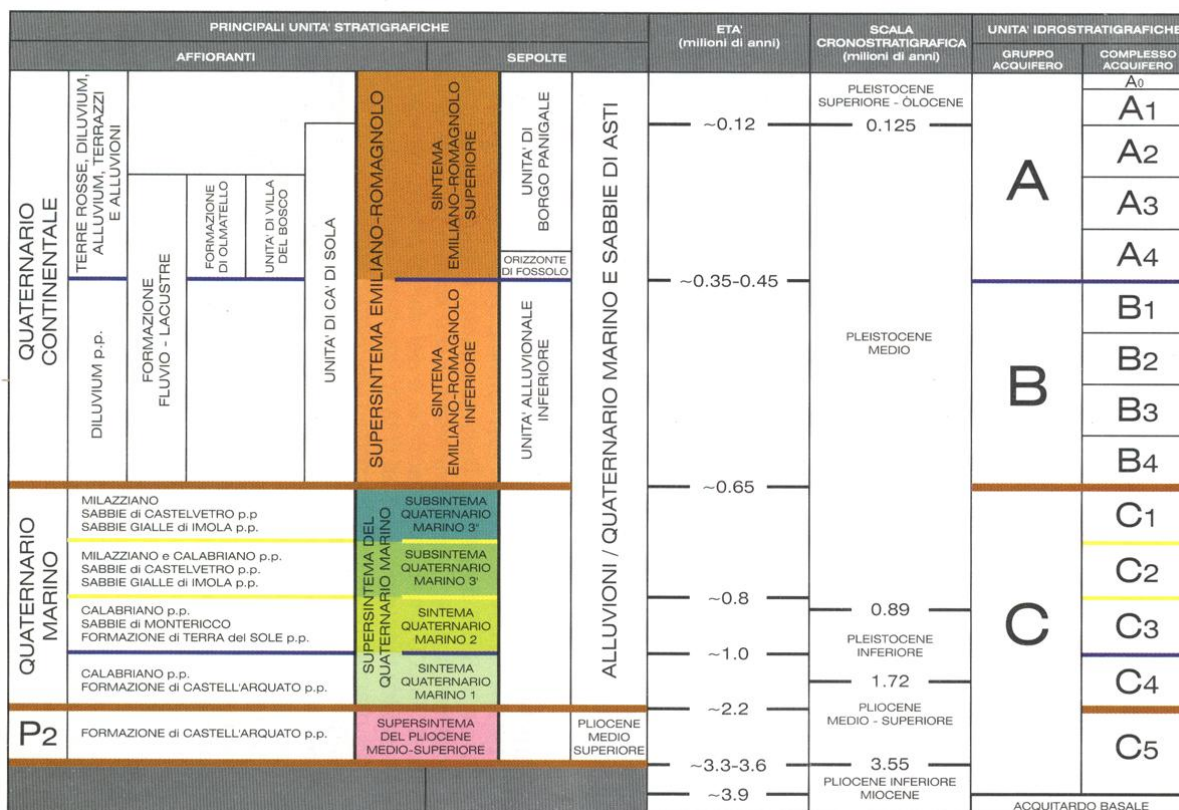


Figura 4-2 - Inquadramento geologico - stratigrafico dell'area di studio

## 4.2 ASSETTO STRATIGRAFICO LOCALE

L'assetto stratigrafico è stato definito sulla base della cartografia CARG (Foglio 220 "Casalecchio di Reno" e note illustrative, Foglio 221 "Bologna" e note illustrative).

Il Progetto CARG stabilisce che la classificazione stratigrafica dei depositi quaternari di pianura, a fini cartografici, debba basarsi sulla litologia relativa a ciascun ambiente deposizionale e sulla presenza di discontinuità o interruzioni della sedimentazione (limiti inconformi) che separano i corpi geologici di età diverse. Ciò consente di caratterizzare i sedimenti di pianura sia sulla base della loro composizione granulometrica (ghiaie, sabbie, alternanza di sabbie e limi, ecc.), sia in funzione dell'ambiente in cui si sono deposte (alluvionale di canale, deltizio di area interdistributrice, ecc). Si possono così distinguere fra loro litologie in prima approssimazione simili, ma con geometrie e relazioni laterali e verticali dei corpi geologici molto diverse, in base al contesto sedimentario in cui si sono originate.

I medesimi depositi sono anche oggetto della classificazione basata sui limiti stratigrafici inconformi (U.B.S.U., Salvador, 1987) che prevede la distinzione di unità stratigrafiche delimitate da superfici di discontinuità definite sintemi e sub-sintemi. Tali unità sono particolarmente efficaci per descrivere il territorio in base alla sua storia geologica, all'età dei suoi sedimenti e alla peculiare ciclicità degli eventi che l'hanno trasformato, tipici dell'epoca quaternaria. Lo schema più esaustivo per la rappresentazione di queste unità è quello di tipo cronostratigrafico che riporta in ascissa la distribuzione geografica delle unità ed in ordinata il tempo in cui tali unità si sono deposte. Nello schema cronostratigrafico di Figura5 si possono osservare le litologie e le età delle principali unità stratigrafiche utilizzate per i depositi quaternari di pianura dell'Emilia-Romagna (settore orientale e costiero).

Il Supersistema Emiliano Romagnolo è l'Unità stratigrafica che comprende l'insieme dei depositi quaternari di origine continentale affioranti al margine appenninico padano e sepolti nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola. All'interno del Supersistema sono stati distinti il Sintema emiliano-romagnolo Superiore (AES) ed il sottostante Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI).

L'intervento oggetto del presente studio ricade nel Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES), che è caratterizzato al suo interno dall'alternanza ciclica, su spessori dell'ordine di 20-40 m, di pacchi di materiale



fine (limi ed argille, con subordinate sabbie di piana inondabile) con depositi in cui la componente grossolana (ghiaie e sabbie di canale fluviale) è prevalente o comunque abbondante.

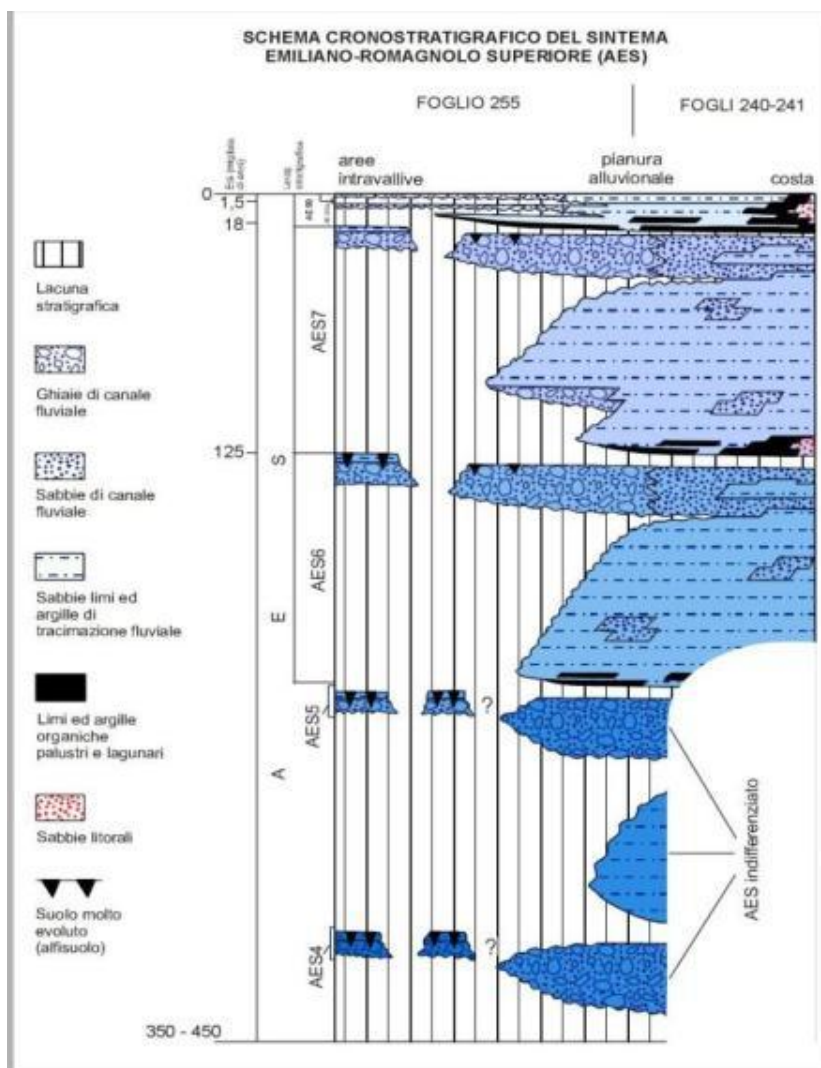


Figura 4-3 - Schema del modello stratigrafico adottato per il settore orientale e costiero della pianura emiliano – romagnola.

La Commissione Italiana di Stratigrafia della Società Geologica Italiana ha convenuto di suddividere ulteriormente il sintema AES in alcune unità stratigrafiche di rango inferiore (subsintemi), tra i quali si menzionano, dall'alto verso il basso, il Subsintema di Ravenna (AES8), il Subsintema di Villa Verucchio (AES7) ed il Subsintema di Bazzano (AES6). L'unità di rango inferiore AES8a (Unità di Modena), ove presente, costituisce il tetto stratigrafico del Subsintema di Ravenna (AES8).

Si specifica che le assunzioni CARG si sono basate sull'analisi di carotaggi profondi specificatamente concepiti, su datazioni al carbonio 14, sulla presenza di resti archeologici e sul contenuto/tipo di pollini imprigionati nel sedimento.

Con particolare riferimento al limite inferiore dell'Unità di Modena AES8a, esso viene definito dal CARG come una superficie di erosione fluviale correlata ad un suolo non calcareo (o scarsamente calcareo) contenente resti di epoca romana (datazione archeologica), pertanto la differenziazione su base pedologica ed archeologica con il sottostante Subsintema AES8 non ha in generale un riscontro di tipo litotecnico; inoltre lo spessore indicato nei documenti CARG per l'Unità di Modena è di alcuni metri (sempre inferiore a 10m), pertanto non correlabili direttamente con variazioni delle caratteristiche litotecniche riscontrabili a profondità maggiori.

Per questi motivi non si è ritenuto opportuno evidenziare tale differenziazione nell'ambito del profilo geologico di progetto ma si è riportata una distinzione tra corpi a diversa granulometria, aspetto che assume grande importanza dal punto di vista geotecnico.

Viceversa, nel profilo geologico è riportata una possibile interpretazione dei limiti tra i subsistemi AES8, AES7 ed AES6; il limite tra subsistemi è stato costruito sulla base dei limiti indicati nelle sezioni CARG ricadenti nell'ambito del presente progetto, adattando tale limite (ove possibile) sulla base delle risultanze dei carotaggi di progetto, con particolare riferimento ai livelli torbosi/carboniosi (che la letteratura considera un buon marker per differenziare queste unità).

Più in dettaglio, in cartografia di progetto è stata riportata la seguente successione stratigrafica (descritta dall'unità più giovane alla più antica):

### **DEPOSITI ALLUVIONALI IN EVOLUZIONE (B1)**

Depositi quaternari costituiti da ghiaie, talora embriciate, e sabbie con subordinati limi argillosi di origine fluviale. Infatti, sono soggetti a variazioni granulometriche attribuibili alla dinamica fluviale; nella frazione grossolana i clasti risultano eterometrici ed eterogenei, da arrotondati a sub-arrotondati.

Età: attuale

### **SINTEMA EMILIANO ROMAGNOLO SUPERIORE (AES)**

Sintema costituito da ghiaie, sabbie, limi ed argille di piana intra-valliva, di conoide e di piana alluvionale: tale entità risulta parzialmente suddivisa in subsistemi limitati da scarpate di terrazzo fluviale e da paleosuoli in superficie e da bruschi contatti fra depositi fini e depositi grossolani in profondità. Il suo spessore massimo in pianura risulta di circa 300 m con età compresa tra Pleistocene medio ed Olocene.

#### **Subsistema di Ravenna (AES8)**

Costituisce l'elemento sommitale del Sintema Emiliano Romagnolo Superiore. Nei settori intravallivi è rappresentato da ghiaie passanti a sabbie e limi organizzate in numerosi ordini di terrazzi alluvionali. Negli sbocchi vallivi e nella piana alluvionale comprende ghiaie, sabbie, limi ed argille. Limite superiore identificato da suoli variabili da non calcarei a calcarei. I suoli non calcarei o scarsamente calcarei hanno colore bruno scuro e bruno scuro giallastro con spessore dell'alterazione da 0.5 m ad 1.5 m e contengono frequentemente reperti archeologici di età dal Neolitico al Romano. Il limite inferiore è erosivo sui depositi alluvionali sottostanti (AES7). I suoli calcarei appartengono – quando presenti - alla sovrastante unità di rango subalterno AES8a (Unità di Modena). Spessore massimo in pianura sino a oltre 20m.

Età: Pleistocene sup. - Olocene (14 ka - attuale; datazione C14).

All'interno del Subsistema di Ravenna è indicata l'Unità di Modena (AES8a). Nei settori intravallivi esso comprende ghiaie prevalenti organizzate in 2 ordini di terrazzi alluvionali. Negli sbocchi vallivi e nella piana alluvionale è rappresentato da ghiaie, sabbie, limi ed argille (ghiaie subordinate). Limite superiore sempre affiorante (coincidente col piano topografico) dato da un suolo calcareo di colore bruno olivastro e bruno grigiastro privo di reperti archeologici romani, o più antichi. Limite inferiore dato da una superficie di erosione fluviale nelle aree intravallive e dal contatto netto sul suolo non calcareo (o scarsamente calcareo) contenente reperti dal Neolito al Romano nelle aree di pianura. Spessore massimo di alcuni metri (<10 metri). Età: post-romana (IV-VI sec. d.C.; datazione archeologica).

#### **Subsistema di Villa Verucchio (AES7)**

Depositi terrazzati di piana intravalliva affioranti lungo le valli e agli sbocchi vallivi dei Torrenti Savena, Idice e Zena (non affioranti nell'ambito dell'area di studio). Si tratta di prevalenti ghiaie e sabbie di terrazzo alluvionale e conoide alluvionale sormontate da limi ed argille di piana inondabile e/o eluvio-colluviali. Nei settori intravallivi sono costituiti da ghiaie passanti a sabbie e limi organizzati in alcuni ordini di terrazzi alluvionali. Limite superiore dato da un suolo non calcareo di colore bruno scuro. Negli sbocchi vallivi prevalenti ghiaie caratterizzate da un suolo non calcareo di colore bruno scuro rossastro spesso sino a 2 m circa. Limite inferiore erosivo. Spessore massimo nel sottosuolo della pianura c.a.100m. Depositi non affioranti nell'area di interesse.

Età: Pleistocene sup.

Nell'ambito del profilo geologico è stato ipotizzato in profondità il limite tra AES7 ed il sovrastante AES8 (limite derivato dalle sezioni CARG ed adattato in funzione delle risultanze dei carotaggi di progetto).

#### **Subsistema di Bazzano (AES6)**

Depositi di conoide alluvionale terrazzati affioranti agli sbocchi vallivi dei Torrenti Savena, Idice e Zena (non affioranti nell'area in oggetto). Si tratta di prevalenti ghiaie e sabbie di canale fluviale nelle zone prossimali - caratterizzate da un aumento verso l'alto della matrice sabbiosa - e da argille e limi prevalenti alternati a sabbie nelle zone distali. Spessore massimo nel sottosuolo della pianura di ca. 80m.

Età: Pleistocene medio.

Nell'ambito del profilo geologico è stato ipotizzato in profondità il limite tra AES6 ed il sovrastante AES7 (limite derivato dalle sezioni CARG ed adattato in funzione delle risultanze dei carotaggi di progetto).

### **4.3 CARTOGRAFIA E PROFILO GEOLOGICO DI PROGETTO**

Gli elaborati cartografici di progetto consistono in una planimetria geologica redatta in scala 1:5000, e un profilo geologico longitudinale in asse al tracciato redatto in scala 1:5000/500 ed eseguito 35m a sx dell'asse di tracciamento della Tangenziale Nord.

Le planimetrie geologiche di progetto riportano le successioni stratigrafiche e, mediante appositi soprassegni, le distinzioni granulometriche dei terreni superficiali proposte dalla Regione Emilia-Romagna (cartografia regionale progetto CARG). È stato aggiunto il reticolo idrografico, gli ambiti e le aree di cava, la perimetrazione di una discarica di R.S.U., i principali depositi antropici, i laghi e specchi d'acqua artificiali e l'ubicazione delle indagini geognostiche.

Si segnalano alcune discrepanze tra le descrizioni derivanti delle stratigrafie di indagine geognostica e quanto cartografato superficialmente nel CARG. Conseguentemente, il profilo geologico longitudinale, che è stato redatto ex-novo sulla base di tutti i dati geognostici acquisiti riporta delle perimetrazioni differenti e molto più articolate, sia in senso laterale, sia in senso verticale.

Più in dettaglio, in profilo geologico sono riportate tre classi principali di terreni, suddivise in relazione alla composizione granulometrica prevalente:

- argille e/o limi prevalenti (terreni prettamente coesivi)
- sabbie, sabbie limose, sabbie limoso-argillose (terreni sabbiosi con contenuto di matrice fine variabile)
- ghiaie, ghiaie sabbiose, sabbie ghiaiose (terreni prettamente granulari)

Un elemento tipico dell'ambiente di sedimentazione alluvionale è rappresentato dalla diffusa variabilità sia in senso verticale che orizzontale, dovuto alla successione cronostatigrafica di differenti eventi. Pertanto, a causa della natura fortemente eteropica dei contatti, la forma e l'estensione di corpi/lenti riportate in profilo deve essere assunta come verisimile ma indicativa.

È importante sottolineare la occasionale presenza, a diverse profondità, di livelli ad alto contenuto di materiale organico e/o concrezioni torbose, per le quali si rimanda a una disamina di quanto riportato nelle singole stratigrafie.

Nel profilo geologico è contenuta un'interpretazione del limite esistente tra i subsistemi AES8, AES7 ed AES6 (unità stratigrafiche delimitate da superfici di discontinuità - U.B.S.U.). Tale limite è presunto; è stato ricostruito prendendo in considerazione le sezioni CARG unitamente alle risultanze dei carotaggi, con particolare riferimento alla presenza dei livelli torbosi/carboniosi, che in letteratura sono considerati un buon marker distintivo.

## 5 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Il tracciato in progetto ricade in una fascia di territorio definita "di cerniera" tra il "margine appenninico-padano", unità morfologica corrispondente alla zona a cavallo tra il limite morfologico Appennino-Pianura Padana e costituita dalle colline del basso Appennino e dalla fascia pedemontana della Pianura Padana, e la Pianura Padana in senso stretto. Questa fascia di territorio, ad assetto subpianeggiante, comprende le conoidi dei principali corsi d'acqua che provengono dall'Appennino.

Si tratta di superfici a pendenza decrescente verso Nord/Nordest, derivate dall'erosione delle litologie competenti (flysch calcareo-marnosi e ofioliti) affioranti nel settore appenninico Emiliano.

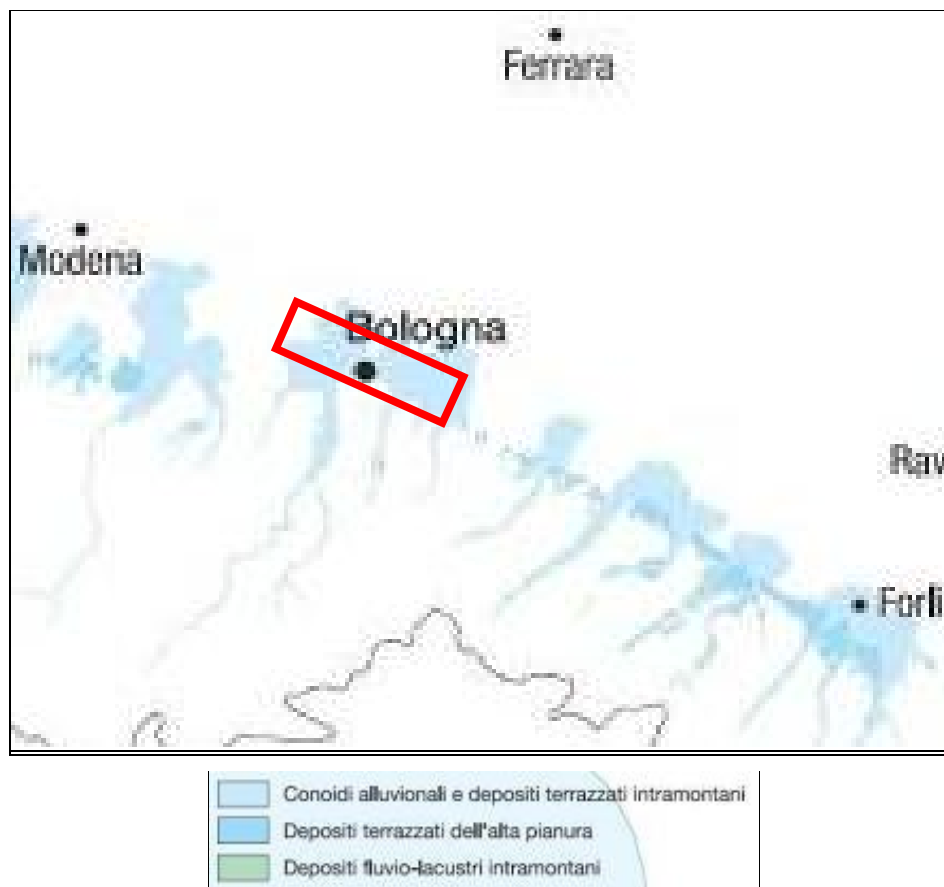


Figura 5-1 - Inquadramento geomorfologico della pianura emiliano romagnola - estratto. (da Note illustrative alla carta sismotettonica della regione Emilia-Romagna, scala 1.250.000). In rosso l'area di interesse.

La pianura alluvionale bolognese si è difatti originata dalla sovrapposizione di eventi alluvionali in direzione prevalente circa nord-sud.

Il territorio bolognese è caratterizzato da valori di altitudine (quote in m s.l.m.) che tendenzialmente diminuiscono verso nord e aumentano invece da ovest verso est. Più in dettaglio l'area di intervento è caratterizzata da un andamento piano - altimetrico tra 40 e 55 m s.l.m.

### 5.1 RETICOLO IDROGRAFICO

In generale l'idrografia dell'area bolognese, sia per cause naturali sia per l'evolversi delle esigenze socio-economiche, ha subito nel tempo profonde modifiche; in particolare per quel che riguarda alcuni percorsi fluviali, la loro portata e l'inserimento nella rete idrografica di numerosi canali artificiali.

La rete idrografica generale in cui ricade l'area di studio è caratterizzata principalmente dal percorso interregionale del Fiume Reno e del Torrente Savena. Entrambi nascono in Toscana e hanno un deflusso

generale in direzione nord con un cambio repentino in direzione est. Inoltre, appena fuori dall' area d'intervento, è presente l'area di pertinenza del Torrente Idice.

Il Fiume Reno sottostante un bacino idrografico di circa 6000 km<sup>2</sup> di questi poco meno della metà occupano l'area montana; ha una lunghezza complessiva, dalla sorgente più distante alla foce presso Comacchio, di circa 212 km. Il percorso comprende zone ad elevatissima concentrazione industriale, assai sviluppate ed evolute anche dal punto di vista agricolo.

Il Torrente Savena invece sottostante un bacino montano di circa 170 km<sup>2</sup>, ha una lunghezza complessiva fino alla confluenza nel T. Idice, di circa 54 km. In epoca storica, a San Ruffillo, una quota della portata del torrente venne convogliata verso Bologna attraverso la costruzione del Canale di Savena e da questi fino al torrente Aposa, l'unico torrente naturale che attraversa la città, a sua volta immesso nel Canale Navile. In seguito il percorso del T. Savena venne deviato completamente ed immesso alla sinistra idrografica del T. Idice; attualmente il percorso naturale non più interessato dalle dinamiche naturali, fa capo alla rete artificiale del sistema bolognese ed è conosciuto appunto come Savena Abbandonato.

A completamento dell'idrografia superficiale concorrono alcuni canali artificiali realizzati in epoca storica per scopi irrigui e per il trasporto di merci. I più importanti sono il Canale Navile e il Canale Battiferro, che hanno il deflusso in direzione nord; si annovera inoltre la presenza di una fitta rete di canali minori e di fossi di scolo ad esempio Canale Reno '75, Rio Calamosco e il Fosso Riolo (si vedano gli stralci seguenti e relativa legenda).

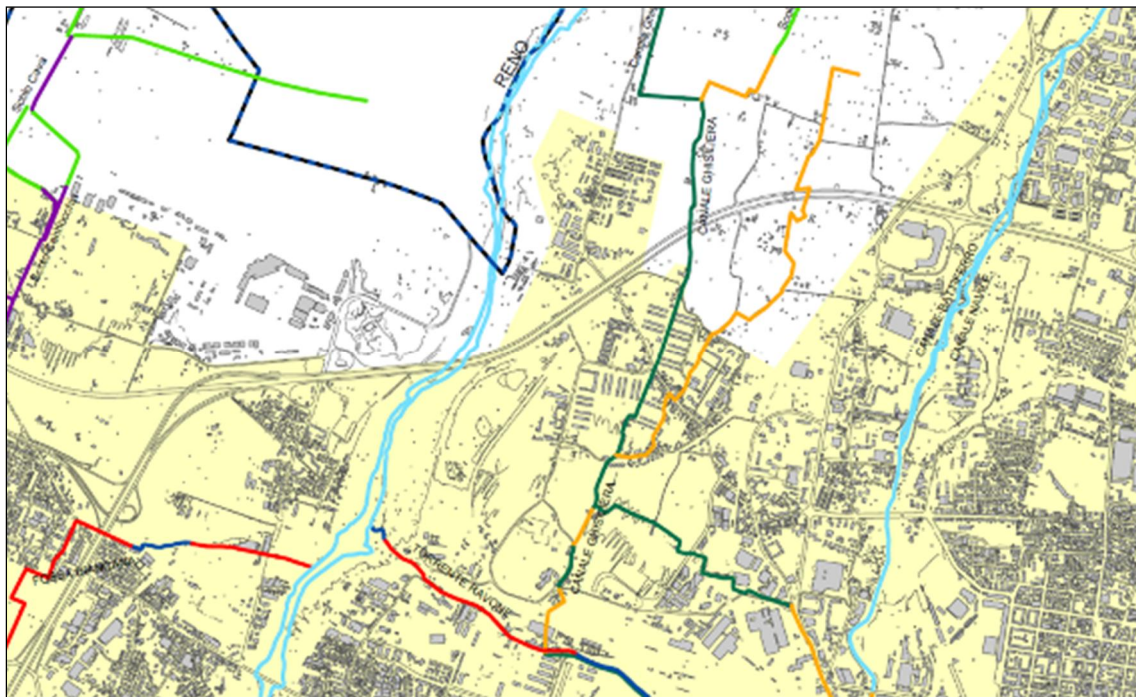


Figura 5-2 - Stralcio della Carta del reticolo idrografico a nord di Bologna (da PSC Bologna modif.)

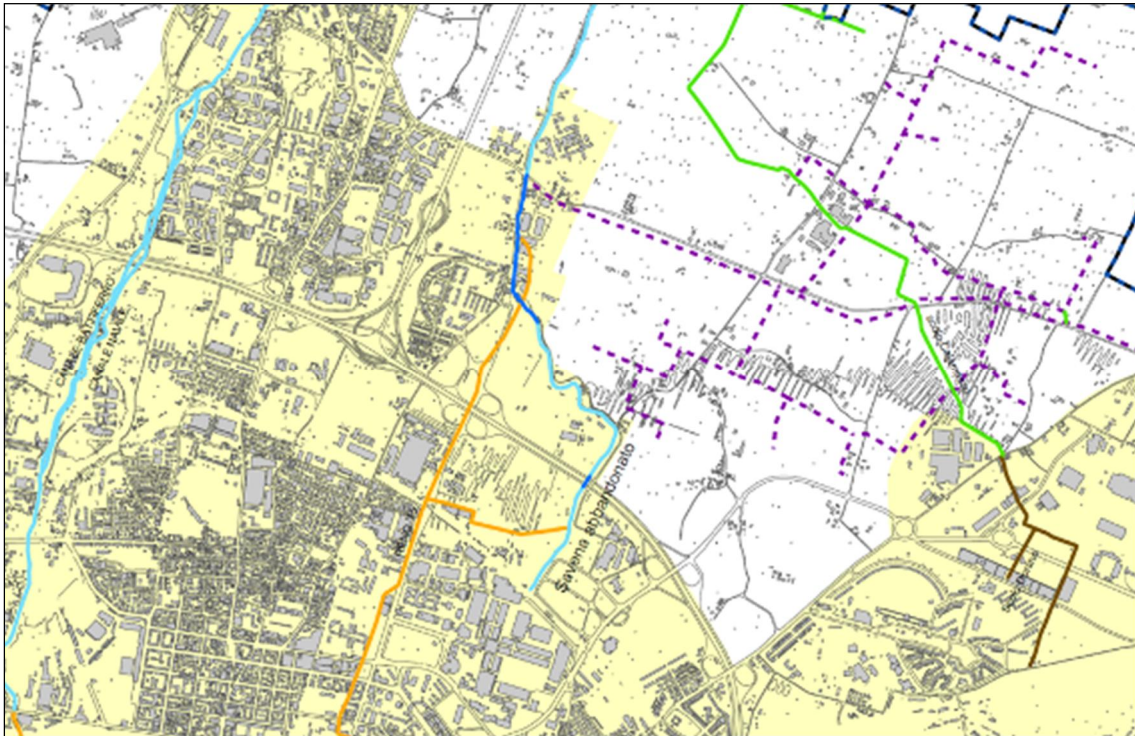


Figura 5-3 - Stralcio della Carta del reticolo idrografico a nord-est di Bologna (da PSC, Bologna modif.)

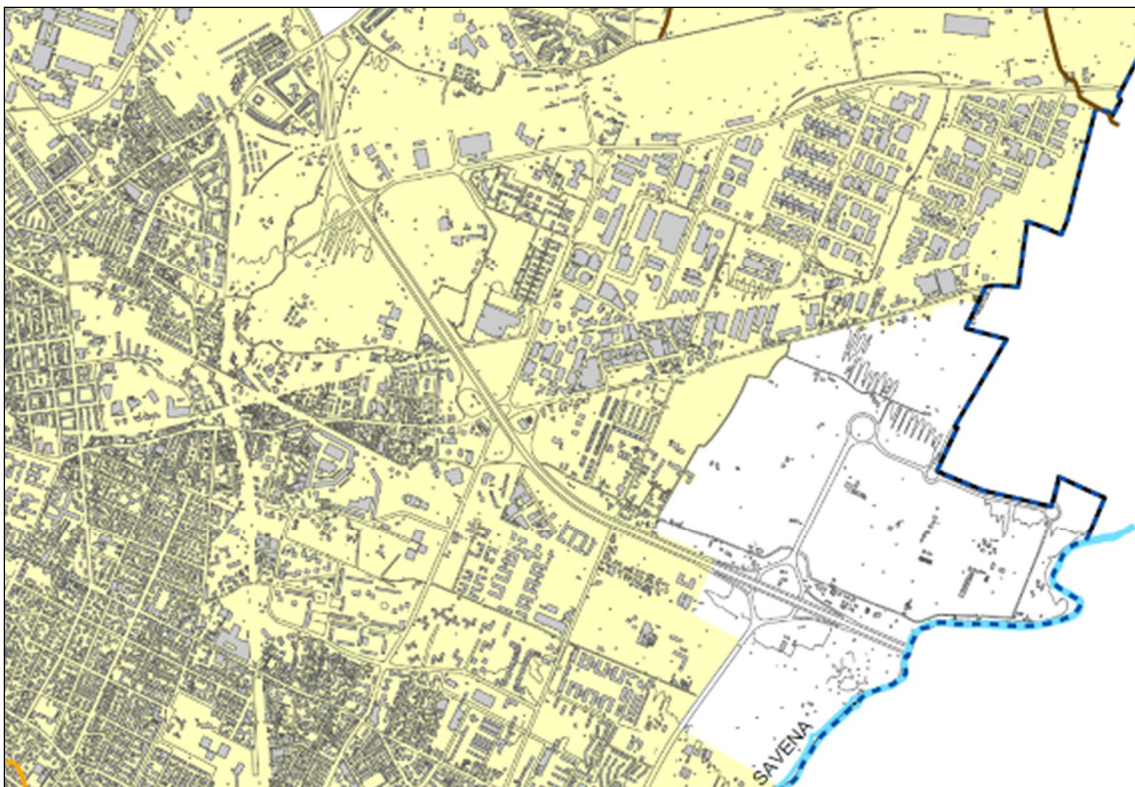


Figura 5-4 - Stralcio della Carta del reticolo idrografico a est di Bologna (da PSC, Bologna modif.)












| CLASSIFICAZIONE RETICOLO IDROGRAFICO | SCOPERTO  | COPERTO  |   |
|--------------------------------------|---|--|---|
| Reticolo principale                  |  |  |   |
| Reticolo minore                      |  |  |   |
| Reticolo minuto                      |  |   | Condotta in pressione   |
| Reticolo di bonifica                 |  |  |  |
| Reticolo canali                      |  |  |   |

Figura 5-5 - Legenda della Carta del reticolo idrografico a est di Bologna (da PSC, Bologna)

## 5.2 FOTOINTERPRETAZIONE

Per ottenere un migliore riconoscimento delle forme del territorio a grande scala (altrimenti non rilevabili date le deboli variazioni altimetriche dell'area e la presenza di insediamenti antropici) si è fatto ricorso all'interpretazione di foto aeree.

I fotogrammi digitali utilizzati per la fotointerpretazione, ottenuti dalle riprese aeree effettuate nel 2015, e relative al Passante di Bologna sono i seguenti.

- strisciata N°106; fotogrammi dal N°0149÷0164
- strisciata N°107; fotogrammi dal N°0104÷0099
- strisciata N°108; fotogrammi dal N°0066÷0075
- strisciata N°109; fotogrammi dal N°0025÷0019

Sono stati utilizzati fotogrammi digitali con due diversi valori di *pixel*, rispettivamente 14 cm e 38 cm; nel primo caso la stampa ha restituito foto aeree con il dettaglio topografico in scala 1:8000 circa, compatibile quindi con le finalità del rilevamento geomorfologico e della rappresentazione cartografica finale (scala 1:5000); nel secondo caso invece con un dettaglio in scala 1:25000 circa, comparabile con le carte topografiche storiche (IGM) consultate.

I fotogrammi aerei sono stati analizzati in stereoscopia, attraverso una sovrapposizione (overlap) dei successivi scatti di una ripresa aerea per il 60% della dimensione dell'immagine.

I principali macroelementi naturali individuati mediante l'analisi delle foto aeree sono costituiti da terrazzi alluvionali, paleoalvei, depositi detritici in alveo (isole fluviali), superficie residua di terrazzo fluviale.

I principali macroelementi antropici individuati mediante l'analisi delle foto aeree sono costituiti da arginature con finalità idrauliche, specialmente lungo il percorso del Fiume Reno, depressioni antropiche (residui di scavi e/o della lavorazione degli inerti), aree di cava e relative scarpate morfologiche, impianti di lavorazione degli inerti, rilevati antropici (stradali e ferroviari principali, per la riduzione dell'impatto acustico), discariche di rifiuti solidi urbani, aree urbanizzate.

## 5.3 PIANO CAVE

Un'azione molto incisiva sul territorio in esame è risultata quella relativa all'apertura di numerose attività estrattive, sia per la qualità dell'inerte (litologia) costituente il sottosuolo bolognese che per la sua vocazione morfologica (area pianeggiante). Tale circostanza è risultata nel tempo impattante per i fenomeni di subsidenza indotti e per lo sfruttamento dei numerosi acquiferi presenti. In altri termini le attività estrattive avviate e terminate sul territorio hanno operato una modifica geomorfologica molto pervasiva, dando origine a morfologie depresse, a rinterri di varie dimensioni e, soprattutto, alla riorganizzazione dell'idrografia superficiale.

Il PAE comunale (Piano delle Attività Estrattive), la cui validità giuridica è a tempo indeterminato, assume il valore effettivo di Piano di Settore sulla base delle previsioni contenute nel PIAE (Piano Infraregionale delle attività estrattive).

Il PAE dettaglia i fabbisogni che il PIAE assegna al territorio comunale recependo direttamente i Poli estrattivi ed operando scelte di dettaglio con riferimento agli Ambiti estrattivi comunali (ovvero i giacimenti con potenzialità complessiva inferiore ai 500.000 m<sup>3</sup>). Definisce inoltre, attraverso la redazione di Norme Tecniche specifiche, le modalità di attuazione delle aree interessate dall'attività estrattiva ed individua quelle esaurite. La Giunta del Comune di Bologna ha assunto l'integrazione alla proposta di piano comunale delle attività estrattive di Bologna (aprile 2020): il piano è costituito da una relazione tecnica descrittiva dello stato delle previsioni e dell'attività estrattiva nel territorio comunale, assieme ad un inquadramento geologico e idrogeologico di dettaglio per le aree oggetto di nuove previsioni e da una tavola dello stato di fatto (fig. 7d), che riporta la posizione e lo stato di cave attive, pianificate ed esaurite, ed anche la posizione degli impianti di prima lavorazione dell'estratto.

Nelle seguenti figure si riportano degli stralci planimetrici estratti da cartografie di Piano delle attività estrattive redatte in periodi diversi:

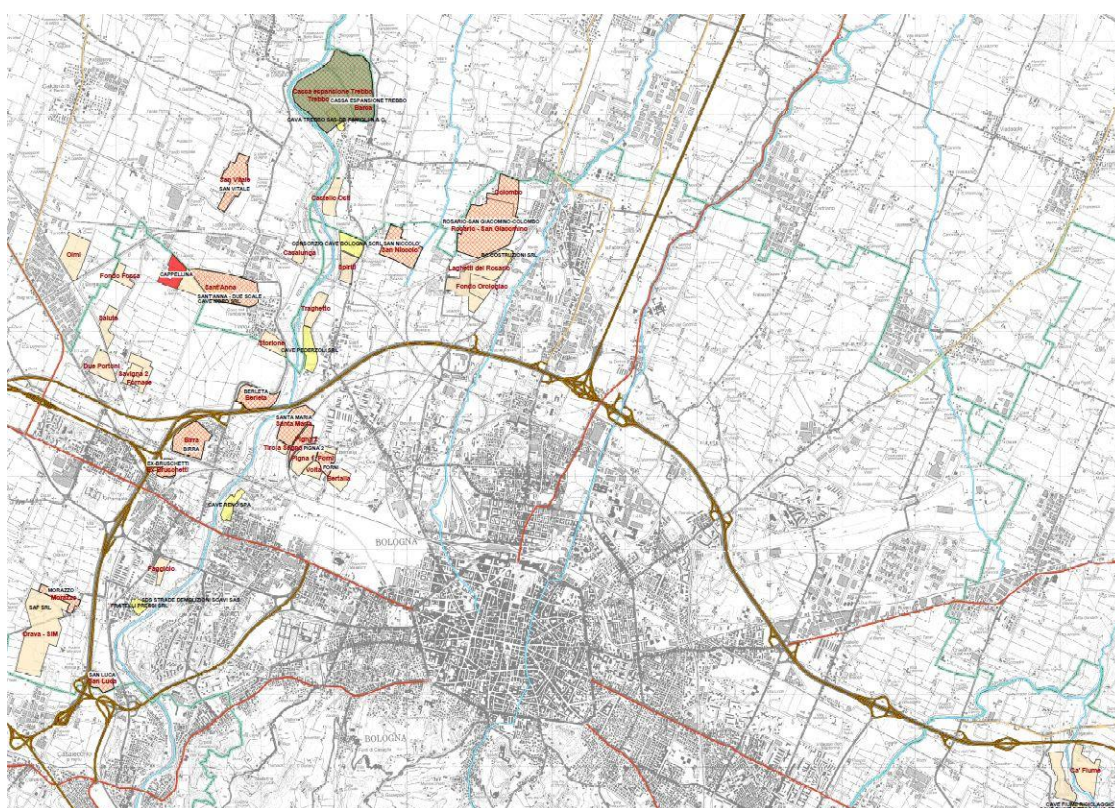


Figura 5-6 - Carta delle attività estrattive (da PIAE 2002 modif.)



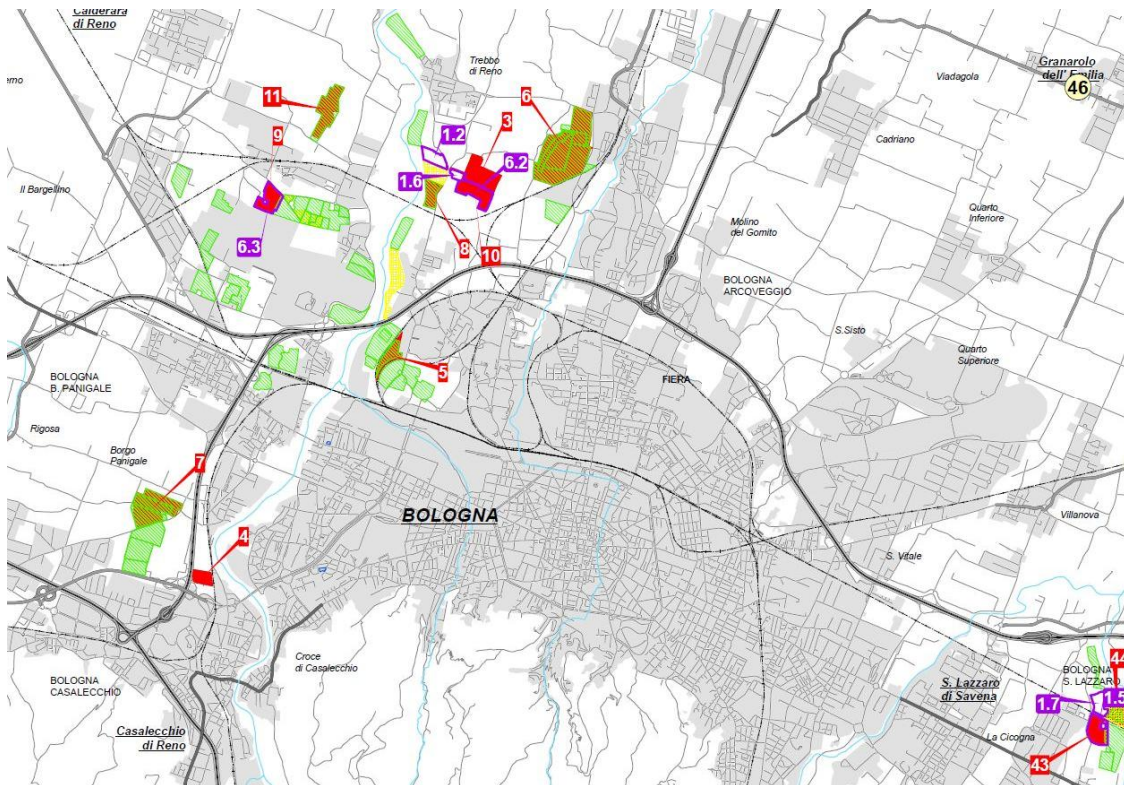


Figura 5-7 - Carta delle attività estrattive (da PIAE 2013 modif.)

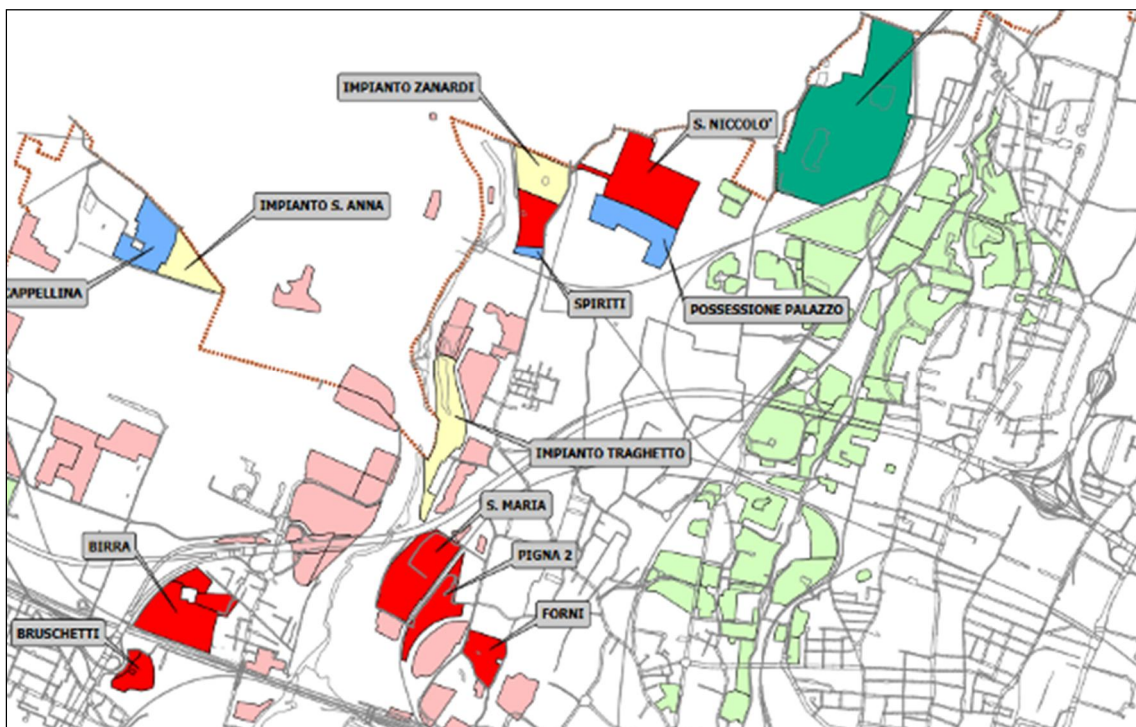


Figura 5-8 - Carta delle attività estrattive storiche a nord-nord/ovest di Bologna (da PAE 2007 modif.)



Figura 5-9 - Carta delle attività estrattive storiche a est-sud/est di Bologna (da PAE 2007 modif.)



Figura 5-10 - Piano delle attività estrattive PAE 2020 (stato di fatto della parte nord-nord/ovest di Bologna.)

## 5.4 DESCRIZIONE GEOMORFOLOGICA DELL'AREA DI INTERVENTO

Il rilevamento geomorfologico in sito ha riguardato maggiormente gli ambienti naturali in particolare quelli fluviali che interagiscono con le opere in progetto. Relativamente agli ambienti antropizzati, si sono cartografate invece le aree nelle quali risultano presenti rilevati artificiali, principalmente quelli relativi alle infrastrutture lineari, le aree depresse in generale o gli scavi, specie quelli realizzati nel corso delle attività estrattive. Per identificare i perimetri originari al fine di stabilirne l'eventuale tipo di riempimento, il lavoro di è avvalso soprattutto dei dati presso gli enti pubblici, sovrapponendoli alla geomorfologia rilevata. A questo proposito è risultato utile per le verifiche geomorfologiche in sito la consultazione e il confronto con le due edizioni delle carte topografiche a disposizione:

- la carta IGM (Istituto Geografico Militare) in scala 1:25000, revisionata nel tempo a partire dagli anni '50;
- la carta CTR (Carta Tecnica Regionale) in scala 1:5000, che ha avuto l'ultima revisione nel gennaio 2020.

#### 5.4.1 Attraversamento Fiume Reno

Il principale macroelemento naturale presente è il Fiume Reno. Il tracciato dell'alveo nel tratto considerato ai fini dello studio è di tipo non confinato, con una sinuosità di basso grado; per contro il grado di sinuosità aumenta se riferito all'alveo di magra e con esso la capacità erosiva della corrente specie sulle scarpate fluviali. In epoca storica le dinamiche geomorfologiche del F. Reno hanno dato origine a numerosi eventi alluvionali e a impaludamenti significativi: per contenere la portata di tali fenomeni sono stati costruiti quindi con finalità idrauliche gli Argini artificiali. Essi sono attualmente ancora ben individuabili, in generale sono oggetto di buona manutenzione, anche se in alcuni tratti l'urbanizzazione incipiente li ha quasi obliterati.

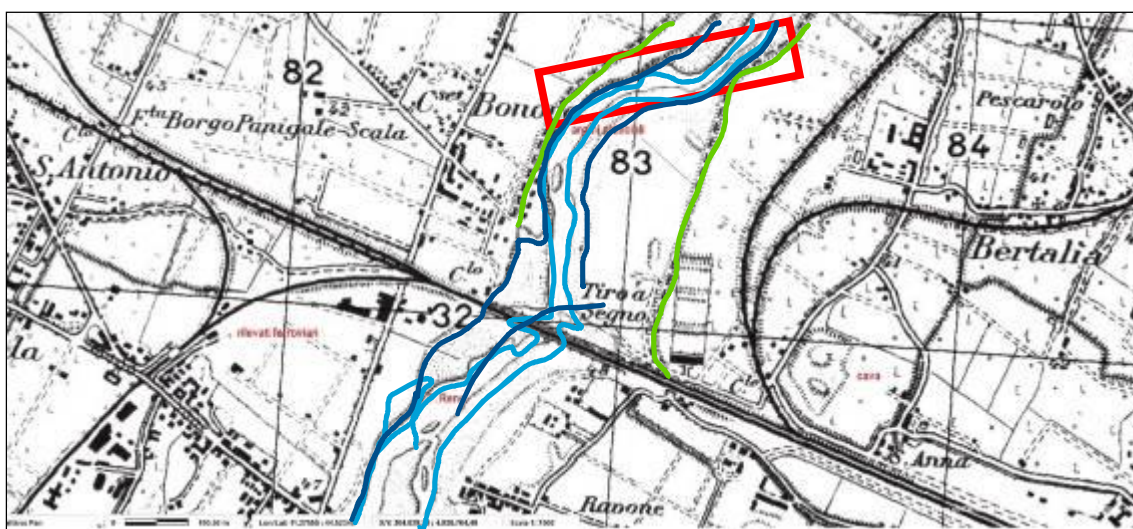


Figura 5-11 - Carta topografica nella zona di Borgo Panigale (da base topografica IGM modif.) (in rosso l'area di attraversamento dell'opera sul fiume Reno).

L'analisi della morfologia condotta attraverso la lettura della Carta IGM (sopra riportata) indica quindi che i principali elementi, sia naturali sia antropici, caratterizzanti il tratto di attraversamento sono i seguenti: l'alveo di magra del fiume Reno (in colore azzurro nella figura sopra riportata), i terrazzi fluviali (in colore blu nella figura sopra riportata), n°2 rilevati che costituiscono gli argini artificiali (in colore verde nella figura sopra riportata), alcuni rilevati ferroviari, i fronti di coltivazione (scarpate) di una cava attiva, la pianura bolognese circostante poco urbanizzata all'epoca dell'edizione della carta.

La cartografia CTR 1:5000, base della Planimetria geomorfologica allegata al progetto e di cui viene riportato uno stralcio di seguito, mostra che l'area è stata molto trasformata a cominciare dall'apertura (e ritombamento) di cave di inerti, dagli impianti di trasformazione connesse alle aree per lo stoccaggio di materiale lavorato, da nuovi rilevati ferroviari (treni alta velocità), dal sistema tangenziale in esercizio, e da nuovi rinterri dell'aeroporto di Bologna.

Nel corso del rilevamento geomorfologico sono state rinvenute morfologie residuali di tali attività antropiche; in particolare, scavi (morfologie depresse) in parte ripristinati e reintegrati nel tessuto urbano e infrastrutturale (ad esempio nei parchi urbani, oppure inglobati nei rinterri delle nuove infrastrutture).

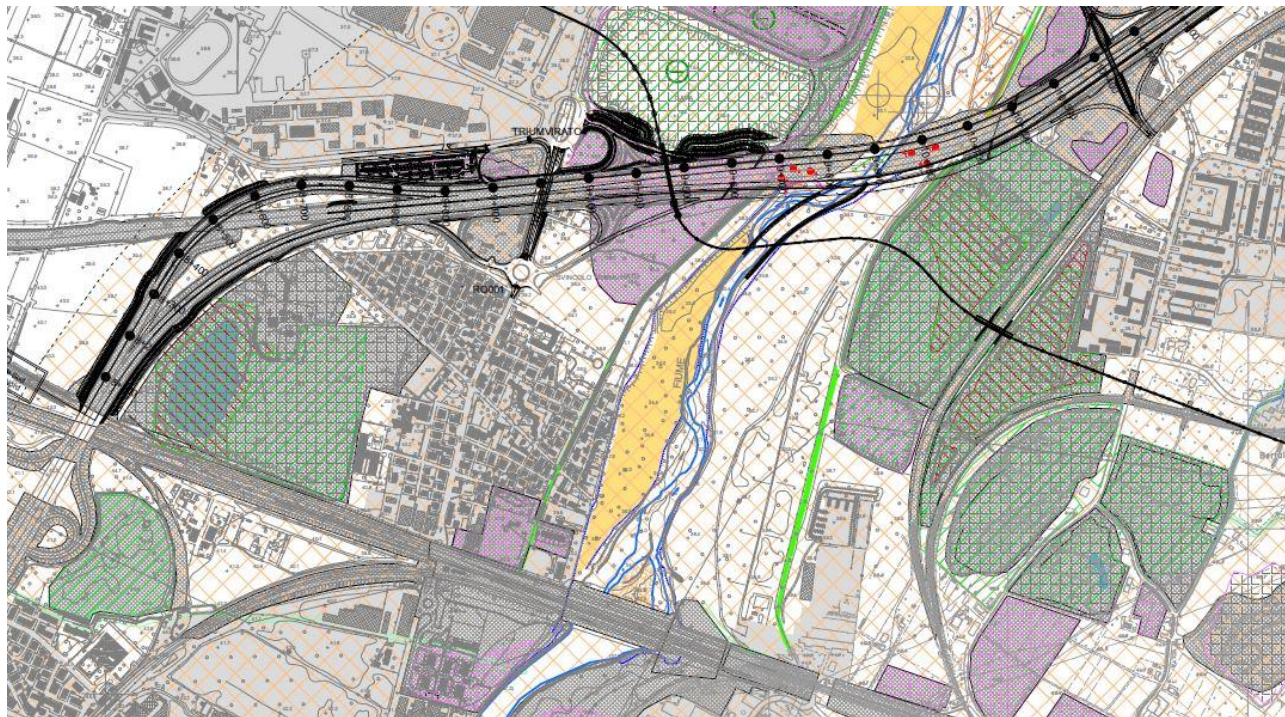


Figura 5-12 - Stralcio della Planimetria geomorfologica nella zona di Borgo Panigale (da base topografica CTR modif.) e relativa legenda

Di seguito si riportano alcune foto esplicative degli elementi geomorfologici rilevati:



Figura 5-13 - Argine artificiale del F. Reno in loc. Bonora; in secondo piano l'impalcato della Tangenziale.



Figura 5-14 - Morfologia depressa di origine antropica derivante dalle attività estrattive, in loc. Lippo a nord-est dell'aeroporto di Bologna (foto 2016).



Figura 5-15 - Morfologia depressa di origine antropica derivante dalle attività estrattive, attualmente occupata da ristagni d'acqua e da un viadotto ferroviario in costruzione (People Mover, in foto pali verticali bianchi nel 2016), a sud-ovest dell'aeroporto di Bologna.



*Figura 5-16 - Morfologia depressa (scavo antropico residuale) derivante dalle attività estrattive (Cave Nord s.p.a.) attualmente ripristinata ambientalmente e occupata da un lago artificiale (loc. Birra, foto 2016).*

Lungo l'alveo del F. Reno, a c.a. 200 metri a sud dell'impalcato del sistema tangenziale in esercizio, si riconosce la parete interna dell'argine artificiale sinistro (a sinistra della ), seguita dalla superficie pianeggiante del terrazzo fluviale.



*Figura 5-17 – Alveo del F. Reno (foto 2016) c.a. 200m a sud del sistema tangenziale-autostradale: a sinistra la parete interna dell'argine artificiale sinistro, seguita dalla superficie pianeggiante del terrazzo fluviale; in secondo piano nella foto si vede l'impalcato del sistema tangenziale in esercizio.*

Sempre lungo l'alveo, nelle vicinanze del Viadotto Reno, sono state individuate scarpate fluviali ben riconoscibili e di altezza variabile (attualmente da 1 a 3,5 m) riferibili a due ordini di terrazzi fluviali (Figura 5-18, Figura 5-19).



Figura 5-18 – Alveo attuale del F. Reno (panoramica verso valle del 2016): a sinistra scarpate fluviali di altezza variabile da 3÷5 m; in secondo piano l'impalcato del sistema tangenziale in esercizio.



Figura 5-19 – Alveo attuale del F. Reno (foto panoramica del 2016 verso monte): a destra le scarpate fluviali di altezza variabile da 3÷4 m; in secondo piano attività di movimento terra inerente alla costruzione del nuovo viadotto ferroviario – People Mover.



Figura 5-20 – Alveo attuale del F. Reno (foto panoramica del 2016 verso valle): a sinistra in secondo piano le scarpate fluviali di altezza variabile da 1÷2 m; in primo piano la superficie pianeggiante del terrazzo fluviale in cui non si osservano dinamiche geomorfologiche recenti.

Le dinamiche geomorfologiche a cui sono soggette le scarpate fluviali sono attive ed incipienti, specie nei pressi dell'attraversamento autostradale sopra menzionato (Viadotto Reno); in particolare si tratta di:

- fenomeni deposizionali di detriti alluvionali nelle aree dove la corrente arriva con minore energia (Figura 5-21 Figura 5-22 Figura 5-23);
- fenomeni erosionali con scalzamento al piede delle scarpate fluviali delle sponde (foto 12a del 2016, foto 12b del 09/2020), in corrispondenza delle quali risulta evidente una netta regressione nel tempo dei margini delle aree scoscese (vedi planimetria geomorfologica allegata);
- approfondimento dell'alveo e conseguente scalzamento al piede di alcune pile del viadotto stesso (Figura 5-21, Figura 5-26 del 2016, Figura 5-27 e Figura 5-28 del 09/2020).



Figura 5-21 - Alveo del F. Reno: depositi alluvionali recenti (foto 2016); sono presenti scogliere artificiali



Figura 5-22 - Alveo attuale del F. Reno: a sinistra della foto (2016) si individuano depositi alluvionali recenti con uno spessore variabile in 1÷1.5 m.





Figura 5-23 - Alveo attuale del F. Reno (foto 2016): sono presenti depositi alluvionali recenti con spessore variabile 1÷1.5 m.



Figura 5-24 - Alveo attuale del F. Reno (foto 2016): particolare dei fenomeni erosivi molto attivi sulle scarpate e prossimi alle fondazioni dell'impalcato della tangenziale.



Figura 5-25 - Alveo attuale del F. Reno (foto 09/2020: particolare dei fenomeni erosivi attivi che arrivano a lambire le fondazioni dell'impalcato della tangenziale.



Figura 5-26 - Alveo del F. Reno panoramica verso monte (foto 2016): depositi alluvionali recenti con uno spessore  $1 \pm 1.5$  m; si notano porzioni residuali relative alle opere di protezione sui plinti del sistema tangenziale in esercizio.



Figura 5-27 - Scalzamento delle pile in alveo del Viadotto Reno (foto 09/2020).



Figura 5-28- Scalzamento delle pile in alveo del Viadotto Reno (foto 09/2020).

In aggiunta ai fenomeni sopra descritti, si segnala che al di sotto dell'impalcato della tangenziale, sui terrazzi fluviali sono presenti fenomeni di ruscellamento concentrato che determinano erosioni superficiali attive profonde fino a qualche decimetro (Figura 5-29 Figura 5-30).



Figura 5-29 - Alveo attuale del F. Reno: erosioni superficiali attive legate al ruscellamento concentrato; l'acqua proviene dalle banchine del sistema tangenziale in esercizio; a destra della foto si vede il profilo dell'argine idraulico sinistro.



Figura 5-30 - Alveo attuale del F. Reno: erosioni superficiali attive legate al ruscellamento concentrato; l'acqua proviene dal sistema tangenziale in esercizio; in secondo piano s'intravede il profilo dell'argine idraulico destro.

In corrispondenza dell'opera di scavalco del Reno, sono altresì presenti cospicui accumuli antropici dovuti sia ad attività di cava sia ai lavori eseguiti per la monorotaia "People Mover"; tali depositi vengono costantemente rielaborati dalle alluvioni di piena del Fiume stesso.

Con riferimento al viadotto Reno, si segnala che i fenomeni erosivi precedentemente descritti sono stati oggetto anche di uno studio idraulico finalizzato alla progettazione di interventi di protezione dell'alveo e delle sponde nelle zone maggiormente critiche.

## 5.4.2 Attraversamento canale Navile e Savena Abbandonato

Il principale macroelemento naturale è il Torrente Savena, che in epoca storica ha subito modifiche antropiche sostanziali. Infatti, alla fine del percorso montano, l'alveo naturale originariamente era ubicato a est di Bologna e si immetteva nel fiume Reno più a nord della località Baricella. Tale tragitto è ancora parzialmente individuabile ed è denominato Savena Abbandonato; essendo stato privato della sua portata originaria, attualmente fa parte della rete di canali artificiali che hanno finalità di drenaggio, per tale motivo non risente delle dinamiche naturali del bacino idrografico.

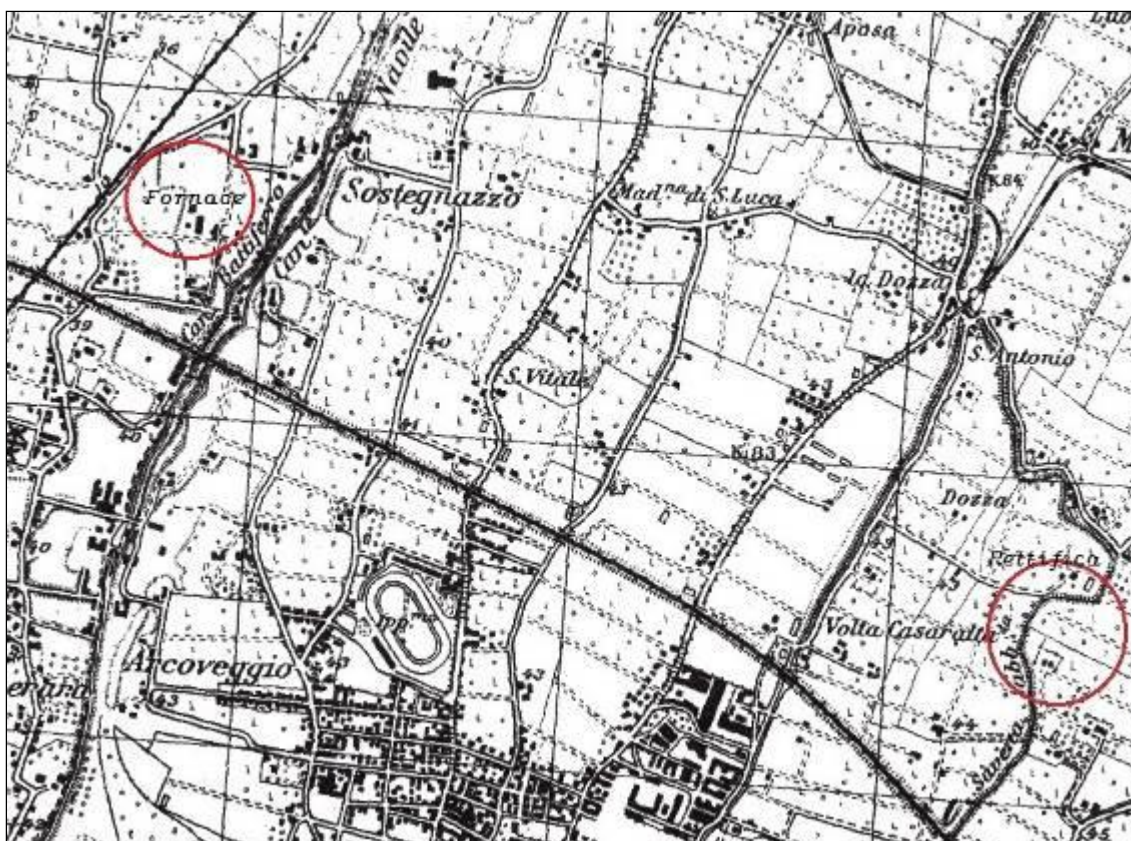


Figura 5-31 - Carta topografica nella zona di Arcoveggio i cerchi rossi indicano le aree che hanno subito modifiche antropiche (da base topografica IGM modif.)

L'analisi della morfologia desumibile anche dalla lettura della Carta IGM (sopra riportata) indica che i principali elementi morfologici, sia naturali sia antropici, caratterizzanti il tratto in esame sono: l'alveo del T. Savena Abbandonato del quale si riconosce n°1 ordine di terrazzo fluviale, gli alvei artificiali dei Canali Navile e Battiferro, alcuni rilevati ferroviari. La pianura bolognese circostante. Si sottolinea che all'epoca dell'edizione della carta l'urbanizzazione era ancora poco pervasiva.

La cartografia CTR 1:5000, utilizzata come base della Carta geomorfologica di progetto, mostra che l'area in zona Arcoveggio è stata molto trasformata a cominciare dalla presenza di nuovi rilevati ferroviari (treni alta velocità), nuovi rilevati del sistema tangenziale in esercizio, nuovi rilevati autostradali (A13) e, in subordine, l'apertura/ritombamento di cave di inerti.

Nel corso del rilevamento geomorfologico è stato ancora possibile individuare una parte dei caratteri morfologici naturali del Savena Abbandonato: nel tratto considerato il tracciato dell'alveo ha un confinamento laterale di tipo *non confinato* e data la presenza di tratti meandriciformi ha una sinuosità di alto grado. Esso conserva ancora le sponde naturali di altezza variabile da 2÷4 metri, in parte modificate e sostituite con pareti in cemento e muratura (Figura 5-32 Figura 5-33). Si precisa che gli attraversamenti possono anche essere costituiti da tubi corrugati di vario diametro Figura 5-34).

Nell'ambito degli attraversamenti in oggetto non sono presenti veri e propri argini artificiali con finalità idrauliche, viceversa sono stati realizzati alcuni rilevati per finalità diverse (ad esempio per ridurre l'inquinamento acustico o per essere sede di cavidotti industriali Figura 5-35).



Figura 5-32 - Alveo attuale del Savena Abbandonato, si noti la risagomatura artificiale delle sponde.



Figura 5-33 - Alveo Savena Abbandonato, si noti lo scatolare in muratura per l'attraversamento.



Figura 5-34 - Alveo Savena Abbandonato, si noti il tubo corrugato con un diametro di 1.5m per l'attraversamento.



Figura 5-35 – Rilevato artificiale nei pressi dello svincolo di immissione su A13, altezza media da 2÷4 m circa con probabile funzione di mitigazione acustica e sede di cavidotto industriale.

I Canali Navile e Battiferro completano la rete idrografica superficiale: si tratta di canali artificiali costruiti in epoca storica per scopi idraulici e per servire i primi opifici industriali (Figura 5-36); negli alvei artificiali attualmente si ritrovano depositi alluvionali recenti caratterizzati da uno spessore di pochi decimetri (Figura 5-37). Nel tratto in esame è altresì presente una fitta rete di canali minori, fossi di scolo costruiti a scopo irriguo e per l'allontanamento delle acque meteoriche. A questo proposito è da annoverare la presenza di numerosi laghi artificiali:

- Ø ubicati presso le aziende agricole con funzione di stoccaggio della risorsa idrica; queste riserve idriche di solito hanno forma allungata e dimensioni fino a qualche decina di metri quadri;

- ∅ ubicati presso le aree di cava sia attive sia dismesse, nonché quelle ripristinate la cui fruizione è spesso ricreativa.



Figura 5-36 – Alveo artificiale Canale Navile, particolare delle opere idrauliche e dei rivestimenti delle sponde.



Figura 5-37 – Alveo artificiale Canale Navile, depositi alluvionali recenti con uno spessore di 0.30÷0.50m.

In questo ambito le opere dell'uomo hanno inciso diffusamente sulla geomorfologia e in particolare sull'idrografia naturale della pianura bolognese, specie nel caso dell'ampliamento di quartieri residenziali (la Dozza, S.Vitale, etc.). A questo proposito si riportano due esempi:



- Ø modifica dell'alveo del Savena Abbandonato, ovvero la rettifica del meandro compreso tra le località La Dozza e Volta Casaralta;
- Ø morfologie terrazzate residuali (32 m s.l.m.) che si alternano a morfologie depresse (circa 28 m s.l.m.); ovvero la testimonianza di numerose cave (si veda la fig. 10a "Carta delle attività estrattive storiche") utilizzate per l'estrazione di terreni argillosi e la produzione di laterizi (toponimo *forname*) commercializzati utilizzando le vie d'acqua citate.

L'area terrazzata residuale occupata in precedenza dalla fornace è attualmente utilizzata da un centro commerciale mentre l'area estrattiva è stata ripristinata attraverso la costruzione di un parco pubblico.

Da ultimo si menziona la presenza di rilevati antropici atti a sostenere opere di varia tipologia (es. in Figura 5-38):



*Figura 5-38 – Rilevato artificiale, in via del Saliceto con altezza media da 2÷3 m circa con funzione portante del muro di contenimento del sistema tangenziale in esercizio.*

#### 5.4.3 Quartiere San Vitale – Torrente Savena Naturale

In questo ambito i principali macroelementi naturali sono la pianura bolognese e il Torrente Savena, che in questa zona risente delle dinamiche geomorfologiche naturali legate al suo bacino idrografico, difatti il torrente Savena è stato deviato ed immesso in sinistra idrografica del Torrente Idice (figg. seguenti).



Figura 5-39 - Carta topografica della Pianura Bolognese compresa tra il Savena Abbandonato con percorso a meandri (in alto a sinistra) e la località San Vitale (da base topografica IGM modif.).



Figura 5-40 - Carta topografica nell'intorno della confluenza tra il T. Savena naturale e il T. Idice (da base topografica IGM modif.).

L'analisi dell'area realizzata attraverso le Carte IGM (sopra riportate) indica che i principali elementi morfologici, sia naturali e sia antropici, caratterizzanti il tratto in esame sono:

- ∅ la pianura bolognese, compresa tra il Savena Abbandonato e la nuova confluenza nel T. Idice, nella quale l'urbanizzazione risulta ancora poco sviluppata o addirittura inesistente;
- ∅ l'alveo del T. Savena;
- ∅ n°1 ordine di terrazzo fluviale e alcuni rilevati ferroviari.

Tutte le opere, specie la costruzione di nuovi quartieri residenziali, hanno inciso in modo pervasivo sulla geomorfologia di quest'area ed in particolare sull'idrografia naturale.

Il confronto con la cartografia geomorfologica redatta per il presente progetto, avente una base topografica molto più recente di quella riportata in fig. 5-13, indica che l'area è stata molto trasformata a cominciare dalla costruzione di nuovi rilevati ferroviari, di nuovi rilevati del sistema tangenziale in esercizio, di nuovi rilevati autostradali (A13), la costruzione di nuovi quartieri residenziali e l'ampliamento dei centri abitati esistenti (S. Vitale); in subordine l'apertura di nuove cave di inerti.

Nel corso del rilevamento geomorfologico sono stati identificati alcuni caratteri morfologici del Torrente Savena: l'alveo è caratterizzato da un percorso a meandri con il confinamento laterale del tipo *non confinato* e le scarpate fluviali naturali di altezza da 2÷4 metri relative a un solo ordine di terrazzi fluviali.

Le dinamiche geomorfologiche presenti nel tratto studiato sono attive e sono costituite da:

- ∅ fenomeni erosionali con scalzamento al piede delle scarpate fluviali Figura 5-39);
- ∅ approfondimento dell'alveo e fenomeni deposizionali di detriti alluvionali con spessori variabili da 1÷1.5 m.



Figura 5-41 - Alveo del T. Savena: scarpata fluviale a geometria subverticale di altezza 3 m circa. Si noti il contatto stratigrafico tra depositi grossolani e terreni fini grigio scuro (località Fondo Mori).



Figura 5-42 - Alveo del T. Savena: depositi alluvionali recenti, spessore medio di 1 m; si individua il profilo di due briglie fluviali dotate di scarsa manutenzione (località Caselle).

In corrispondenza dell'impalcato della tangenziale attualmente in esercizio, sui terrazzi fluviali residuali sono stati rinvenuti fenomeni di ruscellamento concentrato, che danno origine ad erosioni superficiali profonde fino a qualche decimetro. Non sono presenti invece argini con finalità idrauliche ma solo tratti di rilevato artificiale, realizzati di recente, per contrastare l'inquinamento acustico o essere sede di cavidotti industriali (Figura 5-43).



Figura 5-43 - Alveo del T. Savena: fenomeni di ruscellamento concentrato che si originano sulle superfici residuali dei terrazzi fluviali; nell'alveo attivo i depositi alluvionali recenti hanno uno spessore di circa 1 m (località Fondo Mori).



*Figura 5-44 – Rilevato artificiale in località Case Alte, con altezza variabile da 3-5 m con funzione di mitigazione acustica.*

Inoltre, in sinistra idrografica è presente il rilievo collinare artificiale relativo ad una discarica a oggi ripristinata ambientalmente (Figura 5-45).



*Figura 5-45 – Morfologia collinare artificiale relativa ad una discarica ripristinata ambientalmente, ubicata nei pressi del sistema tangenziale in esercizio (località Fondo Moro).*

Da ultimo si menziona, anche per questo tratto, la presenza di rilevati antropici atti a sostenere opere di varia tipologia (es. in Figura 5-46):



Figura 5-46 – Rilevato artificiale con altezza media di 3-4 m circa relativo al muro di contenimento con funzione portante del sistema tangenziale in esercizio (località Croce del Biacco).

## 5.5 COMPATIBILITÀ GEOMORFOLOGICA CON CARTOGRAFIE DI ENTI ED ISTITUZIONI

### 5.5.1 Piano di Coordinamento Gestione Rischi Alluvioni (PGRA)

La Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione del rischio di alluvioni, recepita nell'ordinamento italiano con il Decreto Legislativo 23 febbraio 2010 n. 49, in analogia a quanto predispone la Direttiva 2000/60/CE in materia di qualità delle acque, rappresenta un quadro di riferimento omogeneo a scala europea per la gestione dei fenomeni alluvionali e si pone, pertanto, l'obiettivo di ridurre i rischi di conseguenze sfavorevoli derivanti dalle alluvioni soprattutto per la vita e la salute umana, l'ambiente, il patrimonio culturale, l'attività economica e le infrastrutture. Tali normative privilegiano un approccio di pianificazione a lungo termine, scandito in tre tappe successive tra loro concatenate: nella prima fase è prevista la valutazione preliminare del rischio di alluvioni, nella seconda vengono elaborate le pertinenti mappe della pericolosità e del rischio, mentre nell'ultima vengono definite la predisposizione e l'attuazione di piani di gestione del rischio stesso.

Il 17 febbraio 2017 è entrato in vigore il decreto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare n. 294 del 25 ottobre 2016 in materia di Autorità di Bacino Distrettuali, che disciplina l'attribuzione e il trasferimento della soppressa "Autorità di Bacino Interregionale del Fiume Reno" alla "Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po, alla quale vengono annessi la preesistente "Autorità di Bacino del Fiume Po" e i Bacini interregionali del Reno, del Fissero-Tartaro-Canal Bianco, del Conca-Marecchia e i Bacini Regionali Romagnoli.

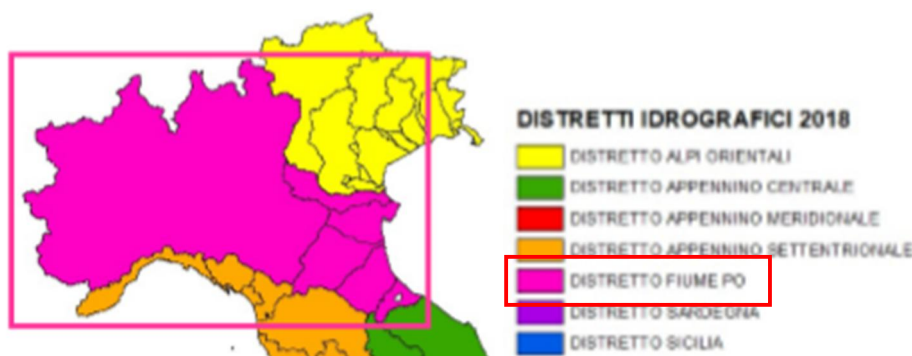


Figura 5-47 – Distretti idrografici 2018 - estratto.

L'area qui considerata ricade attualmente all'interno del "Distretto Idrografico del Fiume Po": più in dettaglio, in tale ambito la stessa area ricade nell'Unità di gestione (unit of Management – UoM) denominata "ITI021 Reno".

Il Piano di Coordinamento Gestione Rischi Alluvioni P.G.R.A. dell'Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po (ex Autorità di Bacino Reno) risulta aggiornato alla direttiva alluvioni II° ciclo di gestione (2021-2027) (adozione I° aggiorn. 20/12/2021).

Relativamente al suddetto piano, non sono evidenti perimetrazioni relativamente al rischio geomorfologico, trattandosi di aree pianeggianti.

Per quanto riguarda invece la pericolosità idraulica, le mappe individuate dall'Ente prevedono n° 3 *scenari di pericolosità*, distinte in base alla frequenza delle alluvioni:

- Alluvioni frequenti (P3) con tempo di ritorno compreso tra 20÷50 anni – elevata probabilità.
- Alluvioni poco frequenti (P2) con tempo di ritorno compreso tra 100÷200 anni – media probabilità;
- Alluvioni rare (P1) con scarsa probabilità di accadimento o scenari di eventi estremi (fino a 500 anni dall'evento).

Questi scenari derivano dai modelli prodotti per la pericolosità dei singoli "PAI" di riferimento.

Si sottolinea che il PGRA prevede elaborati cartografici inerenti sia il "Reticolo naturale principale e secondario" che il "Reticolo artificiale secondario di pianura".

Per quanto riguarda gli ambiti di pericolosità dell'intervento di progetto, si rimanda alle specifiche planimetrie allegate al progetto.

Dal 16 maggio 2020 è presente sul sito web "Mokagis" della Regione Emilia Romagna la nuova cartografia interattiva delle mappe della pericolosità e del rischio alluvioni (<https://servizimoka.regione.emilia-romagna.it/mokaApp/apps/DA/index.html>), dov'è, tra l'altro, possibile confrontare le mappe della pericolosità e del rischio redatte nel 2019, con quelle precedenti elaborate nel 2014.

Tali documenti di pericolosità possono essere visionati anche nel sito web del nuovo PTM della Città Metropolitana di Bologna (<https://cartografia.cittametropolitana.bo.it/ptmtav3>).

### 5.5.2 Piano di assetto idrogeologico (PAI)

Fermo restando quanto scritto nel capitolo precedente in materia di Autorità di Bacino Distrettuali, il referente della pianificazione territoriale nei confronti della pericolosità idraulica e geomorfologica per l'area di interesse rimane l'"Autorità di Bacino del Fiume Reno", che ha messo a punto i cosiddetti "Piani Stralcio di Assetto Idrogeologico" relativi al bacino idrografico di riferimento. Essi rappresentano, sostanzialmente, il risultato della modellazione geologica e idraulica.

Il Piano Stralcio dell'ex Autorità di Bacino del Fiume Reno, si compone di n. 4 Piani Stralcio di Sottobacino la cui delimitazione è rappresentata nella seguente figura.

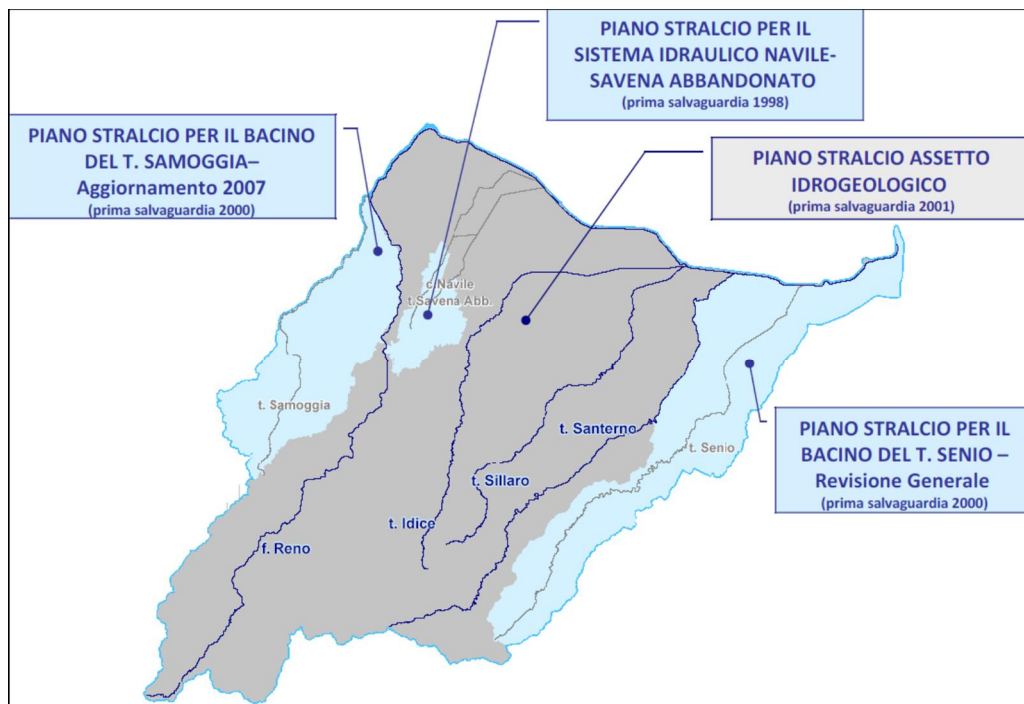


Figura 5-48 - Piani stralci vigenti nel bacino del F. Reno (modif. da Relazione PGRA)

Per quanto riguarda la pericolosità geomorfologica e idraulica vale quanto già descritto nel capitolo precedente.

In aggiunta, la "Planimetria dei Vincoli e della Pericolosità Idraulica" riporta la presenza dei seguenti elementi:

- **Alvei Attivi:** insieme degli spazi normalmente occupati, con riferimento ad eventi di pioggia con tempi di ritorno di 5-10 anni, da masse d'acqua in quiete od in movimento, delle superfici che li delimitano, del volume di terreno che circonda tali spazi e che interagisce meccanicamente od idraulicamente con le masse d'acqua contenute in essi e di ogni elemento che partecipa alla determinazione del regime idraulico delle masse d'acqua medesime.
- **Aree ad alta probabilità di inondazione:** aree passibili di inondazione e/o esposte alle azioni erosive dei corsi d'acqua per eventi di pioggia con tempi di ritorno inferiori od uguali a 50 anni. Gli "elementi antropici" presenti in tali aree e, rispetto ai quali il danno atteso è medio o grave, danno luogo a rischio idraulico elevato e molto elevato.
- **Fasce di Pertinenza Fluviale:** insieme delle aree all'interno delle quali si possono far defluire con sicurezza le portate caratteristiche di un corso d'acqua, comprese quelle relative ad eventi estremi con tempo di ritorno (TR) fino a 200 anni, mediante opere di regimazione a basso impatto ambientale e interventi necessari a ridurre l'artificialità del corso d'acqua e a recuperare la funzione di corridoio ecologico; fanno inoltre parte della fascia di pertinenza fluviale i terrazzi idrologicamente connessi e le aree da salvaguardare e regolamentare per ridurre i rischi di inquinamento dei corsi d'acqua e/o di innesco di fenomeni di instabilità dei versanti.

### 5.5.3 Piano territoriale metropolitano (Ptm)

Il Piano Territoriale Metropolitano è lo strumento nuovo di pianificazione territoriale generale che raccoglie l'eredità del PTCP (Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale) e che disegna gli scenari di sviluppo della Città Metropolitana di Bologna. Il PTM di Bologna è stato approvato con delibera n. 16 del 12/05/2021.

Tra gli elaborati redatti a supporto del PTM è stata visionata la "Carta di area vasta del rischio idraulico, rischio da frana e dell'assetto dei versanti (7 fogli scala 1:25.000)" in cui è riportata la zonizzazione del rischio idraulico da PSAI, gli scenari di pericolosità idraulica da PGRA, il rischio da frana e assetto dei versanti.

Per quel che riguarda gli elementi di tutela previsti dal PTM, in relazione al fatto che per i pozzi è prevista una fascia di rispetto circolare con raggio di 200 m dal punto d'acqua, nella "Planimetria dei Vincoli e della Pericolosità Idraulica" allegata, sono, per l'appunto, riportate fasce di rispetto derivanti dalla vicina presenza



dei campi pozzi "Tiro a Segno", "Borgo Panigale" e "San Vitale". Si precisa che la porzione settentrionale della fascia di rispetto inerente il campo Pozzi "Tiro a segno" interferisce con l'allargamento del Passante di Bologna nei pressi del Viadotto Reno.

Queste informazioni, unite alla definizione delle fasce di tutela fluviale, sono state confrontate con quelle presenti nei Piani Strutturali Comunali attualmente vigenti.

Le informazioni deducibili dalla suddetta cartografia sono riportate nell'apposito elaborato cartografico allegato al progetto: Planimetrie dei Vincoli e della pericolosità idraulica 1:5.000

#### 5.5.4 Piani strutturali comunali (Psc)

In riferimento al PSC del Comune di San Lazzaro di Savena (approvaz. 07/04/2009, aggiorn. 15/04/2020) ed al PSC del Comune di Bologna (approvaz. 10/02/2020), si evidenziano i seguenti elementi (ripresi anche dai piani sopra menzionati):

- **Alvei attivi ed invasi dei bacini idrici:** gli alvei attivi sono gli spazi normalmente occupati da masse d'acqua in quiete o in movimento, comprensivi delle superfici che li delimitano, del volume di terreno che circoscrive tali spazi e che interagisce meccanicamente o idraulicamente con le masse d'acqua contenute in essi e di ogni elemento che partecipa alla determinazione del regime idraulico delle masse d'acqua medesime, con riferimento a eventi di pioggia con tempi di ritorno di 5-10 anni. Gli alvei attivi sono destinati al libero deflusso delle acque e alle opere di regimazione idraulica e di difesa del suolo.
- **Fasce di tutela fluviale:** comprendono le aree significative ai fini della tutela e valorizzazione dell'ambiente fluviale dal punto di vista vegetazionale e paesaggistico, e ai fini del mantenimento e recupero della funzione di corridoio ecologico, o, ancora, ai fini della riduzione dei rischi di inquinamento dei corsi d'acqua e/o di innesco di fenomeni di instabilità dei versanti; comprendono inoltre le aree all'interno delle quali si possono realizzare interventi finalizzati a ridurre l'artificialità del corso d'acqua. La finalità primaria delle fasce di tutela fluviale è quella di mantenere, recuperare e valorizzare le funzioni idrauliche, paesaggistiche ed ecologiche dei corsi d'acqua.
- **Fasce di pertinenza fluviale:** sono definite come aree latitanti i corsi d'acqua che, anche in relazione alle condizioni di connessione idrologica dei terrazzi, possono concorrere alla riduzione dei rischi di inquinamento dei corsi d'acqua e/o di innesco di fenomeni di instabilità dei versanti, al deflusso delle acque sotterranee, nonché alle funzioni di corridoio ecologico e di qualificazione paesaggistica; comprendono inoltre le aree all'interno delle quali si possono realizzare interventi finalizzati a ridurre l'artificialità del corso d'acqua. La finalità primaria delle fasce di pertinenza fluviale è quella di mantenere, recuperare e valorizzare le funzioni idrogeologiche, paesaggistiche ed ecologiche degli ambienti fluviali.
- **Aree ad alta probabilità di inondazione:** le aree ad alta probabilità di inondazione sono quelle passibili di inondazione e/o esposte alle azioni erosive dei corsi d'acqua per eventi di pioggia con tempi di ritorno inferiori o uguali a 50 anni. La finalità della tutela è quella di ridurre il rischio idraulico, salvaguardando nel contempo le funzioni idrauliche, paesaggistiche ed ecologiche dei corsi d'acqua.
- **Aree per la salvaguardia delle acque destinate al consumo umano:** sono le aree individuate intorno alle opere di captazione di acque ad uso potabile (pozzi e sorgenti d'acqua) come zona di tutela assoluta (area ricadente entro un raggio di 10 m) e zona di rispetto, individuata secondo un criterio geometrico (area ricadente entro un raggio di 200 m dal punto d'acqua). Le aree di salvaguardia concorrono alla protezione delle risorse idriche sotterranee.

Si precisa che la rete idrografica minore "di Bonifica" è rappresentata dalla rete scolante minore e dalla rete di bonifica in pianura. Essa non è normata né dal piano stralcio di assetto idrogeologico (PSAI) né dal piano territoriale metropolitano (PTM), ma è regolata dalle norme contenute nel piano strutturale comunale (PSC).

Le informazioni deducibili dalla suddetta cartografia sono riportate nell'apposito elaborato cartografico allegato al progetto: Planimetrie dei Vincoli e della pericolosità idraulica 1:5.000.

## 5.6 CARTOGRAFIA GEOMORFOLOGICA DI PROGETTO

Gli elaborati cartografici geomorfologici di progetto consistono in una carta geomorfologica in scala 1:5000 e una carta dei vincoli e pericolosità idraulica alla medesima scala.

Nel corso del rilevamento geomorfologico non si sono rinvenuti particolari forme riconducibili a dinamiche geomorfologiche, ciò anche in conseguenza della profonda trasformazione antropica agricola ed antropica che ha interessato il territorio nell'ultimo secolo.

La consultazione dei dati geomorfologici regionali unitamente ai dati da fotointerpretazione hanno consentito la perimetrazione di antichi ventagli di esondazione o di rotta non attivi.

Complessivamente, le forme morfologiche osservate sono legate principalmente alla dinamica fluviale e all'attività antropica; si distinguono quindi:

Ø Forme naturali dovute a processi fluviali, quali:

- terrazzi alluvionali e depositi detritici in alveo (isola fluviale), entrambi legati a dinamiche geomorfologiche riguardanti punti sottoposti a maggiore erosione spondale e alla successiva deposizione detritica);
- erosione di sponda (2016 e 09/2020);
- erosione di fondo – alveo in approfondimento (09/2020);
- erosione superficiale da ruscellamento concentrato;
- idrografia;
- antichi ventagli di esondazione o di rotta;
- paleoalvei;
- depositi residui di terrazzo alluvionale;
- dossi fluviali (da P.S.C. Bologna).

Ø Forme di origine antropica, quali:

- arginature con finalità idrauliche (specie lungo il tragitto del Fiume Reno);
- depressioni antropiche (residui di scavi e/o della lavorazione di inerti);
- aree ed ambiti di cava (da P.A.E. e P.I.A.E.): perimetrazioni, terrazzi morfologici residuali di origine antropiche, scarpate morfologiche;
- impianti di lavorazione degli inerti (da PIAE 2013);
- rilevati stradali e ferroviari e altri riporti principali;
- aree urbanizzate (da Città metropolitana di Bologna);
- reticolo idrografico coperto (da P.S.C. Bologna);
- discariche di rifiuti solidi urbani;
- laghi e specchi d'acqua artificiali.

### 5.6.1 Carta dei vincoli e pericolosità idraulica dell'area di intervento

La Planimetria dei Vincoli e della pericolosità idraulica è stata redatta cartografando i dati disponibili *on-line* ed elaborati dagli Enti Pubblici competenti.

Nella fattispecie si tratta di:

- documentazione dell'Autorità di Bacino Reno: PSAI - Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico in scala 1:5000, in variante attraverso il PGRA - Piano Coordinamento Gestione Rischi Alluvioni in scala 1:25000;
- documentazione del Servizio Geologico Regione Emilia Romagna: cartografie geomorfologiche regionali, in scala 1:250.000,
- documentazione della Città Metropolitana di Bologna ed ex Provincia di Bologna: PTCP - Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale, cartografie del PTM - Piano Territoriale Metropolitan, in scala 1:25000;
- documentazione dei Comuni di Bologna (BO) e di San Lazzaro di Savena (BO): PSC - Piani Strutturali Comunali, in scala 1:5000.

Gli elementi riportati in cartografia rappresentano i risultati ottenuti dalla modellazione idraulica svolta dagli enti (attraverso il rischio idraulico e l'assetto della rete idrografica) che hanno poi portato alla definizione delle fasce di tutela fluviale.

Complessivamente si distinguono i seguenti elementi:

- alveo attivo;
- aree ad alta probabilità di inondazione;
- fasce di pertinenza fluviale;
- zone di rispetto pozzi di emungimento acquedottistico;

- fasce di tutela fluviale;
- vincoli beni architettonici.

Sono inoltre stati cartografati gli scenari di pericolosità idraulica del reticolo principale definiti nel P.G.R.A.

L'intervento progettuale, come accennato nell'inquadramento geomorfologico, attraversa trasversalmente le morfologie fluviali presenti nella pianura bolognese. A partire da ovest il Passante di Bologna interseca il Fiume Reno; nell'intorno di questa intersezione il piano stralcio vigente definisce Alveo Attivo l'area contenuta tra gli argini artificiali, per la zona di pianura seguono aree allungate, grossomodo simmetriche rispetto all'asse del fiume definite di Pertinenza Fluviale (fig.5-17).

Relativamente agli scenari di pericolosità alluvionale, nell'alveo del Reno sono indicate le alluvioni frequenti (P3) mentre nelle aree di pianura circostante quelle poco frequenti (P2) e, in subordine, quelle rare (P1), diversificate rispettivamente in sinistra ed in destra idrografica.

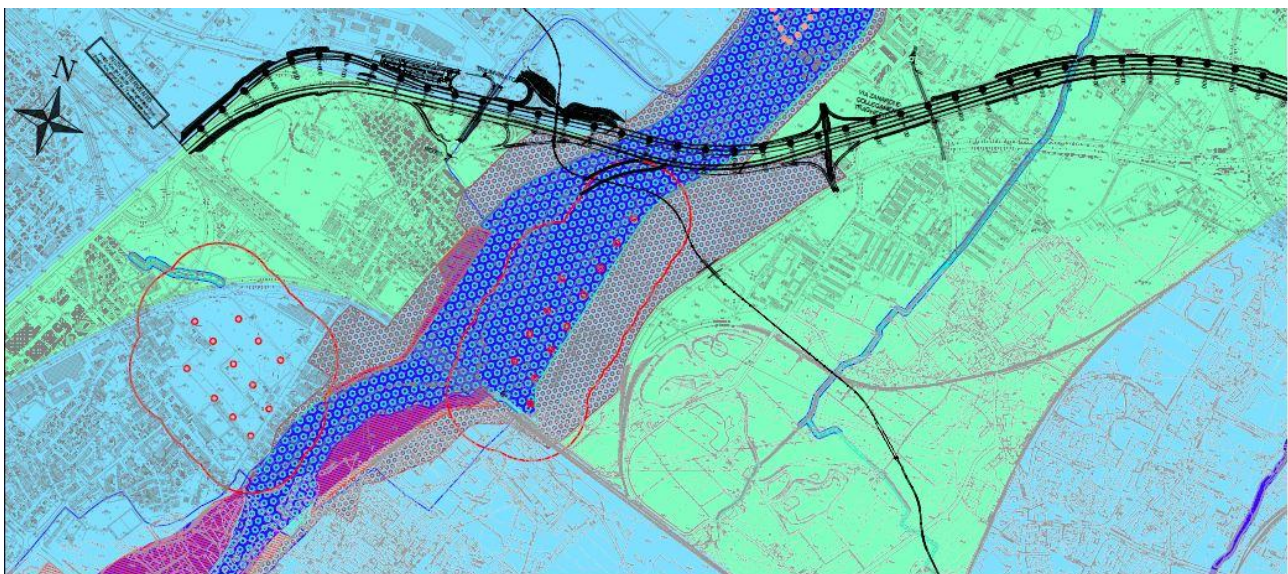


Figura 5-49 - Passante di Bologna: attraversamento del F. Reno (modif. Planimetria dei Vincoli e della Pericolosità idraulica)

Proseguendo verso est, viene intersecato il cosiddetto Sistema Idraulico Navile-Savena Abbandonato; in questo caso l'Alveo Attivo coincide rispettivamente con la larghezza dei canali artificiali (Navile e Battiferro); mentre le fasce di Pertinenza Fluviale sono più sviluppate in sinistra idrografica probabilmente per il vincolo dato dai rilevati del sistema tangenziale in esercizio. Il modello idraulico individua poi una fascia allungata ubicata principalmente alla sinistra idrografica del Sistema Idraulico stesso, definita ad Alta Probabilità di Inondazione. In aggiunta sono state cartografate anche gli scenari di pericolosità alluvionale; nell'alveo le alluvioni frequenti (P3) mentre nelle aree di pianura circostante quelle rare (P1) e poco frequenti (P2), diversificati rispettivamente sia in sinistra che in destra idrografica.

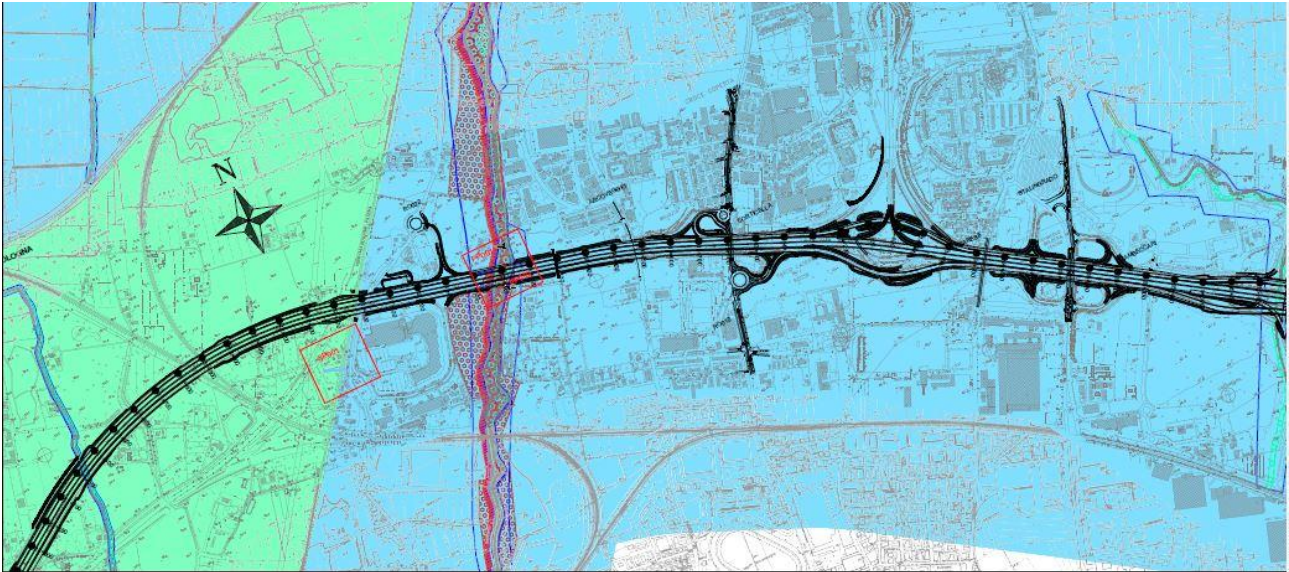


Figura 5-50 - Passante di Bologna: attraversamento Sistema idraulico Navile-Savona Abbandonato (Planimetria dei Vincoli dei Vincoli e della Pericolosità idraulica)

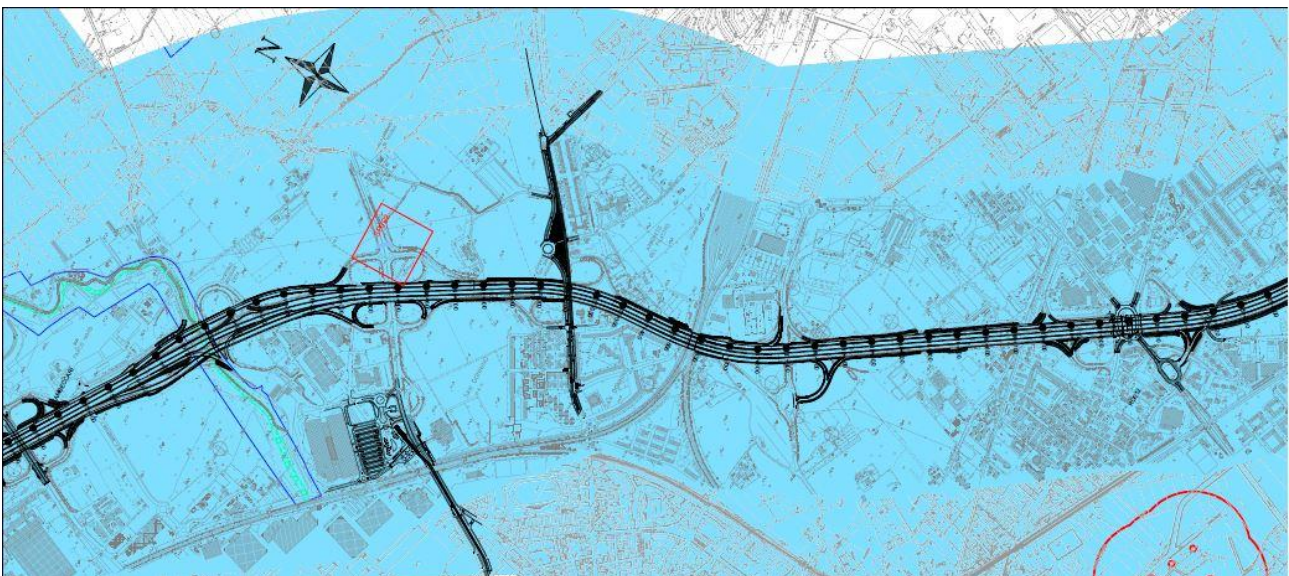


Figura 5-51 - Passante di Bologna: zona più a est dell'attraversamento Sistema idraulico Navile-Savona Abbandonato (modif. Planimetria dei Vincoli dei Vincoli e della Pericolosità idraulica)

Infine, al termine dell'intervento, vengono intersecate le morfologie fluviali del T. Savona (detto Savona Vivo), poco prima della confluenza del T. Idice; nell'intorno di questa intersezione il piano stralcio di riferimento è quello del T. Idice, dove l'Alveo Attivo è coincidente con la larghezza dell'alveo naturale mentre la fascia di Pertinenza Fluviale individuata interessa una parte della morfologia pianeggiante limitrofa specie in destra idrografica; infatti in sinistra idrografica è presente la morfologia collinare (discarica inattiva) compresa tra i rilevati della ferrovia e del sistema tangenziale attualmente in esercizio. Anche in questo caso l'asimmetria del modello dipende dalla presenza dei rilevati, infatti l'area ad Alta Probabilità di Inondazione è molto più ampia specie a valle del rilevato ferroviario. Da ultimo, nell'alveo sono indicate le alluvioni frequenti (P3), mentre nelle restanti aree quelle poco frequenti (P2) e, in subordine, quelle rare (P1).

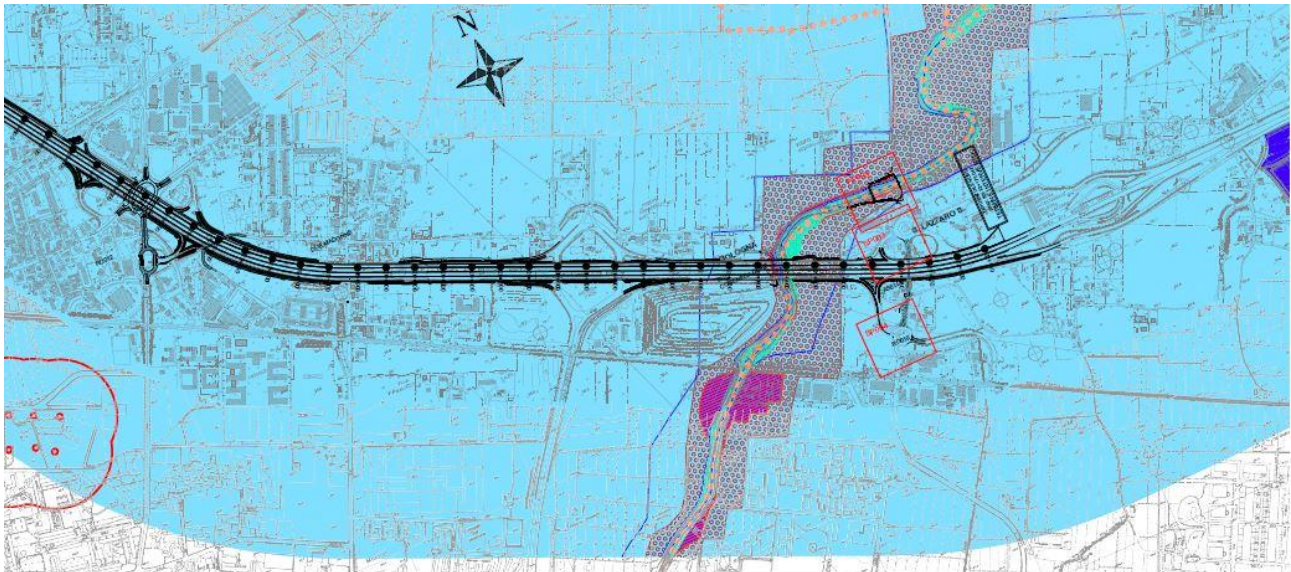


Figura 5-52 - Passante di Bologna: attraversamento del T. Savena (modif. Planimetria dei Vincoli e della Pericolosità idraulica)

Si osserva che nelle cartografie degli Enti sono state indicate anche le fasce di Tutela Fluviale lungo i canali artificiali e lungo il reticolo minore.


Piano Stralcio Assetto Idrogeologico (P.S.A.I.): zonizzazione rischio idraulico da Autorità Distrettuale del Fiume Po - ex AUTORITA' BACINO RENO IT021

-  ALVEO ATTIVO (Art. 15)  
(elemento ripreso dal Piano Territoriale Metropolitano - Bologna, maggio 2021)
-  AREE AD ALTA PROBABILITA' DI INONDAZIONI (ART.16)  
(elemento ripreso dal P.S.C. di Bologna)
-  FASCE DI PERTINENZA FLUVIALE (Art. 18)


Piano Territoriale Metropolitano - Bologna (P.T.M.)

-  ZONA RISPETTO POZZI E SORGENTI (Tavola 2 - approvazione Maggio 2021)

Piano Strutturale Comunale (P.S.C.)

-  FASCE DI TUTELA FLUVIALE

Piano Infraregionale Attività Estrattive (P.I.A.E. 2013 Città Metropolitana Bologna)

-  VINCOLO BENI ARCHITETTONICI

Piano di Coordinamento Gestione Rischi Alluvioni (P.G.R.A.) da Autorità Distrettuale del Fiume Po - ex AUTORITA' BACINO RENO IT021 (elementi ripresi dal Piano Territoriale Metropolitano - Bologna, maggio 2021)

Scenari di Pericolosità Idraulica del Reticolo Naturale Principale




-  ALLUVIONI RARE - PERICOLOSITA' BASSA (P1)
-  ALLUVIONI POCO FREQUENTI - PERICOLOSITA' MEDIA (P2)
-  ALLUVIONI FREQUENTI - PERICOLOSITA' ELEVATA (P3)

Figura 5-53 - Passante di Bologna: legenda Planimetria dei Vincoli (a sinistra), legenda Planimetria della Pericolosità idraulica (a destra).

## 5.7 ASPETTI LEGATI ALLA SUBSIDENZA

L'abbassamento del suolo può essere legato a cause naturali, quali i processi tettonici, i movimenti isostatici, le trasformazioni chimico-fisiche (diagenesi) dei sedimenti o l'oscillazione del livello di falda. Tuttavia anche l'attività antropica può influenzare in modo considerevole il fenomeno o addirittura determinarne l'innesco: in tal senso rientra tra le cause più diffuse l'eccessivo sfruttamento delle falde acquifere. L'entità dell'abbassamento è funzione anche della natura dei terreni: in particolare i materiali a granulometria fine sono più suscettibili al fenomeno a causa di una loro maggiore compressibilità.

Relativamente a tale problematica, l'ARPA dell'Emilia Romagna (ARPAE), in collaborazione con l'Università di Bologna, a partire dal 1997 ha centralizzato l'insieme delle informazioni disponibili.

Nel biennio 1997-1998 - a partire dal vasto patrimonio di capisaldi esistenti e sulla scorta delle esperienze precedentemente maturate - è stata progettata e realizzata una rete regionale di monitoraggio costituita, in particolare, da una serie di livellazione geometrica di alta precisione con oltre 2300 capisaldi e da una maglia di circa 60 punti GPS. La rete, nel suo complesso, è stata misurata per la prima volta nel 1999.

E' stato così possibile realizzare la prima carta a isolinee di velocità di abbassamento del suolo relativa al periodo 1970÷1999, che costituisce il primo tentativo di restituire un quadro complessivo dei movimenti verticali del suolo sull'intera area di pianura della regione. Tale rappresentazione, tuttavia, è risultata inevitabilmente lacunosa, sia per l'aggiornamento dei dati sia per la spiccata disomogeneità dovuta alla diversa copertura spaziale e temporale dei dati stessi.

Le misure sono state ripetute nel 2002 utilizzando la rete GPS, ragion per cui l'aggiornamento delle conoscenze sui movimenti del suolo per il periodo 1999÷2002 è risultato inevitabilmente parziale.

Nel biennio 2005÷2007, ARPAE ha realizzato l'aggiornamento delle conoscenze geometriche relative al fenomeno della subsidenza, tramite l'interazione della livellazione geometrica di alta precisione di un sottoinsieme della rete regionale, e l'analisi interferometrica di dati radar satellitari con tecnica "PSInSARTM".

I risultati ottenuti hanno consentito di elaborare per la prima volta un quadro sinottico di dettaglio del fenomeno della subsidenza a scala regionale, acquisendo un'informazione molto più diffusa e capillare rispetto al rilievo terrestre.

Accedendo al sito on-line dell'ARPAE è possibile visionare ad una scala di maggior dettaglio le isocinetiche e relativa legenda riferibili ai periodi 2006-2011 e 2011-2016, sia per l'intero areale di pianura emiliano romagnola, sia con riferimento all'areale in esame.

A scala generale si osserva che l'abbassamento del terreno in Emilia Romagna, sia esso imputabile a cause naturali o ad attività antropiche legate all'estrazione di fluidi del sottosuolo (acqua e idrocarburi), ha visto negli ultimi anni un miglioramento apprezzabile: circa il 18% del territorio di pianura mostra una sensibile riduzione del fenomeno; la situazione resta stabile rispetto al precedente rilievo (2006-2011) per le aree rimanenti.

Con particolare riferimento all'area di interesse del Passante, di seguito sono illustrate le carte delle isocinetiche riferite ai diversi periodi di osservazione.

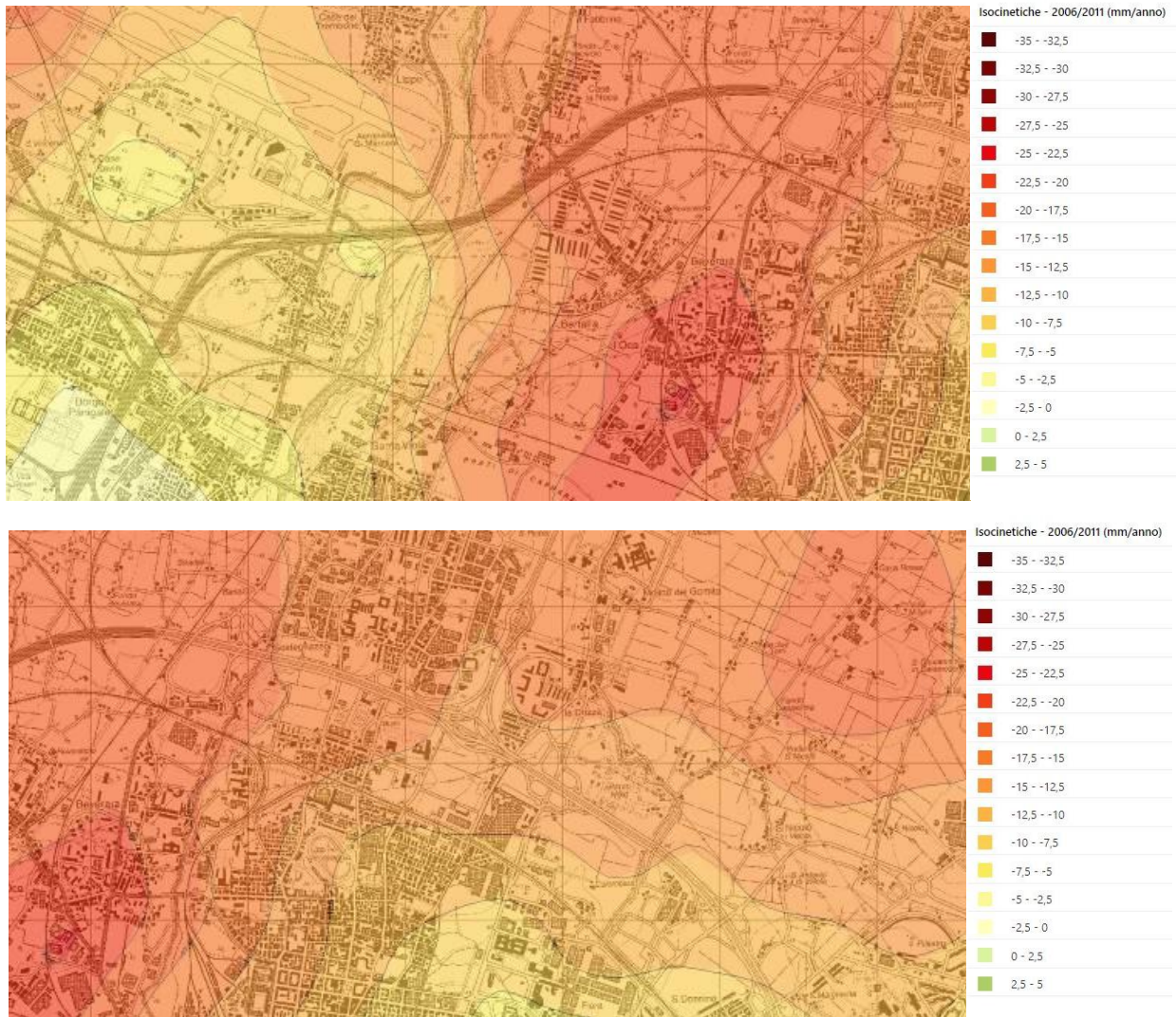


Figura 5-54- Isocinetiche relative al periodo 2006-2011.

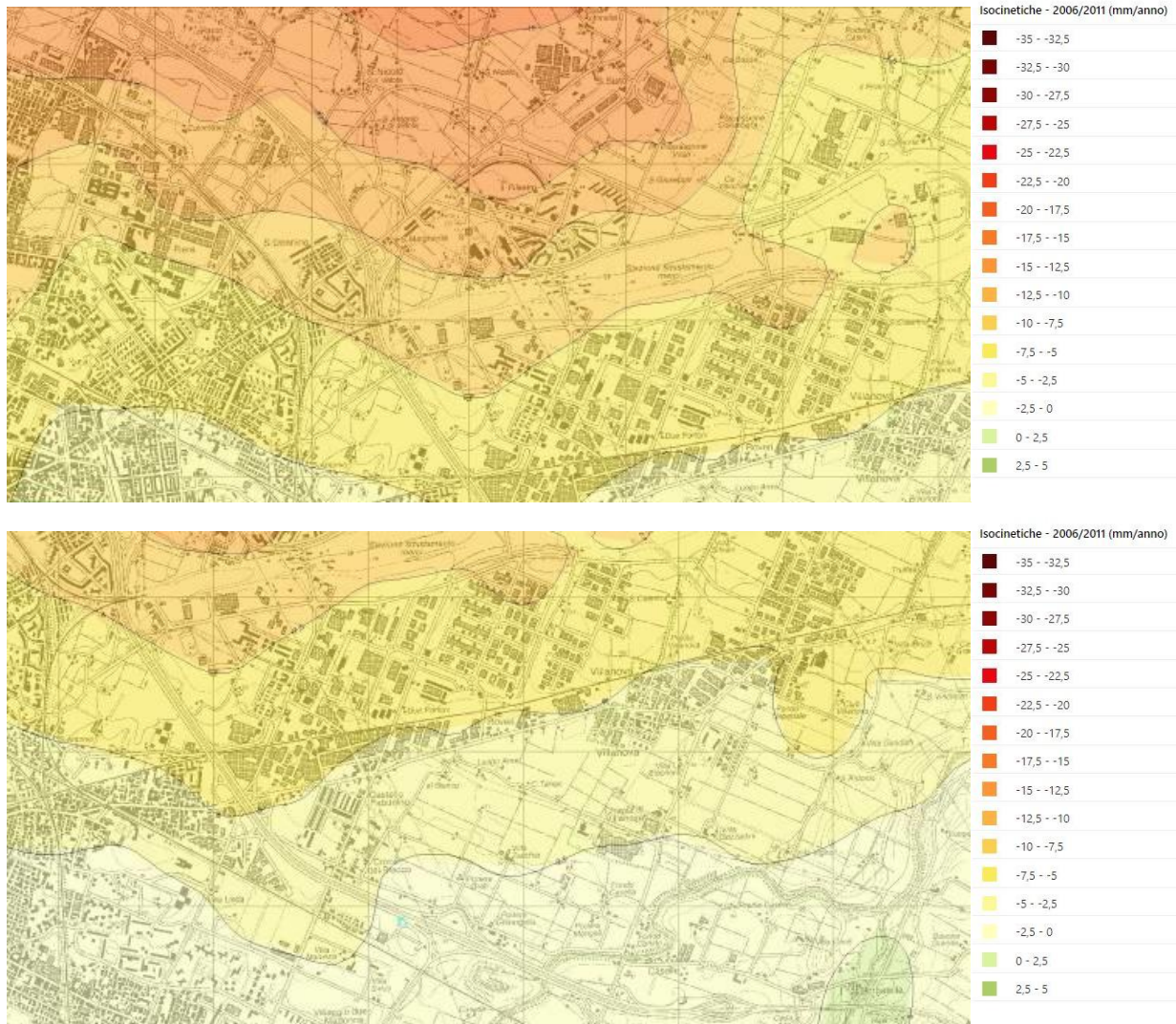


Figura 5-55 - Isocinetiche relative al periodo 2006-2011.



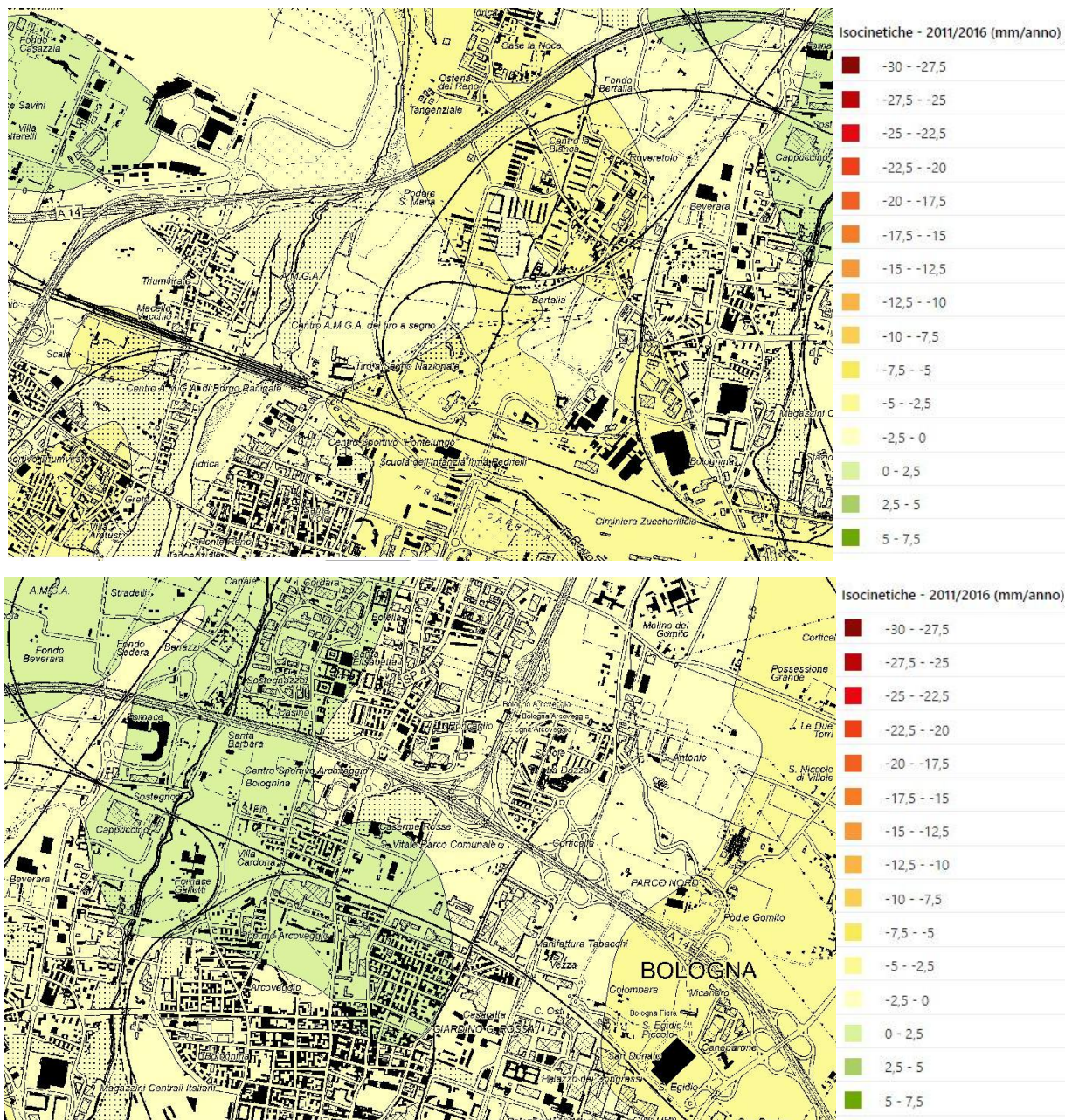


Figura 5-56 - Isocinetiche relative al periodo 2011-2016.



Figura 5-57 - Isocinetiche relative al periodo 2011-2016.

In sintesi si può osservare, procedendo lungo la tratta di intervento da Ovest a Est, che la subsidenza inerente il periodo 2011-2016 presenta le maggiori criticità nel tratto successivo all'attraversamento sul Reno e per c.a. 1km (subsidenza compresa tra -5 e -2,5mm/anno), e nel tratto successivo all'uscita n°7-7Bis della Tangenziale fino a poco prima dell'uscita n°12 (subsidenza compresa tra -5 e -2,5mm/anno); si evidenzia che quest'ultimo tratto è bordato da limitati areali a maggiore subsidenza (compresa tra -7,5 e -5mm/anno).

In riferimento alle principali opere connesse al potenziamento e ricadenti nel Lotto 1, per la subsidenza inerente il periodo 2011-2016 si può osservare quanto segue:

- Opera SP001: subsidenza compresa tra -2,5 e 0 mm/anno;
- Opera SP002: subsidenza compresa tra -5 e -2,5 mm/anno;
- Opera SP003: subsidenza compresa tra -2,5 e 0 mm/anno;
- Opera SP004: subsidenza compresa tra -2,5 e 0 mm/anno;
- Opera PP001: subsidenza positiva (innalzamento) compresa tra 0 e 2,5mm/anno;
- Opera PP002: subsidenza positiva (innalzamento) compresa tra 0 e 2,5mm/anno;

Opera PP003: subsidenza compresa tra -2,5 e 0 mm/anno.

## 5.8 SINKOLES

Nella pianura emiliana, a partire dagli ultimi anni '90 si è accentuata la comparsa di localizzati fenomeni di collasso del piano campagna (sinkole").

Si tratta di cavità da decimetriche a metriche che si originano repentinamente a seguito del crollo di piccoli volumi ipogei di dimensioni e geometrie varie, talora ubicati entro i primi 100-150 cm di prof. dal p.c., sino ad arrivare a 2-3 m di prof. dal p.c. (Vettore et al., 2004).

In letteratura, le cause circa la genesi di questi fenomeni vengono associate a:

- Ø neotettonica (Pellegrini & Vezzani, 1978);
- Ø degassamento naturale (Bonori et al., 2000);
- Ø suffusione verticale in relazione all'emungimento idropotabile (Lugo Hubp et al., 1999);
- Ø suffusione laterale legata alla incisione delle aste fluviali (Berry, 1970).

Sul portale del Servizio Geologico Nazionale (ISPRA) è pubblicato il Database Nazionale Sinkhole, il quale non evidenzia alcun fenomeno di questa natura nei pressi della zona di interesse progettuale, bensì nella sola area pedemontana riconducibile al Parco dei Gessi Bolognesi:

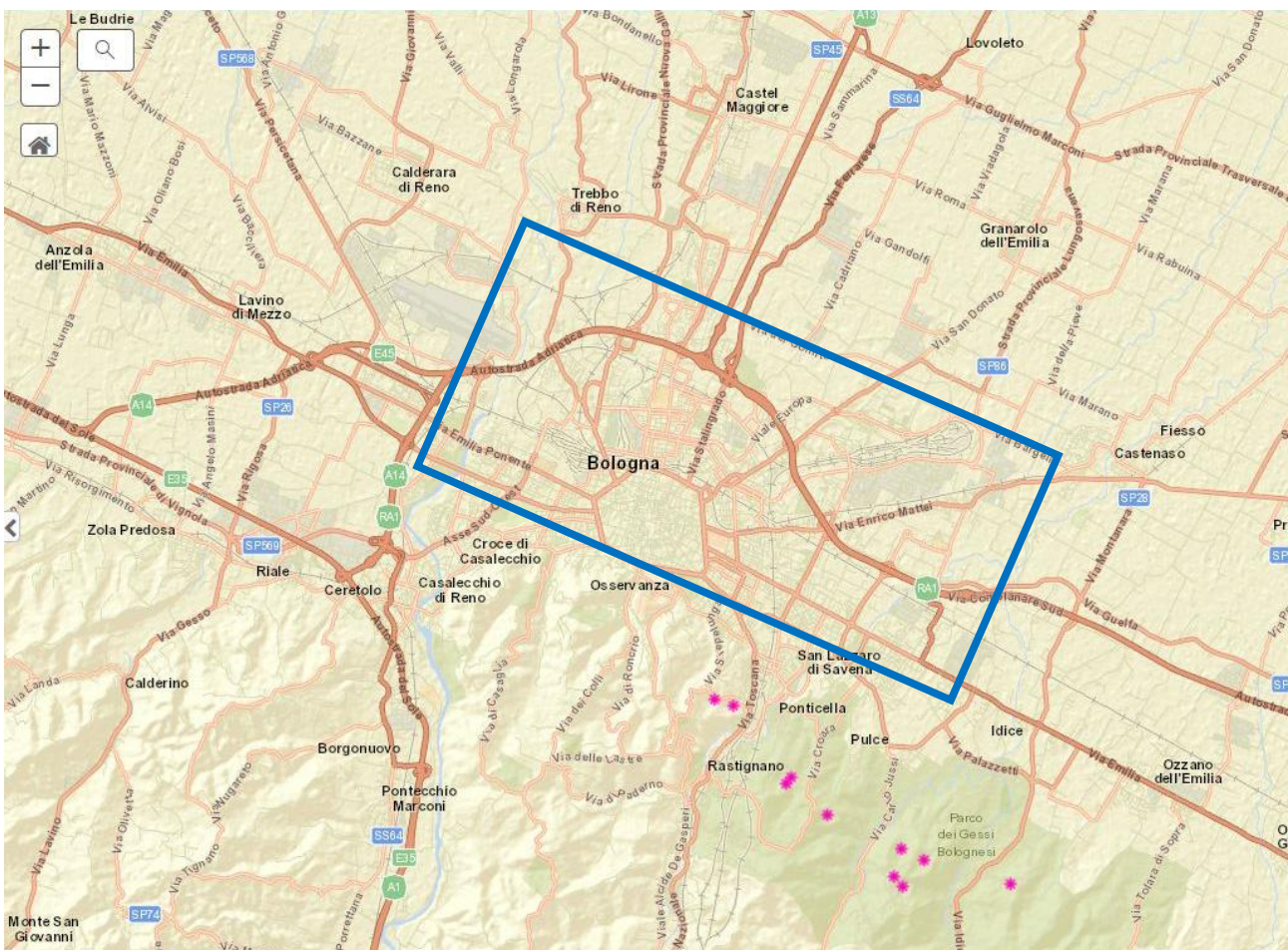


Figura 5-58 - Distribuzione dei sinkhole (punti rosa) a sud/sud-ovest dell'area di interesse (in colore blu) - APAT - <http://sgi.isprambiente.it/sinkholeweb/viewer/index.html>

E' comunque opportuno segnalare che una recente pubblicazione (*I sinkhole in pianura padana*", 2008) evidenzia fenomeni di questa natura poco più a nord-ovest dell'area di intervento nel comune di Sala Bolognese:



Figura 5-59 - Ubicazione Sinkhole area nord di Bologna; in verde i punti in cui si sono registrati fenomeni di sprofondamento ed in blu l'area di intervento.

## 5.9 PRESENZA DI GAS NEL SOTTOSUOLO

In letteratura, in diverse aree della pianura padana, ed emiliana in particolare, sono noti casi di fuoriuscita di gas disciolti nei sedimenti, anche a modesta profondità.

Generalmente si tratta di produzioni gassose (metano, CO<sub>2</sub>, composti sulfurei, ecc.) connesse alla decomposizione di materiale organico accumulatosi all'interno dei sedimenti a varie profondità; preferibilmente in livelli o intercalazioni granulari contenuti all'interno di sedimenti più fini.

In linea di principio non si può quindi escludere la possibile presenza di accumuli di gas in livelli localizzati del sottosuolo, e potenzialmente interferenti con le opere di fondazione del presente progetto.

Si sottolinea inoltre che nel Geoportale della Regione Emilia Romagna sono raccolte le segnalazioni di fuoriuscite di gas da pozzi per acqua e/o dal terreno. Alcune di queste riguardano anche l'area metropolitana di Bologna.



Figura 5-60 - Fuoriuscite di gas da pozzi per acqua e/o dal terreno (da Geoportale RER)

## 6 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Nel sottosuolo della Pianura Padana e sul relativo margine appenninico sono stati riconosciuti tre differenti Gruppi Acquiferi separati tra loro da barriere di permeabilità di estensione regionale - informalmente denominati "A", "B" e "C" - costituenti le Unità Idrostratigrafiche fondamentali: al loro interno sono riconoscibili diverse unità idrostratigrafiche secondarie denominate "Complessi acquiferi" (vedi Fig. 4-2).

Il gruppo acquifero "A", di pertinenza per il presente studio, è rappresentato dal Sistema Emiliano - Romagnolo Superiore ("AES"), costituito a sua volta da complessi idrogeologici in cui si concentrano i prelievi idrici nella pianura emiliano - romagnola e riconducibili a:

- ∅ conoidi alluvionali appenniniche;
- ∅ pianura alluvionale appenninica;
- ∅ pianura alluvionale padana.

Le conoidi si possono differenziare sulla base del volume dei depositi grossolani presenti, suddividendole in conoidi maggiori, conoidi intermedie e conoidi minori.

La distribuzione di tali corpi sedimentari nel sottosuolo è schematicamente rappresentata nella sezione seguente, che attraversa tutta la pianura da sud a nord, ovvero dal margine appenninico - che separa gli acquiferi montani da quelli di pianura – sino al Fiume Po.

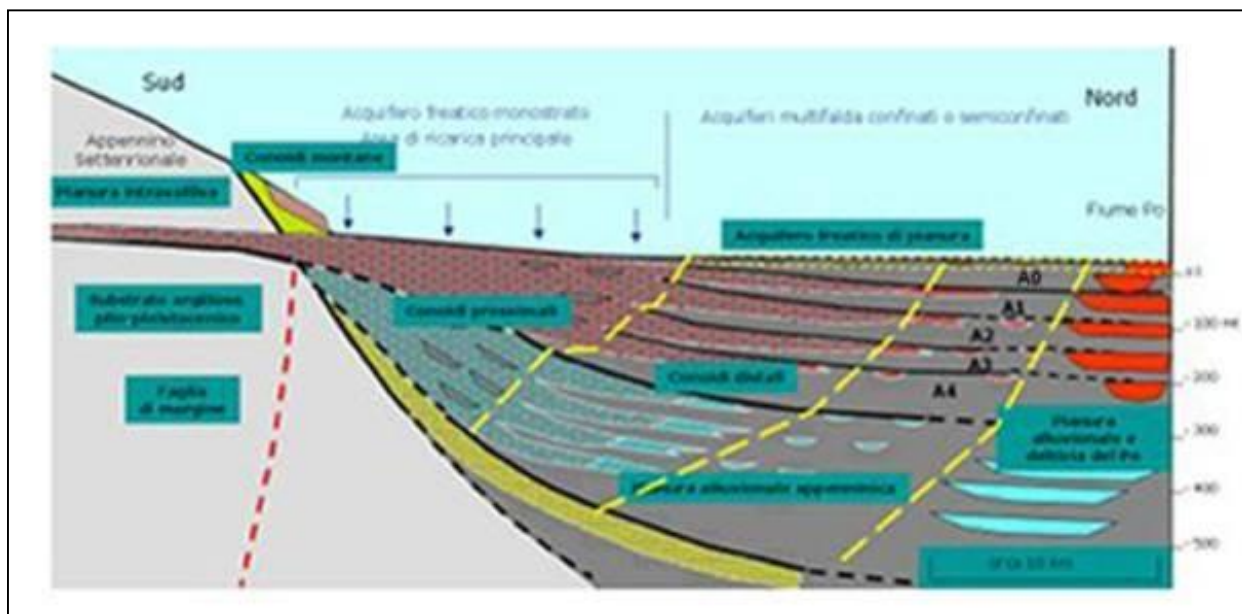


Figura 6-1 - Schema della struttura dei Complessi Acquiferi della Pianura Emiliano-Romagnola.

Il Gruppo Acquifero "A", nel quale la circolazione idrica è legata alla disposizione dei corpi permeabili ghiaioso-sabbiosi, è ulteriormente suddivisibile in cinque Complessi Acquiferi riferibili ad altrettante sequenze deposizionali elementari, identificati dall'alto verso il basso con le sigle da "A0" ad "A4" e corrispondenti ai più recenti subsistemi quaternari compresi, sempre dall'alto verso il basso, tra "AES8" ad "AES4" (figura seguente).

| Ricci Lucchi<br>et al.<br>(1982) | Di Dio<br>et al.<br>(1997)             | RER & ENI-AGIP (1998)<br>RL & ENI-Div.AGIP (2002)<br>Molinari et al. (2007) | Carta Geologica<br>d'Italia<br>in scala 1:50.000 |                                  |                |                |
|----------------------------------|--|---|--|----------------------------------|----------------|----------------|
|                                  |  | COMPLESSI ACQUIFERI   | LINEA<br>STRATIGRAFICHE                          |                                  |                |                |
| QUATERNARIO CONTINENTALE (Qc)    | SUPERSISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO        | GRUPPO ACQUIFERO A  | A0   | Subsistema di<br>Ravenna         | SISTEMA PADANO |                |
|                                  |  |   | A1   | Subsistema di<br>Villa Verucchio |                |                |
|                                  |  |   | A2   | Subsistema di<br>Bazzano         |                |                |
|                                  |  |   | A3   | Subsistema di<br>Torre Stagni    |                |                |
|                                  | A4                                     | Subsistema di<br>Liano  | SUPERSISTEMA PADANO                              |                                  |                |                |
|                                  | SISTEMA E-R<br>INFERIORE               | GRUPPO ACQUIFERO B  | B1   | Sistema<br>E-R<br>Inferiore      |                | SISTEMA PADANO |
|                                  |  |   | B2   |                                  |                |                |
|                                  |  |   | B3   |                                  |                |                |
| B4                               |  |   |  |                                  |                |                |
| QUATERNARIO MARINO (Qm)          | SUPERSISTEMA DEL<br>QUATERNARIO MARINO | GRUPPO ACQUIFERO C  | C1   | Sabbie di Imola                  |                |                |
|                                  |  |   | C2   | Argille Azzurre                  |                |                |
|                                  |  |   | C3   |                                  |                |                |
|                                  |  |   | C4   |                                  |                |                |

Figura 6-2 - Corrispondenza tra Gruppo Acquifero e unita stratigrafiche.

Il Gruppo Acquifero "A" è il più superficiale ed è anche quello più esteso (sia in affioramento che nel sottosuolo) ed è quindi il più sfruttato, nonché quello interessato dallo studio oggetto della presente relazione.

Il Subsistema di Ravenna ("AES8") trova corrispondenza nel complesso acquifero più superficiale "A0" ed è quello interferente con l'opera in oggetto.

Il modello idrogeologico dell'area in studio è rappresentato da una serie di acquiferi sovrapposti e più o meno separati tra loro da setti sostanzialmente impermeabili o poco permeabili.

Gli acquiferi della conoide del Fiume Reno appartengono alla falda superficiale di Bologna che assieme a quella profonda costituisce il sistema idrogeologico dell'area di margine appenninico.

La conoide è costituita da depositi ghiaiosi e suoli mediamente più o meno permeabili a seconda della granulometria. Le suddette zone di conoide costituiscono dunque aree di ricarica temporanea o stagionale per infiltrazione di acque superficiali all'interno dei depositi profondi.

Le falde più superficiali sono captate tramite i pozzi delle principali centrali acquedottistiche ("Borgo Panigale" e "Tiro a Segno per il Fiume Reno"), risentendo notevolmente degli emungimenti come, del resto avviene in tutto il territorio a causa della presenza di numerosi pozzi idrici di diverso utilizzo (potabile, agricolo ed industriale).

Le aree a maggior depressione piezometrica risultano essere comunque in corrispondenza delle citate centrali di pompaggio, mentre le zone di ricarica degli acquiferi coincidono con i settori apicali delle conoidi e con le zone di dispersione in alveo da parte dei corsi d'acqua.

Per informazioni dettagliate di natura idrogeologica riguardanti l'area di intervento, si rimanda agli specifici elaborati allegati al presente progetto.

Si anticipa comunque la presenza di una falda freatica contraddistinta da oscillazioni stagionali tal da renderla interferente con le opere.

## 7 ELEMENTI DI SISMICA

I paragrafi seguenti riportano una descrizione della sismicità storica del territorio esaminato ed un inquadramento riferito agli assetti normativi in vigore.

I dati di base utili per la definizione degli elementi di sismica generale dell'area in esame sono stati ricavati dalle pubblicazioni e data base di settore disponibili presso le Istituzioni ed Enti di riferimento (INGV, ISPRA, Protezione Civile, Regione, prevalentemente su siti web, secondo quanto indicato in bibliografia e richiamato nel testo.

### 7.1 SISMICITÀ STORICA

Con riferimento all'analisi della sismica storica del territorio interessato, vengono esaminati i dati riportati nel DBMI15 (INGV, 2021), che contiene 123.956 dati di intensità, relativi a 3.228 terremoti riferiti a circa 20.162 località di cui 15.343 in territorio italiano. L'ultima versione del Database Macrosismico Italiano è stata rilasciata a gennaio 2021 (ver.3) e aggiorna e sostituisce la precedente, DBMI15 ver. 2.

DBMI fornisce un set di dati di intensità macrosismica relativo ai terremoti italiani nella finestra temporale 1000-2021, le cui fonti provengono da studi di autori ed enti diversi.

I dati di intensità macrosismica (MDP, Macroseismic Data Point) sono raccolti e organizzati da DBMI per diverse finalità. La principale è fornire una base di dati per la determinazione dei parametri epicentrali dei terremoti (localizzazione e stima di magnitudo) per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI). L'insieme di questi dati consente inoltre di elaborare le "storie sismiche" di migliaia di località italiane, vale a dire l'elenco degli effetti di avvertimento o di danno, espressi in termini di gradi di intensità, osservati nel corso del tempo a causa di terremoti.

E' bene precisare che l'Intensità macrosismica (Is) definisce gli effetti di un terremoto sulle costruzioni, sull'uomo e sull'ambiente, classificandoli in dodici gradi attraverso la scala Mercalli: in tale contesto, quindi, l'intensità non rappresenta una misura dell'energia del terremoto, bensì del grado di danneggiamento, che tiene conto, principalmente, non della violenza dello scuotimento ma delle caratteristiche degli edifici e della densità di popolazione.

Si riportano di seguito le tabelle e i grafici inerenti le intensità macrosismiche registrate dal 1174 al 2011 relativamente al Comune di Bologna e dal 1929 al 1987 relativamente al Comune di San Lazzaro sul Savena.

Nelle tabelle e figure seguenti sono riportati, per i suddetti territori comunali, l'elenco dei terremoti registrati.

Per ogni terremoto indicato in tabella vengono riportati i valori di intensità al sito (Is), l'area epicentrale, il numero di osservazioni (nP) l'intensità epicentrale massima (Io) e la magnitudo momento m(Mw); nel grafico rappresentativo dei terremoti storici non sono rappresentati i terremoti con Is inferiore a 3 e quelli classificati NF, ossia "non avvertito".



**Seismic history of Bologna**

**[44.494, 11.343]**

Total number of earthquakes: 204

| Is       | Anno Me Gi Or        | Area epicentrale         | nP        | Io       | Mw          |
|----------|----------------------|--------------------------|-----------|----------|-------------|
| 5-6      | 1174 08 17 18        | Val Padana               | 3         | 4-5      | 3.93        |
| F        | 1194                 | Galeata                  | 3         | 6-7      | 4.86        |
| 6        | 1222 12 25 12 30     | Bresciano-Veronese       | 18        | 7-8      | 5.68        |
| 5-6      | 1280 01 25           | Pianura emiliana         | 2         | 5-6      | 4.4         |
| 5-6      | 1323 02 25 19        | Bologna                  | 2         | 5        | 4.16        |
| 5        | 1348 01 25           | Alpi Giulie              | 89        | 9        | 6.63        |
| F        | 1349 09 09 08 15     | Viterbese                | 9         |          |             |
| 3-4      | 1352 12 25           | Alta Valtiberina         | 7         | 9        | 6.31        |
| 7-8      | 1365 07 25 18        | Bologna                  | 1         | 7-8      | 5.33        |
| 6-7      | 1399 07 20 23        | Appennino modenese       | 6         | 7        | 5.1         |
| 5        | 1400 02 29 19 15     | Bologna                  | 1         | 5        | 4.16        |
| 5        | 1400 03 03 12 15     | Bologna                  | 1         | 5        | 4.16        |
| 5        | 1408 01 03 16 30     | Bologna                  | 2         | 4        | 3.7         |
| 3        | 1414 08 07           | Colline Metallifere      | 8         | 7-8      | 5.7         |
| 7        | 1433 05 04 08 05     | Bologna                  | 4         | 6        | 4.63        |
| NC       | 1455 02 06           | Appennino bolognese      | 2         |          |             |
| 6-7      | 1455 12 20 20 45     | Appennino bolognese      | 5         | 5-6      | 4.4         |
| 2-3      | 1473 05 07 07 45     | Milanese                 | 5         | 4        | 3.7         |
| 3-4      | 1483 08 11 19 40     | Romagna                  | 14        | 8        | 5.69        |
| 3        | 1501 06 05 10        | Modenese                 | 17        | 9        | 6.05        |
| 6-7      | 1504 12 31 04        | Bolognese                | 15        | 6        | 5.02        |
| <b>8</b> | <b>1505 01 03 02</b> | <b>Bolognese</b>         | <b>31</b> | <b>8</b> | <b>5.62</b> |
| 6-7      | 1505 01 20 23 50     | Bolognese                | 11        | 5-6      | 4.76        |
| 5-6      | 1505 01 27 02 40     | Bolognese                | 2         | 5        | 4.16        |
| 5-6      | 1505 04 03 12 25     | Bolognese                | 1         | 5-6      | 4.4         |
| 5-6      | 1505 05 15           | Bolognese                | 1         | 5-6      | 4.4         |
| NF       | 1509 04 19           | Faentino                 | 5         | 7        | 5.02        |
| 5-6      | 1511 03 26 15 30     | Friuli-Slovenia          | 120       | 9        | 6.32        |
| 4        | 1536 08 17 00 05     | Appennino settentrionale | 10        | 6-7      | 5.12        |
| 4-5      | 1542 06 13 02 15     | Mugello                  | 46        | 9        | 6.02        |
| 4        | 1570 11 17 19 10     | Ferrarese                | 58        | 7-8      | 5.44        |
| 3-4      | 1591 07 10           | Romagna                  | 6         | 6-7      | 5.13        |
| 4        | 1624 03 19           | Argenta                  | 18        | 7-8      | 5.43        |
| 4        | 1661 03 21 23        | Modenese                 | 4         | 6-7      | 4.86        |
| 5-6      | 1661 03 22 12 50     | Appennino forlivese      | 79        | 9        | 6.05        |
| 6        | 1666 04 14 18 58     | Bolognese                | 3         | 5        | 4.16        |
| 3        | 1671 06 20 10        | Modenese-Reggiano        | 8         | 7        | 5.27        |
| 3        | 1672 04 14 15 45     | Riminese                 | 92        | 8        | 5.59        |
| 6        | 1688 04 11 12 20     | Romagna                  | 39        | 8-9      | 5.84        |
| 5        | 1695 02 25 05 30     | Asolano                  | 107       | 10       | 6.4         |
| F        | 1703 01 14 18        | Valnerina                | 197       | 11       | 6.92        |
| F        | 1719 01 07           | Italia nord-orientale    | 11        | 5-6      | 4.94        |
| 4        | 1725 10 29 17 40     | Appennino tosco-emiliano | 28        | 8        | 5.67        |
| 4        | 1727 03 09 11        | Mugello                  | 6         | 6-7      | 4.93        |
| 4-5      | 1728 02 04 03        | Bolognese                | 2         | 5-6      | 4.4         |
| 5-6      | 1739 07 31 11        | Bologna                  | 1         | 5-6      | 4.4         |
| 3        | 1740 03 06 05 40     | Garfagnana               | 32        | 8        | 5.64        |
| 6        | 1779 06 01 23 55     | Bolognese                | 8         |          |             |
| 6        | 1779 06 02 07 30     | Bolognese                | 3         |          |             |
| 7        | 1779 06 04 07        | Bolognese                | 12        | 7        | 5.22        |
| 6-7      | 1779 06 10 08 35     | Bolognese                | 10        |          |             |
| 7        | 1779 07 14 19 30     | Bolognese                | 17        |          |             |

|     |                        |                             |      |      |      |
|-----|------------------------|-----------------------------|------|------|------|
| 5   | 1779 08 20 10 50       | Bolognese                   | 2    | 5    | 4.16 |
| 6   | 1779 11 23 18 30       | Bolognese                   | 14   | 5    | 4.7  |
| 6-7 | 1780 02 06 04          | Bolognese                   | 9    | 6-7  | 5.06 |
| 4   | 1780 09 22 13 45       | Forlivese                   | 3    | 4-5  | 3.93 |
| 4   | 1781 04 04 21 20       | Faentino                    | 96   | 9-10 | 6.12 |
| 3   | 1781 07 17 09 40       | Faentino                    | 46   | 8    | 5.61 |
| 4-5 | 1786 12 25 01          | Riminese                    | 90   | 8    | 5.66 |
| 6-7 | 1796 10 22 04          | Emilia orientale            | 27   | 7    | 5.45 |
| 6   | 1801 10 08 07 52 53.00 | Bolognese                   | 6    | 6    | 4.9  |
| F   | 1802 05 12 09 30       | Valle dell'Oglio            | 94   | 8    | 5.6  |
| 4-5 | 1806 02 12             | Reggiano                    | 28   | 7    | 5.21 |
| 4   | 1810 12 25 00 45       | Pianura emiliana            | 33   | 6    | 5.06 |
| 4   | 1811 07 15 22 44       | Modenese-Reggiano           | 19   | 6-7  | 5.13 |
| 4-5 | 1813 09 21 07 45       | Romagna                     | 12   | 7    | 5.28 |
| 2   | 1818 12 09 18 55       | Parmense                    | 26   | 7    | 5.24 |
| 3   | 1828 04 11 22 25       | Appennino umbro-marchigiano | 22   | 5-6  | 4.93 |
| 4   | 1830 01 26 04 30       | Alto Reno                   | 11   | 5    | 4.53 |
| 3   | 1831 09 11 18 15       | Pianura emiliana            | 25   | 7-8  | 5.48 |
| 4-5 | 1832 03 13 03 30       | Reggiano                    | 97   | 7-8  | 5.51 |
| 4   | 1834 02 14 13 15       | Val di Taro-Lunigiana       | 112  | 9    | 5.96 |
| 3   | 1834 07 04 00 45       | Val di Taro-Lunigiana       | 24   | 6-7  | 5.08 |
| 6   | 1834 10 04 19          | Bolognese                   | 12   | 6    | 4.71 |
| 3   | 1843 10 25 03 30       | Mugello                     | 17   | 6-7  | 5.03 |
| NF  | 1846 08 14 12          | Colline Pisane              | 121  | 9    | 6.04 |
| 5   | 1850 09 18 06 20       | Modenese                    | 7    | 5    | 4.16 |
| 3   | 1854 06 16 13 25       | Imola                       | 9    | 5    | 4.57 |
| 4   | 1861 10 16             | Romagna                     | 10   | 6-7  | 5.13 |
| 3-4 | 1864 03 15             | Zocca                       | 13   | 6-7  | 4.84 |
| 4   | 1864 12 11 17 40       | Mugello                     | 9    | 7    | 5.11 |
| 5-6 | 1869 06 25 13 58       | Appennino bolognese         | 18   | 7-8  | 5.43 |
| 3   | 1869 12 13 02 53       | Sassuolo                    | 13   | 5    | 4.57 |
| 3   | 1870 10 30 18 34       | Forlivese                   | 41   | 8    | 5.61 |
| F   | 1871 01 22 21 30       | Pianura romagnola           | 8    | 6    | 4.95 |
| 3-4 | 1873 03 12 20 04       | Appennino marchigiano       | 196  | 8    | 5.85 |
| 5   | 1873 06 29 03 58       | Alpago Cansiglio            | 197  | 9-10 | 6.29 |
| 4-5 | 1873 09 17             | Appennino tosco-ligure      | 64   | 6-7  | 5.26 |
| 4-5 | 1874 10 07             | Imolese                     | 60   | 7    | 4.96 |
| 4-5 | 1875 03 17 23 51       | Costa romagnola             | 144  | 8    | 5.74 |
| NF  | 1875 12 06             | Gargano                     | 97   | 8    | 5.86 |
| 5   | 1878 03 12 21 36       | Bolognese                   | 31   | 6    | 4.84 |
| 5   | 1878 04 05 09 46       | Bolognese                   | 6    | 6    | 4.63 |
| 4   | 1878 06 04 14 40       | Bolognese                   | 13   | 5    | 4.52 |
| 4   | 1878 11 09 17 48 50.00 | Tossignano                  | 8    | 5    | 4.53 |
| 5   | 1879 04 27 04 06       | Appennino tosco-emiliano    | 20   | 7    | 5.03 |
| 6   | 1881 01 24 16 14       | Bolognese                   | 38   | 7    | 5.22 |
| 5   | 1881 01 25 07 06       | Bolognese                   | 18   | 5    | 4.59 |
| 6   | 1881 02 14 09 00 30.00 | Appennino bolognese         | 21   | 6    | 4.77 |
| 3   | 1881 09 28             | Cesena                      | 24   | 6-7  | 4.71 |
| 4   | 1885 02 26 20 48       | Pianura Padana              | 78   | 6    | 5.01 |
| 3   | 1885 12 29             | Alpago Cansiglio            | 47   | 6    | 4.96 |
| F   | 1887 02 23 05 21 50.00 | Liguria occidentale         | 1511 | 9    | 6.27 |
| NF  | 1887 11 14 05 48 05.00 | Fiorentino                  | 101  | 6    | 4.47 |
| 6   | 1889 03 08 02 57 04.00 | Bolognese                   | 38   | 5    | 4.53 |
| 3   | 1889 12 08             | Gargano                     | 122  | 7    | 5.47 |
| NF  | 1890 03 26 20 10       | Bellunese                   | 48   | 6    | 4.82 |
| 3   | 1891 06 07 01 06 14.00 | Valle d'Ilasi               | 403  | 8-9  | 5.87 |
| NF  | 1891 08 01 13 32 22.00 | Lugo                        | 15   | 4-5  | 4.36 |
| 2-3 | 1892 08 09 07 58       | Valle d'Alpone              | 160  | 6-7  | 4.91 |

|     |                        |                          |      |     |      |
|-----|------------------------|--------------------------|------|-----|------|
| NF  | 1892 12 29 13 47 48.00 | Castel del Rio           | 36   | 5-6 | 4.37 |
| 2   | 1894 02 09 12 48 05.00 | Valle d'Ilasi            | 116  | 6   | 4.74 |
| 3   | 1894 11 27 05 07       | Bresciano                | 183  | 6   | 4.89 |
| NF  | 1895 03 23             | Comacchio                | 33   | 6   | 4.65 |
| 4   | 1895 05 18 19 55 12.00 | Fiorentino               | 401  | 8   | 5.5  |
| 2-3 | 1895 08 07 19 49 32.00 | Appennino tosco-emiliano | 84   | 5   | 4.67 |
| NF  | 1895 08 09 17 38 20.00 | Adriatico centrale       | 103  | 6   | 5.11 |
| NF  | 1896 07 08 01 51 28.00 | Porretta Terme           | 17   | 5   | 4.37 |
| 3   | 1897 12 18 07 24 20.00 | Alta Valtiberina         | 132  | 7   | 5.09 |
| 3   | 1898 01 16 13 10       | Romagna settentrionale   | 110  | 6   | 4.59 |
| 4   | 1898 03 04 21 05       | Parmense                 | 313  | 7-8 | 5.37 |
| 3   | 1899 06 26 23 17 22.00 | Valle del Bisenzio       | 138  | 7   | 5.02 |
| 3   | 1901 10 30 14 49 58.00 | Garda occidentale        | 289  | 7-8 | 5.44 |
| NF  | 1902 12 04 16 35 01.00 | Lunigiana                | 36   | 5   | 4.35 |
| 3   | 1904 02 25 18 47 50.00 | Reggiano                 | 62   | 6   | 4.81 |
| 3   | 1904 06 10 11 15 28.00 | Frignano                 | 101  | 6   | 4.82 |
| NF  | 1904 11 17 05 02       | Pistoiese                | 204  | 7   | 5.1  |
| 3-4 | 1908 06 02 22 30       | Frignano                 | 18   | 4-5 | 4.5  |
| 6   | 1909 01 13 00 45       | Emilia Romagna orientale | 867  | 6-7 | 5.36 |
| 3   | 1911 02 19 07 18 30.00 | Forlivese                | 181  | 7   | 5.26 |
| NF  | 1911 09 13 22 29 02.00 | Chianti                  | 115  | 7   | 5.08 |
| 3   | 1913 07 21 22 35       | Appennino romagnolo      | 43   | 5-6 | 4.79 |
| 5   | 1914 10 27 09 22       | Lucchesia                | 660  | 7   | 5.63 |
| 3   | 1915 01 13 06 52 43.00 | Marsica                  | 1041 | 11  | 7.08 |
| 5   | 1916 05 17 12 50       | Riminese                 | 132  | 8   | 5.82 |
| 5   | 1916 08 16 07 06 14.00 | Riminese                 | 257  | 8   | 5.82 |
| 2   | 1918 05 06 08 05       | Reggiano                 | 8    | 5-6 | 4.41 |
| 4-5 | 1918 11 10 15 12 28.00 | Appennino forlivese      | 187  | 9   | 5.96 |
| 4-5 | 1919 06 29 15 06 13.00 | Mugello                  | 565  | 10  | 6.38 |
| 5   | 1920 09 07 05 55 40.00 | Garfagnana               | 750  | 10  | 6.53 |
| NF  | 1920 10 06 22 47       | Mantovano                | 19   | 4-5 | 4.14 |
| 3   | 1922 05 24 21 17 25.00 | Ferrarese                | 7    | 4   | 3.7  |
| 3-4 | 1926 01 01 18 04 03.00 | Carniola interna         | 63   | 7-8 | 5.72 |
| 6   | 1929 04 10 05 44       | Bolognese                | 87   | 6   | 5.05 |
| 4   | 1929 04 11 00 56       | Bolognese                | 10   | 4   | 4.72 |
| 4   | 1929 04 12 00 32       | Bolognese                | 7    | 4   | 4.82 |
| 5-6 | 1929 04 19 04 16       | Bolognese                | 82   | 6-7 | 5.13 |
| 4   | 1929 04 19 22 40       | Bolognese                | 12   | 5-6 | 4.54 |
| 5   | 1929 04 20 01 10       | Bolognese                | 109  | 7   | 5.36 |
| 5   | 1929 04 22 08 26       | Bolognese                | 41   | 6-7 | 5.1  |
| 5   | 1929 04 22 14 19       | Bolognese                | 12   | 5-6 | 4.61 |
| 5   | 1929 04 28 19 40       | Bolognese                | 20   | 6   | 4.73 |
| 5   | 1929 04 29 18 36       | Bolognese                | 45   | 6   | 5.2  |
| 4   | 1929 05 01 21 13       | Imolese                  | 3    | 4   | 4.57 |
| 5   | 1929 05 11 19 23       | Bolognese                | 64   | 6-7 | 5.29 |
| 2-3 | 1929 07 18 21 02       | Mugello                  | 56   | 6-7 | 4.96 |
| 3   | 1929 08 17 04 25       | Bolognese                | 10   | 4-5 | 3.89 |
| 4   | 1930 10 24 00 52       | Appennino tosco-emiliano | 12   | 4   | 3.97 |
| 4   | 1930 10 26 07 14       | Appennino tosco-emiliano | 14   | 4   | 4.21 |
| 3   | 1930 10 26 07 31       | Modenese                 | 11   | 4   | 4.12 |
| 2   | 1930 10 30 07 13       | Senigallia               | 268  | 8   | 5.83 |
| 3   | 1931 04 11 01 26       | Faentino                 | 19   | 4-5 | 4.81 |
| 3   | 1931 06 10 17 02       | Modenese                 | 14   | 4   | 4.59 |
| NF  | 1931 12 15 03 23       | Mugello                  | 35   | 6   | 4.62 |
| 3   | 1935 06 05 11 48       | Faentino                 | 27   | 6   | 5.23 |
| 3   | 1936 10 18 03 10       | Alpago Cansiglio         | 269  | 9   | 6.06 |
| 3   | 1939 10 15 14 05       | Garfagnana               | 62   | 6-7 | 4.96 |
| 3-4 | 1951 05 15 22 54       | Lodigiano                | 179  | 6-7 | 5.17 |

|     |                        |                             |      |      |      |
|-----|------------------------|-----------------------------|------|------|------|
| 3   | 1956 04 26 03 00 03.00 | Appennino bolognese         | 89   | 6    | 4.74 |
| 3   | 1960 10 29 00 08 39.00 | Mugello                     | 69   | 7    | 4.91 |
| F   | 1963 07 19 05 46 01.50 | Mar Ligure                  | 412  |      | 5.95 |
| 3-4 | 1964 09 05 21 09       | Appennino tosco-emiliano    | 22   | 5    | 4.35 |
| NF  | 1967 12 09 03 09 56.00 | Adriatico centrale          | 22   |      | 4.36 |
| 4   | 1967 12 30 04 19       | Emilia Romagna orientale    | 40   | 6    | 5.05 |
| 4   | 1971 07 15 01 33 23.00 | Parmense                    | 228  | 8    | 5.51 |
| 3   | 1972 10 25 21 56 11.31 | Appennino settentrionale    | 198  | 5    | 4.87 |
| 4-5 | 1976 05 06 20          | Friuli                      | 770  | 9-10 | 6.45 |
| 2-3 | 1976 09 11 16 35 02.44 | Friuli                      | 40   | 7-8  | 5.6  |
| 4-5 | 1976 09 15 09 21 19.01 | Friuli                      | 54   | 8-9  | 5.95 |
| 3   | 1977 09 16 23 48 07.64 | Friuli                      | 94   | 6-7  | 5.26 |
| 4   | 1978 12 05 15 39 04.00 | Romagna                     | 34   | 4-5  | 4.61 |
| 3   | 1978 12 25 22 53 41.00 | Bassa modenese              | 28   | 5    | 4.39 |
| 3   | 1979 02 09 14 44       | Bergamasco                  | 73   | 6    | 4.78 |
| 3   | 1980 06 07 18 35 01.00 | Garfagnana                  | 102  | 6-7  | 4.64 |
| 3   | 1980 11 23 18 34 52.00 | Irpinia-Basilicata          | 1394 | 10   | 6.81 |
| 3   | 1980 12 23 12 01 06.00 | Piacentino                  | 69   | 6-7  | 4.57 |
| 4   | 1983 11 09 16 29 52.00 | Parmense                    | 850  | 6-7  | 5.04 |
| NF  | 1984 04 29 05 02 59.00 | Umbria settentrionale       | 709  | 7    | 5.62 |
| 2   | 1986 12 06 17 07 19.77 | Ferrarese                   | 604  | 6    | 4.43 |
| 4   | 1987 05 02 20 43 53.32 | Reggiano                    | 802  | 6    | 4.71 |
| F   | 1987 07 11 01 46 52.02 | Bassa Bolognese             | 15   | 5    | 4.2  |
| 4   | 1989 09 13 21 54 01.50 | Prealpi Vicentine           | 779  | 6-7  | 4.85 |
| 2-3 | 1992 04 17 11 59 07.29 | Appennino bolognese         | 56   | 4-5  | 4.11 |
| 4-5 | 1996 10 15 09 55 59.95 | Pianura emiliana            | 135  | 7    | 5.38 |
| 3-4 | 1997 09 26 09 40 26.60 | Appennino umbro-marchigiano | 869  | 8-9  | 5.97 |
| 4   | 1999 07 07 17 16 12.59 | Frignano                    | 32   | 5    | 4.67 |
| NF  | 2000 05 06 22 07 03.78 | Faentino                    | 85   | 5    | 4.08 |
| NF  | 2000 05 08 12 29 56.20 | Faentino                    | 126  | 5    | 4.67 |
| NF  | 2000 05 10 16 52 11.60 | Faentino                    | 151  | 5-6  | 4.82 |
| 5   | 2003 09 14 21 42 53.18 | Appennino bolognese         | 133  | 6    | 5.24 |
| 3   | 2004 11 24 22 59 38.55 | Garda occidentale           | 176  | 7-8  | 4.99 |
| NF  | 2005 07 15 15 17 18.00 | Forlivese                   | 173  | 4-5  | 4.29 |
| 4   | 2008 12 23 15 24 21.77 | Parmense                    | 291  | 6-7  | 5.36 |
| 3   | 2011 07 17 18 30 27.31 | Pianura lombardo-veneta     | 73   | 5    | 4.79 |

**Is:** intensità al sito di interesse; **nP:** numero di osservazioni; **Io:** intensità massima; **Mw:** magnitudo - **NF:** non avvertito

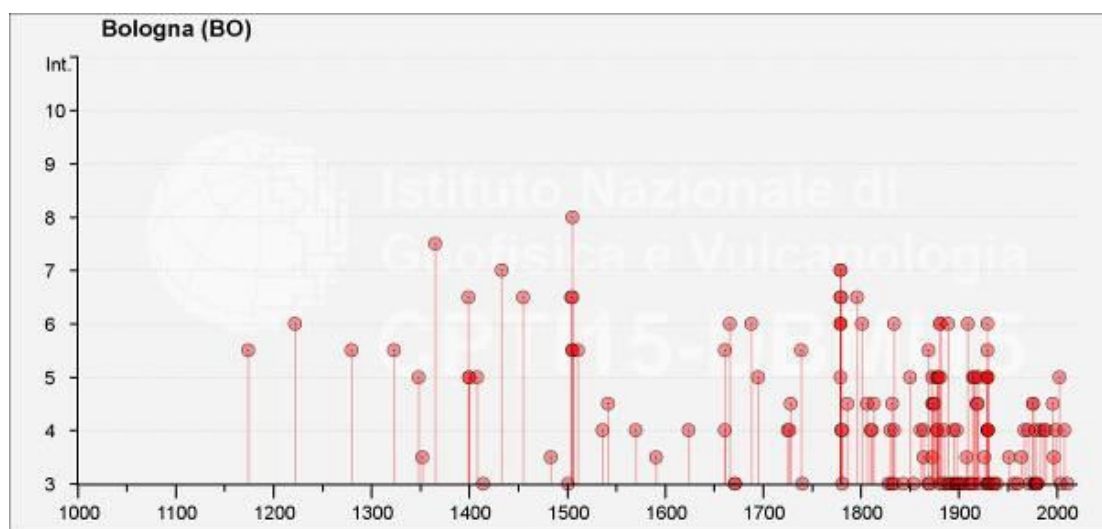


Figura 7-1 - Intensità macrosismiche dal 1000 al 2005 nel Comune di Bologna

Le intensità sismiche massime osservate per il Comune di Bologna hanno raggiunto IS=8 per l'evento del 1505.

Le aree epicentrali sono collocate direttamente nell'area della pianura Emiliana-Romagnola o nell'Appennino Tosco-Emiliano.

|  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|
| <b>Seismic history of S. Lazzaro di Savena</b> |  |  |  |  |  |
| <b>[44.470, 11.408]</b>                        |  |  |  |  |  |
| Total number of earthquakes: 3                 |  |  |  |  |  |

| Is  | Anno Me Gi Or          | Area epicentrale         | nP  | Io  | Mw   |
|-----|------------------------|--------------------------|-----|-----|------|
| 3   | 1929 08 17 04 25       | Bolognese                | 10  | 4-5 | 3.89 |
| 3   | 1972 10 25 21 56 11.31 | Appennino settentrionale | 198 | 5   | 4.87 |
| 3-4 | 1987 05 02 20 43 53.32 | Reggiano                 | 802 | 6   | 4.71 |

**Is:** intensità al sito di interesse; **nP:** numero di osservazioni; **Io:** intensità massima; **Mw:** magnitudo - NF: non avvertito

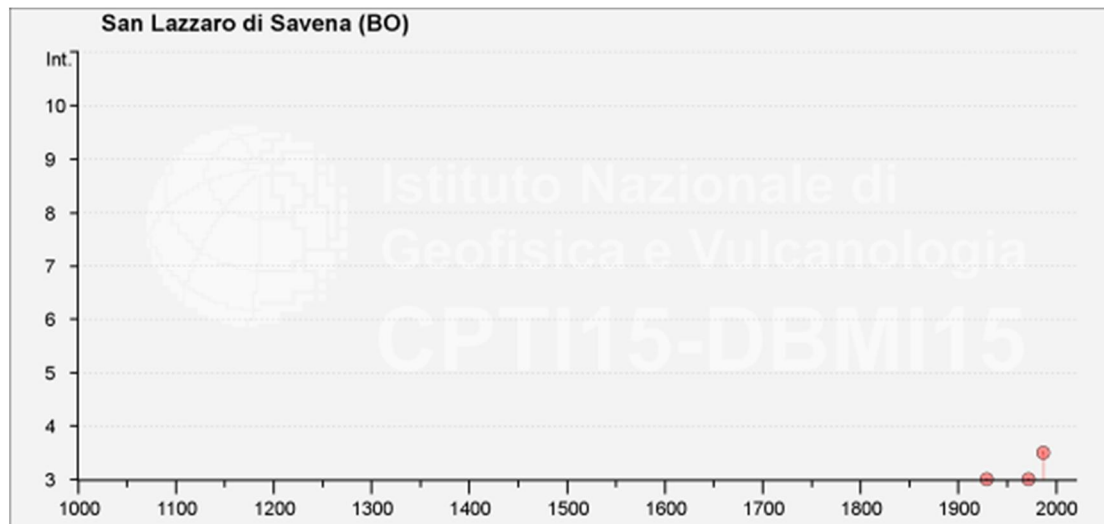


Figura 7-2 - Intensità macrosismiche dal 1000 al 2005 nel Comune di San Lazzaro di Savena

## 7.2 SISMICITÀ STRUMENTALE RECENTE (1985 -2022)

Per quanto concerne i sismi che possono aver interessato l'area di interesse dal 1985 a gennaio 2022, è stato esaminato database ISIDE (INGV, 2021), considerando una sismicità di magnitudo  $\geq 3$  per un'estensione di circa 70-80 km dal sito di interesse progettuale. In tale ambito sono incluse la maggior parte delle aree epicentrali dei terremoti descritti al paragrafo precedente.

Il Data Base, accessibile pubblicamente, individua i parametri dei terremoti localizzati in tempo reale durante il servizio di sorveglianza sismica e i parametri ipocentrali rivisti giornalmente dagli analisti dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (Centro Nazionale Terremoti) pubblicati nel Bollettino Sismico italiano.

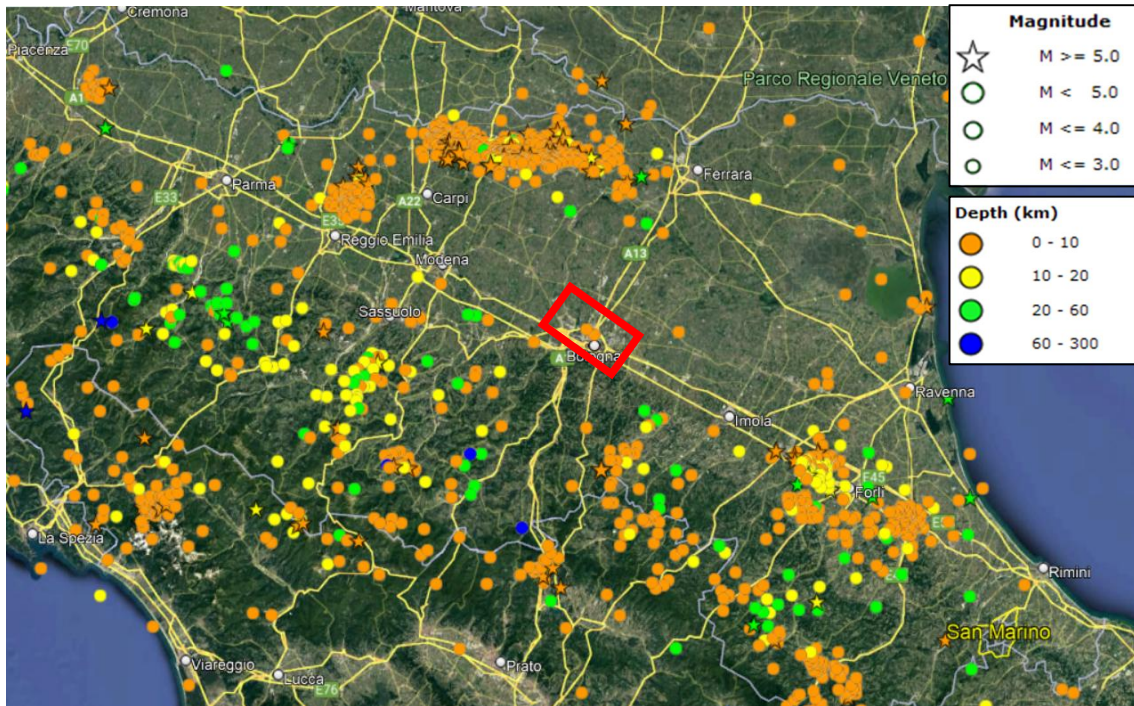


Figura 7-3 - Distribuzione dei terremoti localizzati in tempo reale dall'INGV Centro Nazionale dei Terremoti in un raggio di 70-80 km dal Comune di Bologna (periodo: gennaio 2005-gennaio 2022). Accesso web gennaio 2022.

Dall'analisi dei dati si osservano le seguenti aree sorgenti principali:

- lungo l'arco ferrarese modenese, nel quale assume grande risalto la sequenza sismica del 2012;
- lungo tutto l'arco appenninico, dalla Lunigiana-Garfagnana al Mugello (per poi proseguire verso sud lungo l'Alta Val Tiberina);
- lungo la zona pedecollinare romagnola.

In generale le profondità sono per la maggior parte entro i 10 km e le magnitudini più rappresentate sono < 4.

Nella seguente immagine sono evidenziati i terremoti registrati nelle aree più prossime al tracciato di progetto:

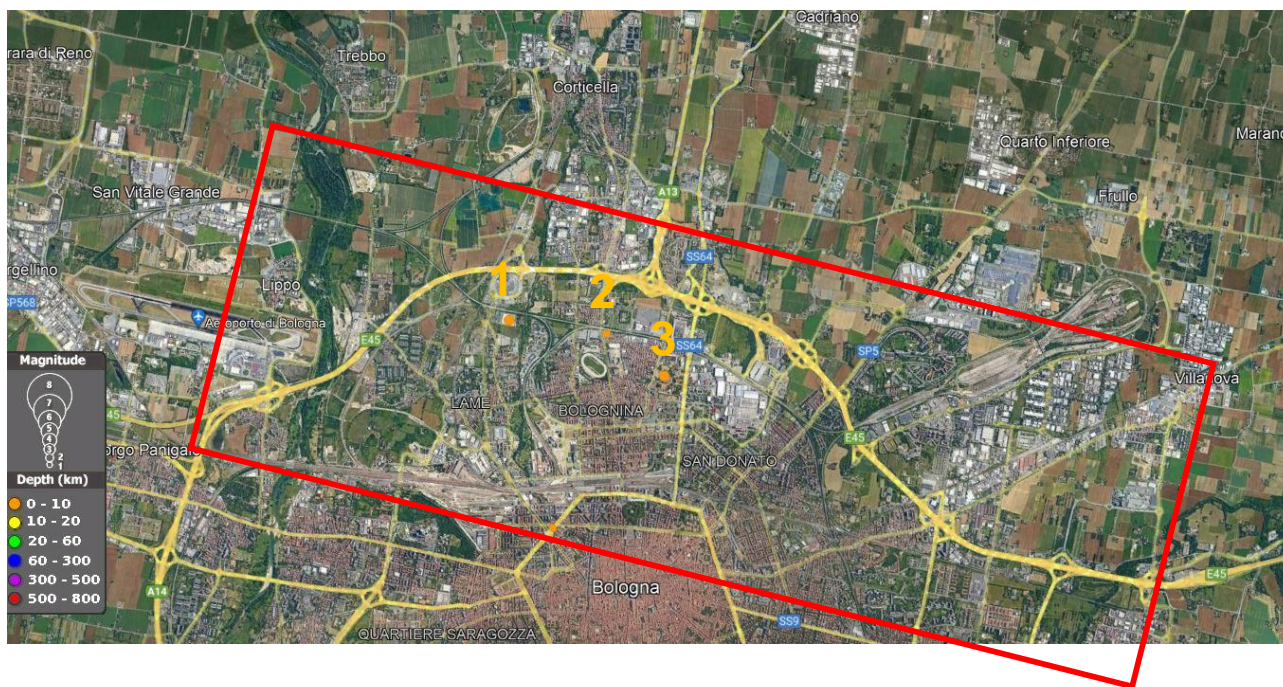


Figura 7-4 - Database ISIDE: dettaglio distribuzione terremoti periodo 1985-2022 (in rosso l'area di interesse).

I tre eventi segnalati più prossimi all'area di intervento hanno le seguenti caratteristiche:

| ID | Magnitudo | Profondità (km) | Data (UTC) |
|----|-----------|-----------------|------------|
| 1  | 3.1       | 5               | 10/09/1986 |
| 2  | 2.9       | 5               | 15/09/1986 |
| 3  | 3         | 5               | 15/09/1986 |

### 7.3 FAGLIE CAPACI (PROGETTO ITHACA)

Il termine "faglie capaci" è utilizzato per descrivere le faglie "sismiche" con indizi di attività negli ultimi 40.000 anni potenzialmente "capaci" di produrre deformazioni in superficie.

La riattivazione di faglie capaci è in grado di produrre fenomeni di neoformazione (ecosismi) che possono formarsi in superficie nelle aree epicentrali, in concomitanza con eventi sismici di intensità elevata, in genere  $\geq$  VIII-IX grado della scala ESI2007.

La presenza di faglie capaci nel territorio oggetto di studio è stata verificata consultando il catalogo delle faglie capaci ITHACA "ITaly HAZard from Capable faults", disponibile on-line all'indirizzo <http://sgi2.isprambiente.it/mapviewer/>

Il data base del Progetto ITHACA, raccoglie tutte le informazioni disponibili riguardo le strutture tettoniche attive in Italia, con particolare attenzione ai processi tettonici che potrebbero generare rischi naturali.

Nella seguente figura si riporta uno stralcio planimetrico della distribuzione delle faglie capaci del Progetto ITHACA relativamente all'areale contenente l'intervento in oggetto.

- ND
- NORMAL
- NORMAL OBLIQUE
- NORMAL OBLIQUE
- OBLIQUE NORMAL
- OBLIQUE NORMAL
- OBLIQUE REVERSE
- OBLIQUE REVERSE
- REVERSE
- REVERSE OBLIQUE
- REVERSE OBLIQUE
- STRIKE SLIP DX
- STRIKE SLIP SX

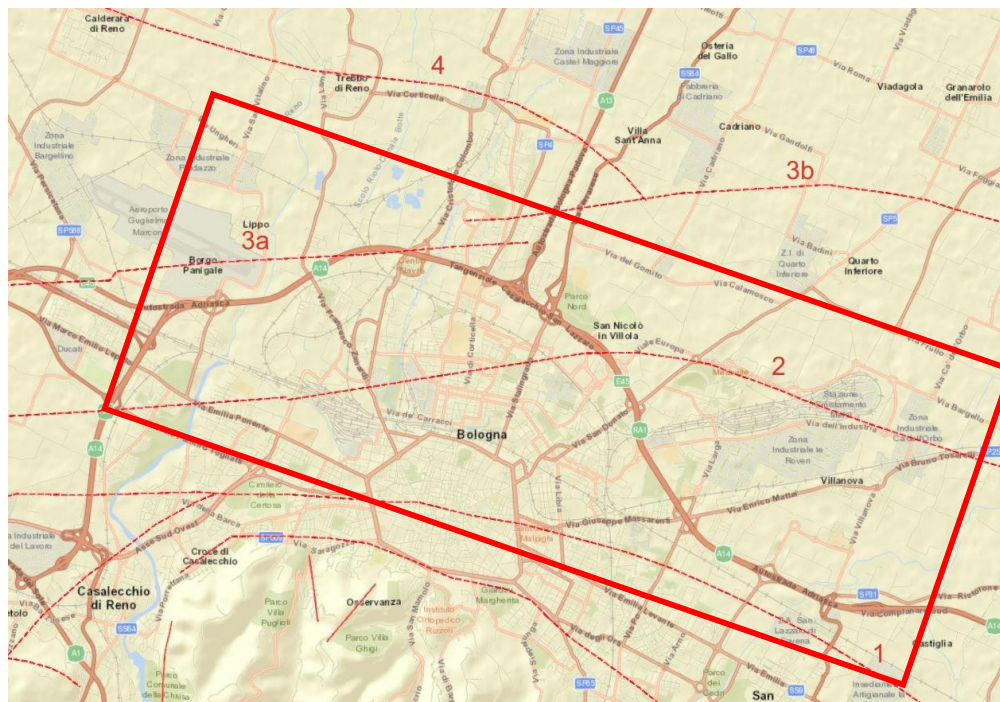


Figura 7-5 - Distribuzione faglie capaci "Progetto ITHACA" (in rosso l'area di intervento)

Dalla figura si evince la presenza, nei pressi del tracciato oggetto di intervento, di quattro faglie capaci (di cui due interferenti con esso), le cui principali caratteristiche vengono di seguito riassunte:

|                               | 1                              | 2                    | 3a                       | 3b                              | 4                   |
|-------------------------------|--------------------------------|----------------------|--------------------------|---------------------------------|---------------------|
| <b>FAULT NAME</b>             | S. Lazzaro di Savena - Bologna | S. Lazzaro - Bologna | Borgo Panigale - Bologna | Castenaso - Bologna             | Corticella - Modena |
| <b>FAULT CODE</b>             | 90589                          | 90588                | 90521                    | 90608                           | 90512               |
| <b>MACROZONE</b>              | 3                              | 3                    | 3                        | 3                               | 3                   |
| <b>REGION NAME</b>            | Emilia Romagna                 | Emilia Romagna       | Emilia Romagna           | Emilia Romagna                  | Emilia Romagna      |
| <b>SYSTEM NAME</b>            | Bologna                        | Bologna arc          | Bologna                  | Bologna - Ravenna thrust system | Modena arc          |
| <b>KINEMATICS</b>             | Reverse                        | Reverse              | Reverse                  | Reverse                         | Reverse             |
| <b>RANK</b>                   | Primary                        | Primary              | Primary                  | Primary                         | Primary             |
| <b>AVERAGE STRIKE</b>         | 100                            | 150                  | 90                       | 85                              | 115                 |
| <b>DIP</b>                    | 45                             | -                    | 0                        | 0                               | 0                   |
| <b>LENGTH (Km)</b>            | 25                             | 19                   | 23                       | 8                               | 15                  |
| <b>DEPTH (Km)</b>             | 0                              | 0                    | 0                        | 0                               | 0                   |
| <b>ACTIVITY RELIABILITY</b>   | Low reliability                | Low reliability      | Low reliability          | Low reliability                 | Low reliability     |
| <b>STUDY QUALITY</b>          | FAIR                           | LOW                  | LOW                      | LOW                             | LOW                 |
| <b>MAX CREDIBLE MAGNITUDE</b> | -                              | 6,6                  | 6,6                      | 6,1                             | 6,4                 |

#### 7.4 STRUTTURE SIMOGENETICHE

Benché le moderne investigazioni della sismotettonica regionale siano iniziate più di 30 anni fa, la conoscenza delle sorgenti sismogenetiche è ancora incerta. Questo dipende soprattutto dal fatto che l'attività tettonica è



collegata ai movimenti di sistemi di faglie cieche, le cui caratteristiche (es. lunghezza del singolo segmento, entità del scivolamento ecc.) non può essere definita solamente attraverso la classica analisi geomorfologica. Molti dati sulle sorgenti sismogenetiche delle Alpi Meridionali derivano dall'applicazione di algoritmi che permettono di definire la geometria della sorgente dai dati puntuali di distribuzione dell'intensità dei terremoti storici.

L'identificazione di tali sorgenti, concisamente definite silenti, permette di definire le aree potenzialmente affette da un alto livello di pericolosità sismica.

La figura seguente evidenzia le aree sismogenetiche prossime alla zona di studio (poligoni color marrone), definite quali proiezione in superficie dei sistemi di strutture sismogenetiche ritenuti attivi, caratterizzabili da un punto di vista geometrico e parametrico in maniera coerente con le sorgenti sismogenetiche incluse (poligoni color arancione chiaro).

Con riferimento al "Database of Individual Seismogenic Sources - DISS 3.3.0" (DISS Working Group 2021, sito web) tracciato in progetto ricade parzialmente all'interno di un'area sismogenetica composta denominata ITCS047 Castelvetro di Modena-Castel San Pietro Terme, e appena a Nord-Est delle sorgenti individuali ITIS103 "Crespellano" e ITIS091 "Casalecchio di Reno".

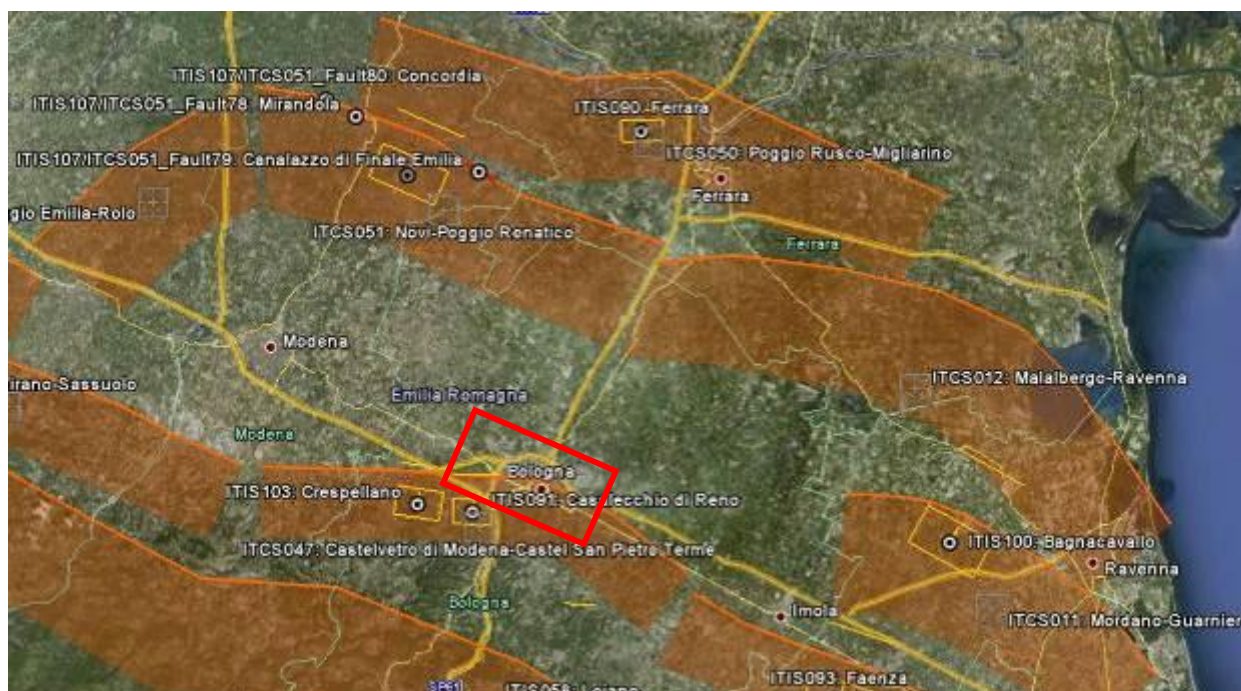


Figura 7-6 - Mappa delle aree sismogenetiche di interesse (Fonte: Database of Individual Seismogenic Sources DISS 3.3.0) (Accesso web gennaio 2022). La codifica utilizzata nel database per identificare le strutture include 4 caratteri e 3 numeri, i primi due caratteri si riferiscono al Paese considerato (IT per Italia); gli altri due caratteri identificano il tipo di dati (IS - Individual Seismogenic Source, CS-Composite Seismogenic Source, DS-Debated Seismogenic Source).

## 7.5 CLASSIFICAZIONE SISMICA

Negli ultimi anni si sono succeduti diversi provvedimenti normativi ed amministrativi per la definizione delle caratteristiche di pericolosità sismica locale.

Dal 1999 al 2003, la classificazione sismica del territorio nazionale era riconducibile alla mappa di classificazione sismica prodotta dal Gruppo di Lavoro (GdL, 1999), istituito dal Servizio Sismico Nazionale su indicazione della Commissione Grandi Rischi della Protezione Civile.

L'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri OPCM 3274/2003 ha rappresentato una prima risposta alla necessità di aggiornare gli strumenti normativi per la riduzione del rischio sismico. Con tale strumento si

sono stabiliti i criteri per l'individuazione delle zone sismiche introducendo la nuova classificazione sismica dei comuni italiani (successivamente integrati e aggiornati dall'OPCM 3519/2006) ed abbandonando così la precedente terminologia di "categorie sismiche".

L'intero territorio nazionale è stato suddiviso in quattro zone sismiche sulla base di un differente valore dell'accelerazione di picco  $a_g$  su terreno a comportamento rigido, derivante da studi predisposti dall'INGV-DPC. Uno dei cambiamenti fondamentali apportati dalla normativa è stata l'introduzione della zona 4; procedendo in questo modo tutto il territorio italiano viene definito come sismico, poiché di fatto, sparisce il territorio "non classificato", che diviene zona 4, nella quale è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica.

|        | Caratteristiche   | Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni ( $a_g$ ) |
|--------|---|---|
| Zona 1 | E' la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti.                                  | $0.25 < a_g < 0,35$   |
| Zona 2 | Nei comuni inseriti in questa zona possono verificarsi terremoti abbastanza forti.                    | $0.15 < a_g \leq 0.25$  |
| Zona 3 | I comuni interessati in questa zona possono essere soggetti a scuotimenti modesti.                    | $0.05 < a_g \leq 0.15$  |
| Zona 4 | E' la meno pericolosa. Nei comuni inseriti in questa zona le possibilità di danni sismici sono basse. | $a_g \leq 0.05$   |

Con la successiva ordinanza OPCM 3519/2006 è stata adottata la mappa di pericolosità sismica di riferimento nazionale (INGV, 2004), e sono state stabilite nuove disposizioni per l'individuazione a livello regionale delle zone sismiche su base probabilistica. I nuovi criteri per la determinazione della classificazione sismica individuano 12 fasce e sono basati, (innovando le disposizioni del precedente OPCM 3274/2003) su valori delle accelerazioni massime al suolo con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferiti a suoli rigidi. Tale classificazione è quindi basata su un'approssimazione dei valori e della distribuzione del parametro  $a_g$  secondo i limiti amministrativi (criterio "zona dipendente").

Nel rispetto degli indirizzi e criteri stabiliti a livello nazionale, le Regioni hanno inoltre riclassificato il proprio territorio in termini di livello di pericolosità, o mantenendo le quattro zone nazionali o adottando tre sole zone (zona 1, 2 e 3) e introducendo, in alcuni casi, delle sottozone per meglio adattare le norme alle caratteristiche di sismicità.

Qualunque sia stata la scelta regionale, a ciascuna zona o sottozona è attribuito un valore di pericolosità di base, espressa in termini di accelerazione massima su suolo rigido ( $a_g$ ). Allo stato attuale, tale valore di pericolosità di base non ha diretta influenza sulla progettazione. Infatti, con l'entrata in vigore delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008 e succ. DM 17/01/2018) la stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto (accelerazione del moto del suolo, intensità al sito, spettro di sito) avviene direttamente per il sito in esame, utilizzando le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (riportato nella tabella 1 dell'Allegato B delle stesse NTC), indipendentemente dai limiti amministrativi comunali (criterio "zona dipendente").

Qualunque sia stata la scelta regionale, a ciascuna zona o sottozona è attribuito un valore di pericolosità di base, espressa in termini di accelerazione massima su suolo rigido ( $a_g$ ).

Di seguito si riporta uno stralcio della mappa di "Classificazione Sismica" pubblicata dalla Protezione Civile.

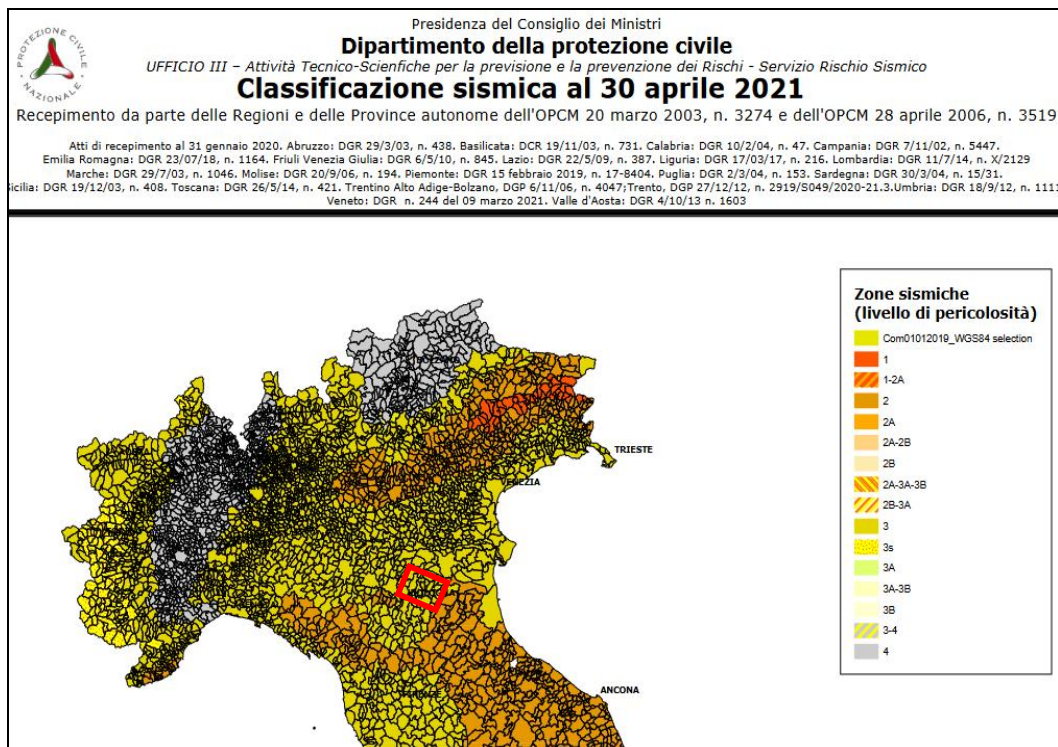


Figura 7-7 - Classificazione Sismica al 2015 (Fonte: Protezione Civile), accesso gennaio 2022

La normativa nazionale è stata recepita dalla Regione Emilia con DGR n°1164 del 23/07/2018 "Aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei comuni dell'Emilia-Romagna". In conformità a tale normativa, i comuni interessati dal progetto ricadono nelle seguenti classi:

| Regione        | Provincia | Codice Istat | Comune                | Classificazione Aprile 2021 |
|----------------|-----------|--------------|-----------------------|-----------------------------|
| Emilia Romagna | Bologna   | 8037006      | Bologna               | 3                           |
| Emilia Romagna | Bologna   | 8037054      | San Lazzaro di Savena | 3                           |

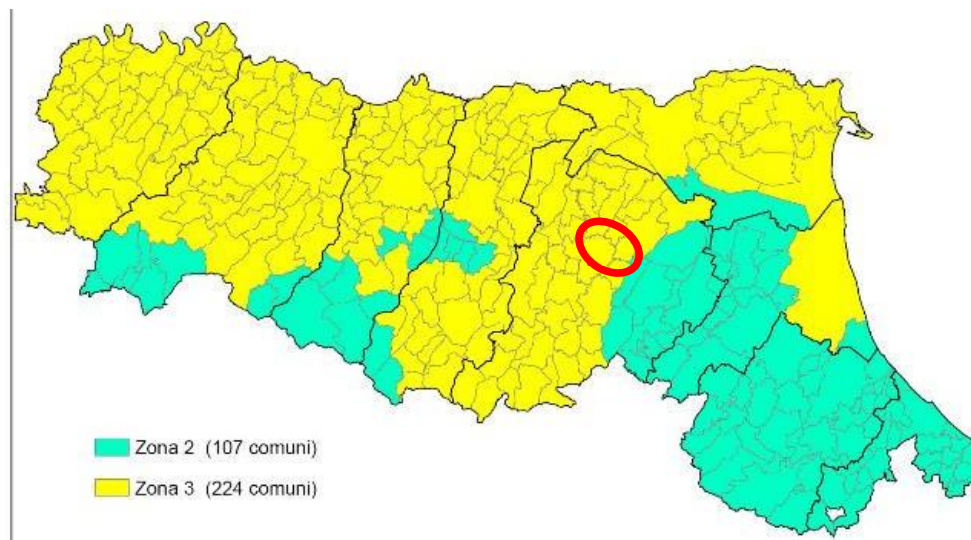


Figura 7-8 - "Aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei comuni dell'Emilia-Romagna" – DGR n° 1164 del 23/07/2018

## 7.6 CARATTERISTICHE SISMICHE DEL SITO DI INTERESSE PROGETTUALE

Allo stato attuale, i valori di pericolosità di base associati alle zone o sottozone definite a scala regionale non hanno diretta influenza sulla progettazione.

Le NTC 2018 stabiliscono infatti che i parametri sismici di progetto ed i relativi spettri di risposta siano calcolati direttamente per il sito in esame, utilizzando le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento associati alla normativa.

La procedura di calcolo ammessa dalla normativa prevede che, attraverso gli allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008 (v. NTC 2018 par.3.2) sia possibile determinare, per il sito di interesse e per differenti periodi di ritorno ( $T_R$ ), i parametri di riferimento del moto sismico in superficie:  $a_g$  (accelerazione orizzontale max al sito di rif.),  $F_0$  (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e  $T_c^*$  (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale), necessari per la successiva definizione degli spettri di risposta elastici del terreno. Successivamente, sulla base della localizzazione geografica del sito di progetto, correlando i suddetti parametri di riferimento con la vita nominale dell'opera e la sua classe d'uso, si giunge al calcolo degli spettri di risposta per i diversi stati limite definiti dalla normativa; ciò al fine di definire gli obiettivi da raggiungere in termini di sicurezza e prestazioni a dell'opera o parte di essa.

Per il calcolo degli elementi suddetti si rimanda agli elaborati geotecnici e strutturali.

In via preliminare, con riferimento al sito di interesse progettuale, e utilizzando la mappa di pericolosità sismica fornita da INGV (<http://esse1-gis.mi.ingv.it>), di seguito si definisce lo scuotimento  $a(g)$  (accelerazione orizzontale massima del suolo secondo OPCM 3519/2006) per uno dei punti della griglia di riferimento (disposti a passo  $0.05^\circ$ ) ad esso più prossimi.

Considerando le seguenti coordinate geografiche rappresentative del luogo in cui si colloca l'area di progetto (punto medio dell'asse del Passante):

Longitudine: 44.5902    Latitudine: 11.3905

Nel suddetto modello di pericolosità sismica (MPS04-S1, INGV), il punto più prossimo all'opera di progetto (nodo ID 16509) ricade nella fascia le cui accelerazioni massime attese (con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni su suoli molto rigidi) sono comprese tra  $0,15 < a_g < 0,175$ .

**Modello di pericolosità sismica del territorio nazionale MPS04-S1 (2004)**  
 Informazioni sul nodo con ID: 16509 - Latitudine: 44.566 - Longitudine: 11.386

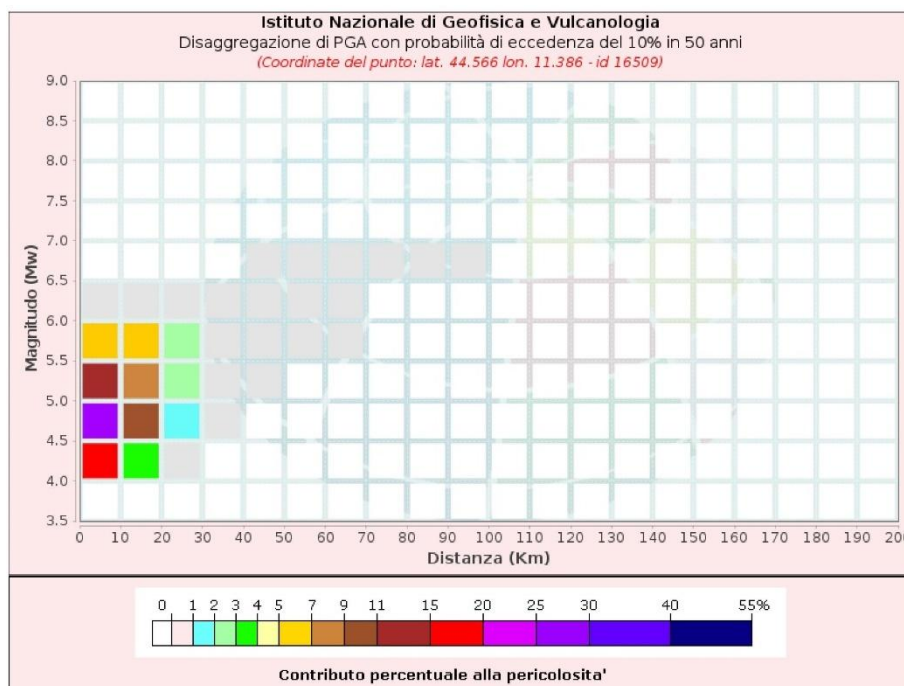
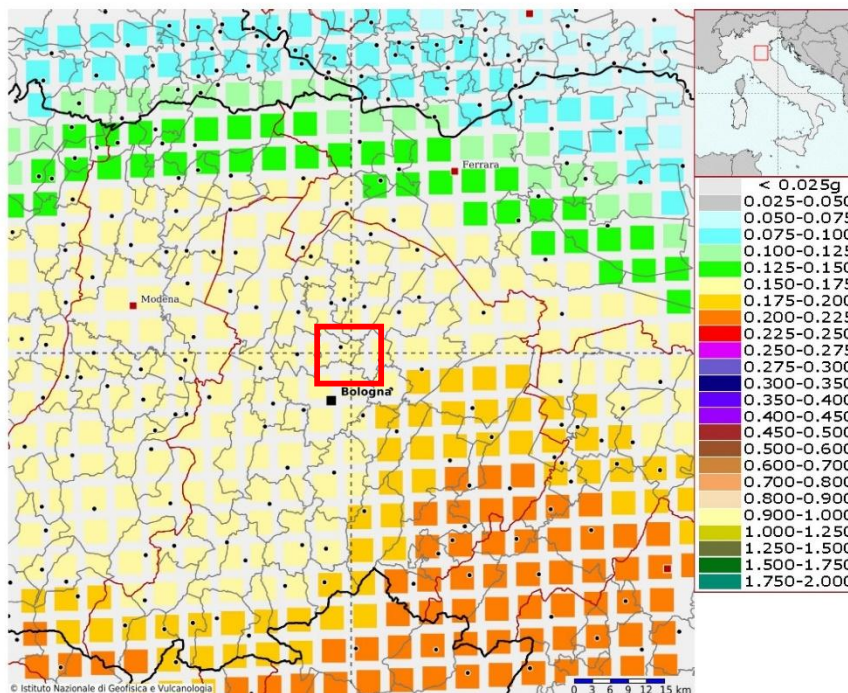


Figura 7-9 - Analisi di disaggregazione di  $a(g)$  con probabilità di superamento del 10% in 50 anni –  $T_r$  1000 anni, secondo la mappa interattiva di pericolosità sismica per l'area di interesse (<http://esse1-gis.mi.ingv.it>)

Secondo quanto risulta dall'analisi di disaggregazione, per distanze epicentrali variabili fino a circa 30 km (e oltre) dal sito di interesse, il contributo percentuale complessivo della pericolosità per ogni classe di Magnitudo vale:

- 19 % per magnitudo (Mw) comprese tra 4.0<M<4.5;
- 38 % per 4.5<M<5.0;
- 26 % per 5.0<M<5.5;
- 15 % per 5.5<M<6.0;
- 1,6 % per 6.0<M<6.5.

## 7.7 DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

L'identificazione della categoria di sottosuolo nei pressi delle opere di interesse è resa possibile in base all'interpretazione delle onde di taglio calcolate nel corso delle indagini geofisiche eseguite in varie campagne geognostiche da fornitori incaricati per le indagini in sito riferite al progetto del Passante di Bologna e delle sue opere connesse, ed in particolare (da inizio a fine intervento Passante):

- ∅ prova sismica Down Hole eseguita nel foro di sondaggio S1(DH) ubicato c.a. 100m a nord della pk. 9+500 c.a. (fornitore PROGEO s.r.l., 2010, indagini per People Mover di Bologna);
- ∅ prova sismica Down Hole eseguita nel foro di sondaggio PB3(DH) ubicato alla pk. 9+670 c.a. (fornitore Technosoil s.r.l., 2016);
- ∅ prova sismica Down Hole eseguita nel foro di sondaggio PB6(DH) ubicato alla pk. 10+100 c.a. (fornitore Technosoil s.r.l., 2016);
- ∅ prova sismica Down Hole eseguita nel foro di sondaggio PB10(DH) ubicato alla pk. 11+865 c.a. (fornitore Technosoil s.r.l., 2016);
- ∅ prova sismica Down Hole eseguita nel foro di sondaggio PB12(DH) ubicato alla pk. 12+470 c.a. (fornitore Technosoil s.r.l., 2016);
- ∅ prova sismica Down Hole eseguita nel foro di sondaggio PB17(DH) ubicato a c.a. 180m a sud della pk. 14+250 (fornitore Servizi Geotecnici s.r.l., 2016);
- ∅ prova sismica Down Hole eseguita nel foro di sondaggio PE3(DH) ubicato alla pk. 16+400 c.a. (fornitore CAM Perforazioni s.r.l., 2021);
- ∅ prova sismica Down Hole eseguita nel foro di sondaggio PB21(DH) ubicato alla pk. 17+400 c.a. (fornitore Servizi Geotecnici s.r.l., 2016);
- ∅ prova sismica Down Hole eseguita nel foro di sondaggio PB24(DH) ubicato alla pk. 18+700 c.a. (fornitore Servizi Geotecnici s.r.l., 2016);
- ∅ prova sismica Down Hole eseguita nel foro di sondaggio PB26(DH) ubicato alla pk. 20+610 c.a. (fornitore Servizi Geotecnici s.r.l., 2016);
- ∅ prova sismica Down Hole eseguita nel foro di sondaggio PE9(DH) ubicata presso l'opera PP003 (fornitore Technosoil s.r.l., 2021);
- ∅ prova sismica Cross Hole eseguita nei fori di sondaggio OC3S2 ed OC3S2bis ubicati presso l'area di esazione di San Lazzaro di Savena, appena oltre fine intervento (fornitore Servizi Geotecnici s.r.l. 2010).

I risultati delle prove sismiche sono illustrate nelle figure successive; si rimanda alla documentazione geognostica allegata al progetto per la visione completa dei certificati.

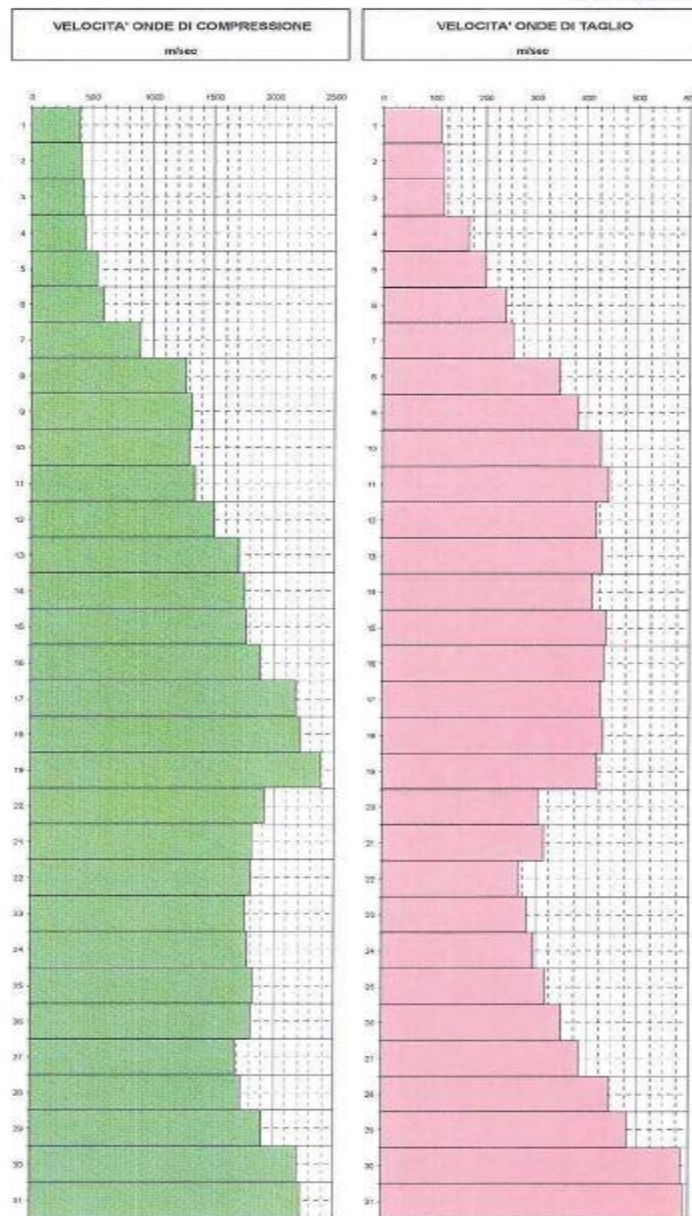


Figura 7-10 - Rappresentazione delle velocità  $V_p$  e  $V_s$  con la profondità calcolate dalla prova Down Hole in S1(DH) People Mover (interpretazione PROGEO s.r.l., 2010).

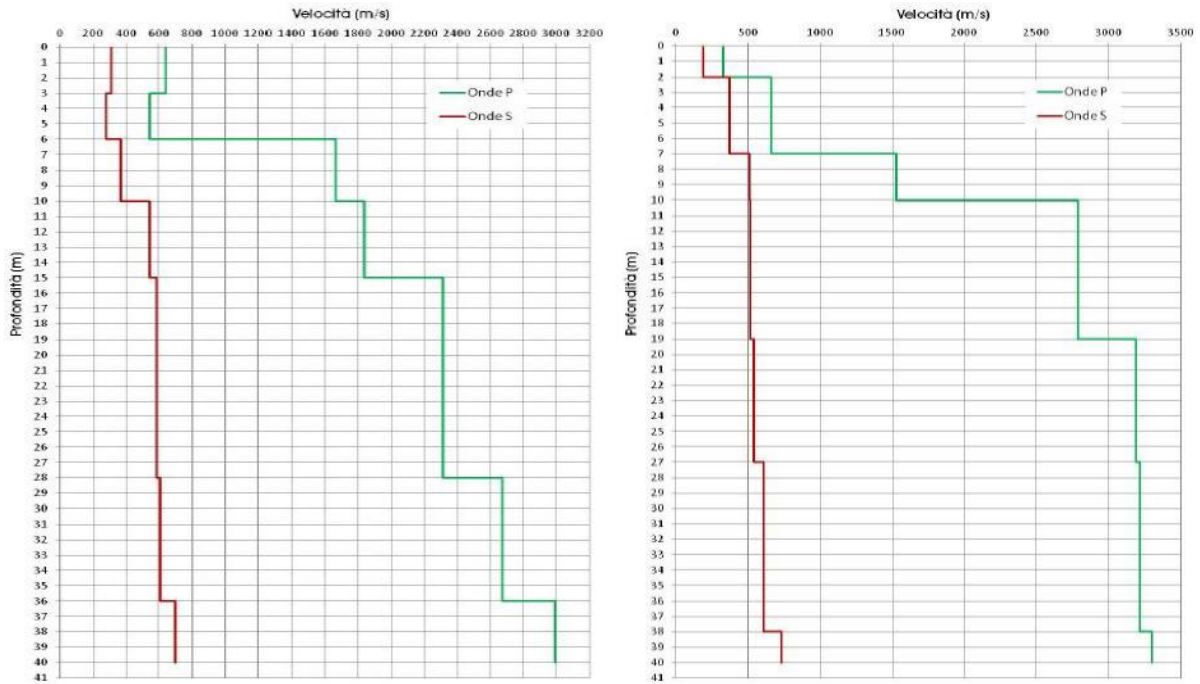


Figura 7-11 - Rappresentazione delle velocità  $V_p$  e  $V_s$  con la profondità calcolate dalle prove Down Hole in PB3(DH) e PB6(DH) (interpretazione Technosoil s.r.l., 2016).

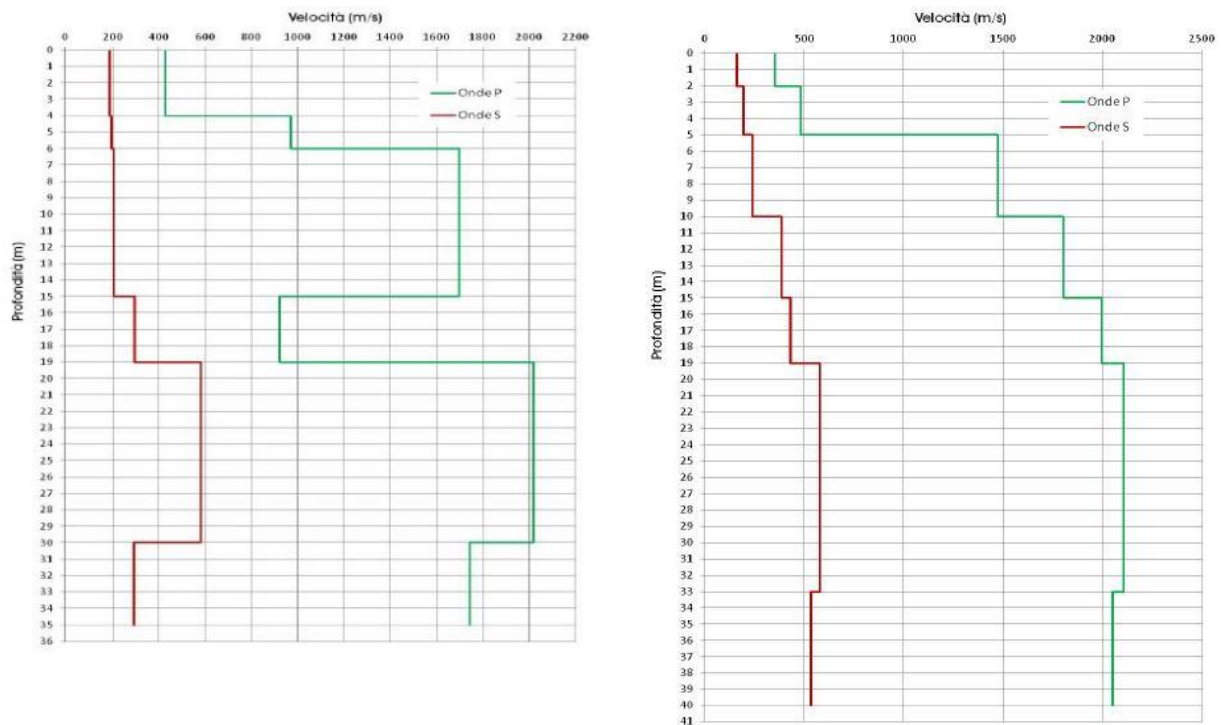


Figura 7-12 - Rappresentazione delle velocità  $V_p$  e  $V_s$  con la profondità calcolate dalla prova Down Hole in PB10(DH) PB12(DH) (interpretazione Technosoil s.r.l., 2016).



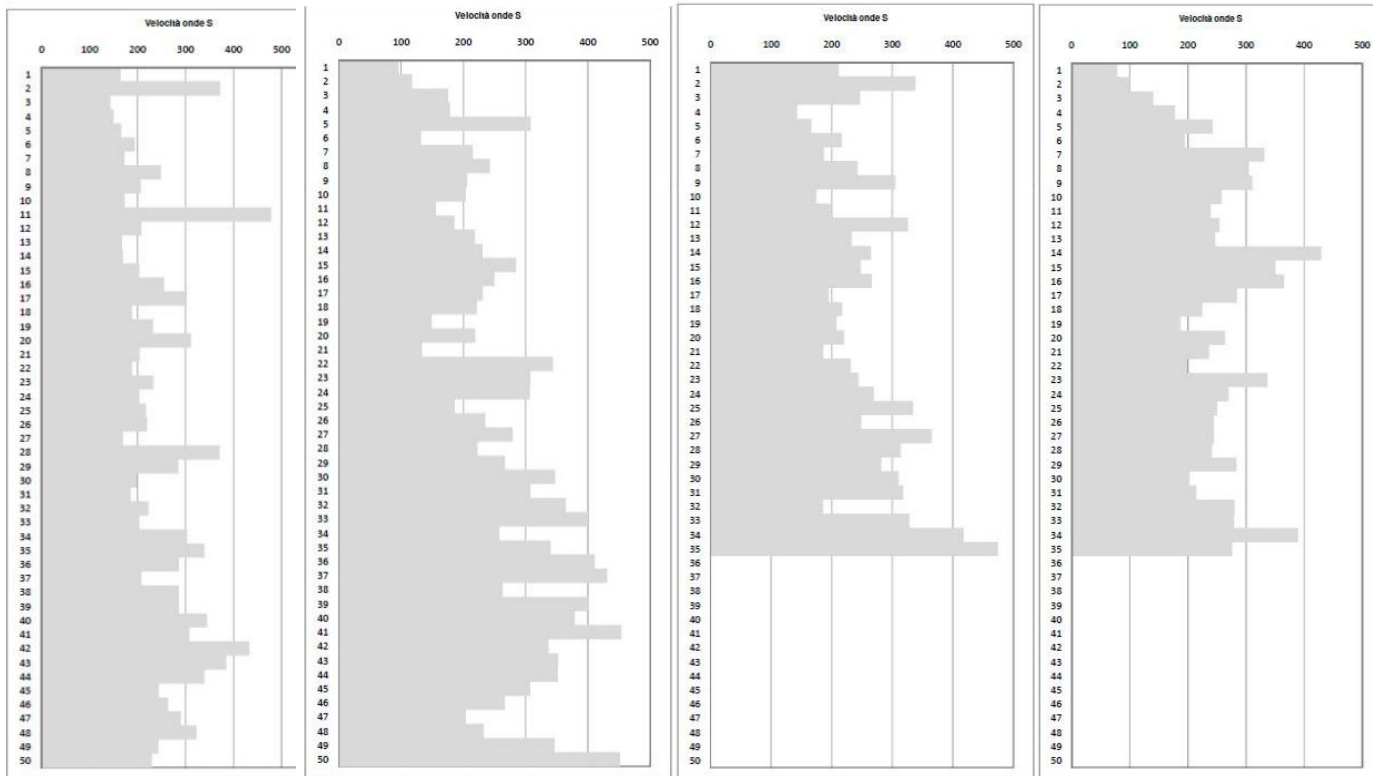


Figura 7-13 - Rappresentazione delle velocità Vs con la profondità calcolate dalle prove Down Hole in PB17(DH), PB21(DH), PB24(DH), PB26(DH) (interpretazione Servizi Geotecnici s.r.l., 2016).

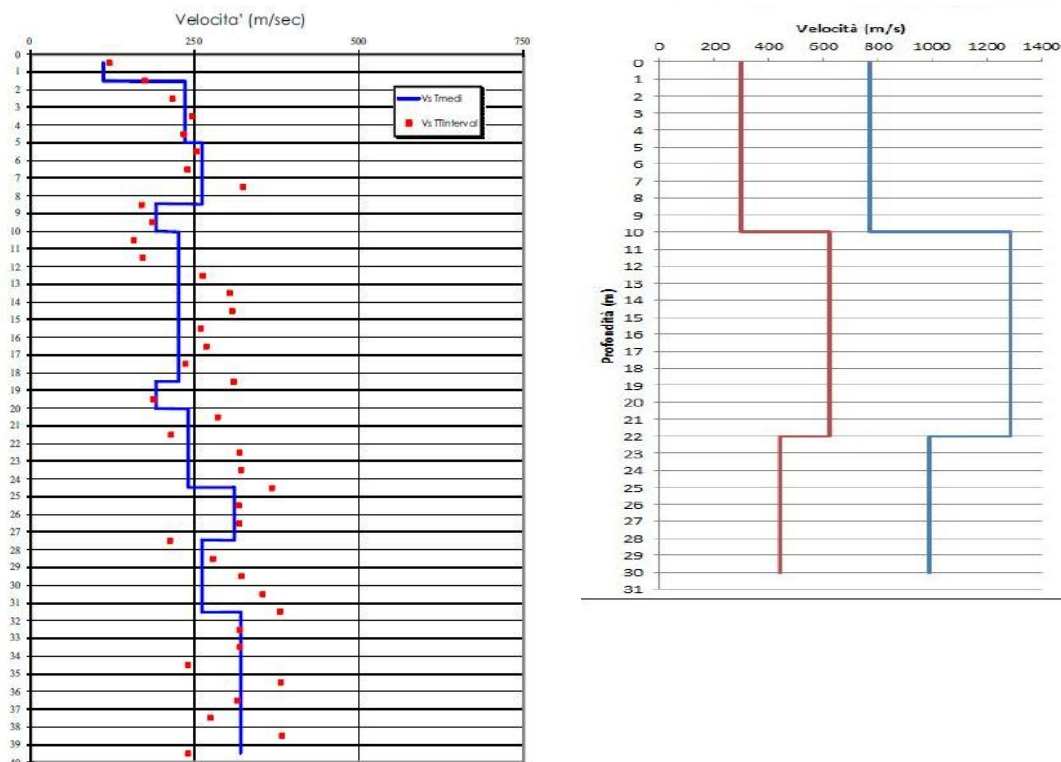


Figura 7-14 - Rappresentazione delle velocità Vs (T medi e T intervallari) con la profondità calcolate dalla prova DH in PE3DH (interpretazione CAM s.r.l., 2021) e velocità Vp e Vs in PE9(DH) (interpretazione Technosoil s.r.l., 2021).

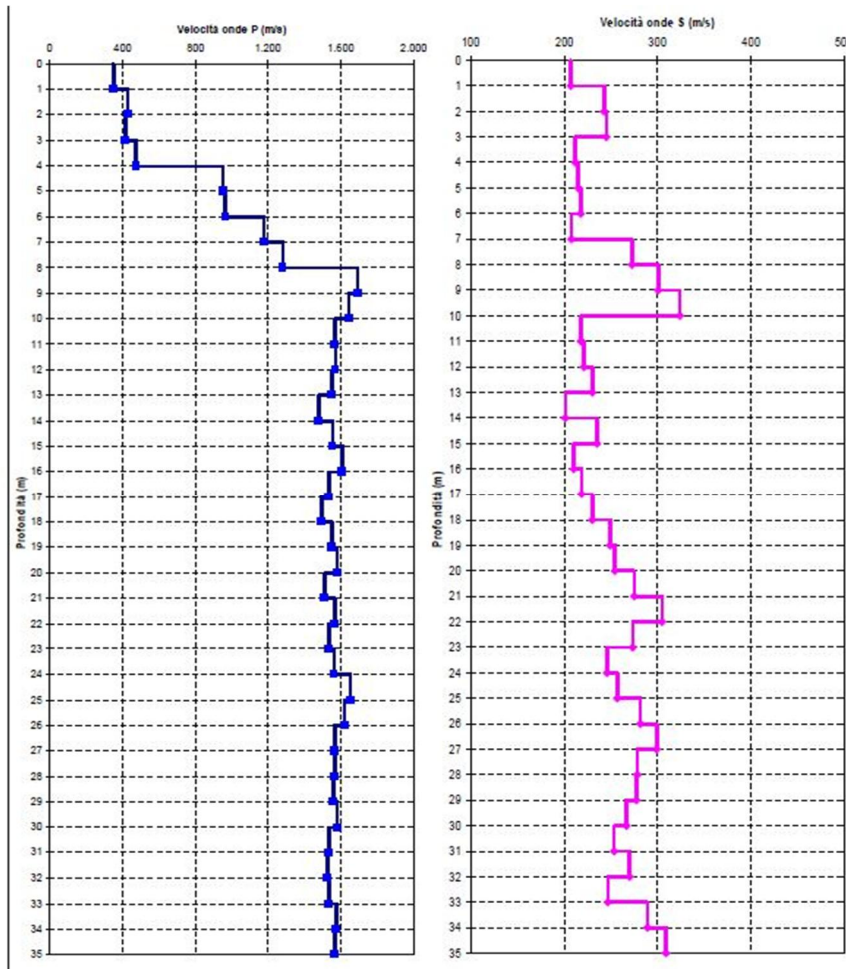


Figura 7-15 - Rappresentazione dei Tempi e delle velocità  $V_p$  e  $V_s$  con la profondità calcolate dalla prova Cross Hole in OC3S2-OC3S2bis (interpretazione Servizi Geotecnici s.r.l., 2010).

La tabella seguente sintetizza le restituzioni in termini di  $V_{s30}/V_{s\text{equiv}}$  calcolate dagli affidatari, secondo la loro attribuzione in sismostrati, e senza un'analisi per singoli strati di spessore metrico.

Si rimanda alla documentazione geotecnica di progetto per una eventuale differente interpretazione delle risultanze.

| Indagine – data                | Affidatario            | $V_{s30}/V_{s\text{equiv}}$ (m/s) |
|--------------------------------|------------------------|-----------------------------------|
| S1(DH) People Mover (2010)     | Progeo srl             | 304                               |
| PB3(DH) (2016)                 | Technosoil srl         | 455                               |
| PB6(DH) (2016)                 | Technosoil srl         | 449                               |
| PB10(DH) (2016)                | Technosoil srl         | 277                               |
| PB12(DH) (2016)                | Technosoil srl         | 334                               |
| PB17(DH) (2016)                | Servizi Geotecnici srl | 206                               |
| PE3(DH) (2021)                 | CAM Perforazioni srl   | 225                               |
| PB21(DH) (2016)                | Servizi Geotecnici srl | 206                               |
| PB24(DH) (2016)                | Servizi Geotecnici srl | 241                               |
| PB26(DH) (2016)                | Servizi Geotecnici srl | 279                               |
| PE9(DH) (2021)                 | Technosoil srl         | 423                               |
| CH sond. OC3S2-OC3S2bis (2010) | Servizi Geotecnici srl | 248                               |

In base alla suddette risultanze, nella quasi totalità dei casi i terreni ascrivibili al progetto del Passante nell'intervallo 0 – 30 m sarebbero in categoria C, che corrisponde a:

*“depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180m/s e 360 m/s”.*

In soli 3 casi, peraltro tutti riconducibili al medesimo affidatario, si ottengono assegnazioni in categoria B (*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o di 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 e 800 m/s*).

Va detto peraltro che si tratta di interpretazioni non esatte, fortemente sito dipendenti, per le quali un margine di errore del 10% è pienamente compatibile con i metodi di indagine proposti.

In qualche caso si osservano delle inversioni di velocità con la profondità, ma sono abbastanza contenute in termini di rapporto VS, e quindi tendenzialmente poco significative.

Si rimanda comunque agli elaborati geotecnici e strutturali per la scelta della categoria sismica di progetto più pertinente al sito in esame, nonché a tutto ciò che riguarda le risultanze dell'eventuale Studio di Risposta Sismica Locale, qualora eseguito.

Per quanto riguarda la frequenza fondamentale di risonanza del sito di studio si sono prese a riferimento le misure di rumore sismico ambientale a stazione singola (HVSR), eseguite con tecnica Nakamura (tomografia) lungo l'asse di progetto, ed in particolare (da inizio a fine intervento):

- Ø prova sismica superficiale HVSR231 ubicata alla pk. 9+500 c.a. carreggiata nord (fornitore PROGEO s.r.l., 2010, indagini per People Mover di Bologna);
- Ø prova sismica superficiale HVSR232 ubicata alla pk. 9+500 c.a. carreggiata sud (fornitore PROGEO s.r.l., 2010, indagini per People Mover di Bologna);
- Ø prova sismica superficiale HVSR233 ubicata a c.a. 180m a sud della pk. 9+600 (fornitore PROGEO s.r.l., 2010, indagini per People Mover di Bologna);
- Ø prova sismica superficiale HVSR234 ubicata a c.a. 140m a sud della pk. 9+900 (fornitore PROGEO s.r.l., 2010, indagini per People Mover di Bologna);
- Ø prova sismica superficiale HVSR1-PE9 ubicata presso l'opera PP003 (fornitore Technosoil s.r.l., 2021).

I risultati delle prove HVSR sono sintetizzati nella tabella seguente; si rimanda alla documentazione geognostica allegata al progetto per la visione completa dei certificati.

| Indagine – data  | Affidatario    | Fo (Hz) | classe SESAME |
|------------------|----------------|---------|---------------|
| HVSR231 (2010)   | Progeo srl     | 11.11   | A2            |
| HVSR232 (2010)   | Progeo srl     | 7.08    | A1            |
| HVSR233 (2010)   | Progeo srl     | 14.96   | A2            |
| HVSR234 (2010)   | Progeo srl     | 9.29    | A2            |
| HVSR1-PE9 (2021) | Technosoil srl | 0.59    | A1            |

Ai sensi dei criteri Sesame (Sesame, 2005), tutte le prove sono classificabili in classe A1 o A2; ossia curva affidabile (per superamento dei *Curve Reliability Criteria*) che presentano (A1) / non presentano (A2) picchi chiari e significativi nell'intervallo di interesse ingegneristico (mancato superamento di almeno 5 delle 6 condizioni richieste in *HVSR peak clarity criteria - Overall criteria fulfillment*).

In tutti i casi si evidenziano e si segnalano dei contrasti caratteristici, seppure poco evidenti. In quasi tutti i casi sono riferibili a frequenze piuttosto elevate (8 – 15 Hz), compatibili con un substrato posto a profondità alquanto ridotte, minori di 20 m di profondità. Ciò non trova riscontro con le indagini dirette e con le indagini sismiche in foro, tipo DH.

## 7.8 ASPETTI LEGATI ALLA LIQUEFAZIONE

Con il termine "liquefazione" si indicano vari fenomeni fisici (liquefazione ciclica, mobilità ciclica, fluidificazione), osservati nei depositi e nei pendii sabbiosi saturi durante i terremoti forti ( $M > 5.5$ ), che hanno come elemento comune il fatto che, per effetto dell'instaurarsi di condizioni non drenate, si ha un incremento ed un accumulo delle pressioni interstiziali che può provocare una drastica caduta della resistenza al taglio e quindi una perdita di capacità portante del terreno.

Si rimanda alla normativa di settore e alla documentazione geotecnica per la definizione di dettaglio dei fattori scatenanti e predisponenti della liquefazione, che, come noto, riguardano l'accelerazione massima al suolo, la profondità della falda, la profondità, distribuzione granulometrica e stato di addensamento dei depositi potenzialmente liquefacibili.

Va sottolineato che tra i fattori geologici e geotecnici risultano fondamentali, oltre alla profondità della falda ( $< 15$  m), la presenza e lo spessore degli strati non liquefabili superficiali, l'assenza di cementazione fra i grani, l'origine e l'età del deposito, la presenza di strati drenanti grossolani intercalati alla sabbia fine liquefacibile, la morfologia. Per quanto riguarda la natura geologica dei siti le zone a più alto rischio sono: letti di fiume antichi e recenti, paludi, terreni di bonifica, argini, pianure di esondazione, spiagge, zone dunari e interdunari.

Le scosse del 20 e 29 maggio 2012 hanno causato vistosi effetti di liquefazione in alcune località del settore occidentale della provincia di Ferrara, localizzate in corrispondenza del paleoalveo del Reno, e, in minor misura, in alcune aree della provincia di Modena, localizzate lungo rami abbandonati del Panaro. Tale fenomeno ha assunto particolare rilevanza nei centri abitati di S. Carlo, frazione di S. Agostino, e di Mirabello, in provincia di Ferrara, dove ha reso temporaneamente inagibili alcuni edifici, tratti di strade e le reti di servizi presenti. E' interessante osservare come i fenomeni di liquefazione segnalati siano stati rilevati lungo paleocanali.

La Regione Emilia Romagna ha introdotto aggiornamenti normativi e tecnici ed istituito, insieme al Dipartimento della Protezione Civile, un gruppo di lavoro interdisciplinare ("Gruppo di lavoro Liquefazione") per programmare ed avviare indagini geotecniche e geofisiche di approfondimento, al fine di individuare le aree suscettibili di amplificazione e quelle in cui si ritiene necessario verificare la presenza di condizioni predisponenti alla liquefazione.

### 7.8.1 Rischio liquefazione definito dalla cartografia dei PSC-POC Comunali

All'interno del Piano Strutturale Comunale (PSC 2007) e del Piano Operativo Comunale (POC 2009, adozione 2014) di Bologna, nonché del Piano Strutturale Comunale di San Lazzaro di Savena (PSC 2014), la cartografia relativa alla microzonazione sismica mostra la presenza, per diverse tratte di interesse progettuale, di litologie con granulometria compatibile con il rischio di liquefazione e potenziale cedimento.

Più in particolare gli studi di pericolosità sismica sopra menzionati identificano l'area di progetto come segue:



- AREA POTENZIALMENTE SOGGETTA AD AMPLIFICAZIONE PER CARATTERISTICHE LITOLOGICHE  
 - studi: valutazione del coefficiente di amplificazione litologica;  
 - microzonazione sismica: approfondimenti di II livello; nelle aree prossime ai bordi superiori di scarpate o a quote immediatamente superiori agli ambiti soggetti ad amplificazione per caratteristiche topografiche, lo studio di microzonazione sismica dovrà valutare anche gli effetti della topografia.
- AREA POTENZIALMENTE SOGGETTA AD AMPLIFICAZIONE PER CARATTERISTICHE LITOLOGICHE E TOPOGRAFICHE  
 - studi: valutazione del coefficiente di amplificazione litologica e topografica;  
 - microzonazione sismica: approfondimenti di II livello.
- AREA SOGGETTA AD AMPLIFICAZIONE PER CARATTERISTICHE LITOLOGICHE E A POTENZIALE LIQUEFAZIONE  
 - studi: valutazioni del coefficiente di amplificazione litologica e del potenziale di liquefazione e dei cedimenti attesi;  
 - microzonazione sismica: approfondimenti di III livello.
- AREA SOGGETTA AD AMPLIFICAZIONE PER CARATTERISTICHE LITOLOGICHE E A POTENZIALI CEDIMENTI  
 - studi: valutazione del coefficiente di amplificazione litologica e dei cedimenti attesi;  
 - microzonazione sismica: sono ritenuti sufficienti approfondimenti di II livello per la valutazione del coefficiente di amplificazione litologica e sono richiesti approfondimenti di III livello per la stima degli eventuali cedimenti.

Figura 7-15 - Stralcio rischio sismico da PSC Comune di Bologna (sovrapposizione con progetto Passante di Bologna): aree suscettibili di effetti locali (accesso web gennaio 2022).

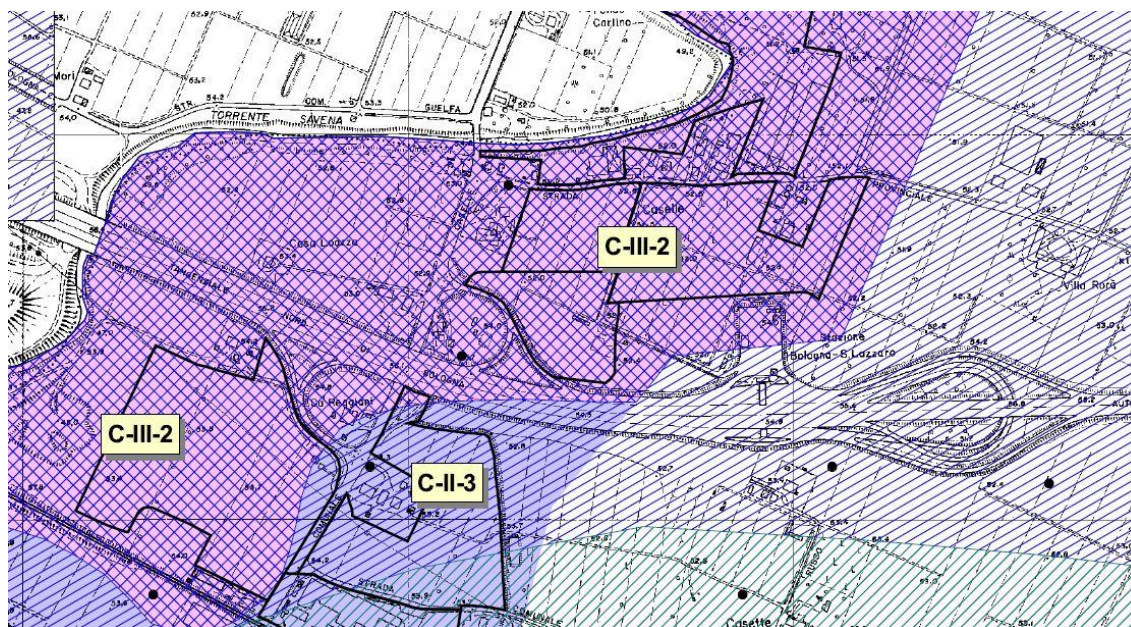


Figura 7-17- Stralcio rischio sismico da PSC Comune di San Lazzaro di Savena: aree suscettibili di effetti locali (accesso web gennaio 2022).

## 8 PRINCIPALI ELEMENTI GEOLOGICI DI INTERESSE INGEGNERISTICO

Di seguito si sintetizzano le criticità a tema geologico, geomorfologico e idrogeologico identificabili nell'area interessata dal progetto; ciò nell'ottica di consentire la verifica della compatibilità dell'opera nei riguardi delle suddette componenti, in accordo alla normativa vigente.

Secondo quanto risulta dallo studio specialistico e dalle cartografie e studi redatti da enti e istituzioni di riferimento, si ritiene abbiano maggiore influenza per la progettazione e manutenzione delle opere i seguenti elementi:

- Vi è diffusa variabilità granulometrica sia in senso verticale sia in senso orizzontale; pertanto, la caratteristica peculiare dei terreni interessati dal nuovo progetto è rappresentata da una spiccata eteropia tra granulometrie fini e grossolane.
- Si ha presenza, lungo tutto il tracciato in allargamento ed in corrispondenza delle nuove opere connesse, di depositi/livelli compressibili, sovente accompagnati da livelli torbosi, il che rende necessaria un'attenta verifica dei cedimenti delle nuove opere e delle preesistenze.
- Nei pressi del Viadotto sul Fiume Reno si riscontrano fenomeni erosionali con scalzamento al piede delle scarpate fluviali (erosione di sponda), l'approfondimento dell'alveo (erosione di fondo) con conseguente scalzamento al piede delle pile in alveo del viadotto stesso.
- Secondo gli elementi riportati nel P.A.I. dell'Autorità di Bacino del Reno il tracciato in allargamento interferisce:
  - in corrispondenza del Canale Navile/Battiferro, con un'area ad alta probabilità di inondazione (correlabile a piene con tempo di ritorno 50 anni);
  - in corrispondenza del Torrente Savena, con un'area ad alta probabilità di inondazione (correlabile a piene con tempo di ritorno 50 anni).
- Relativamente alla pericolosità idraulica, e con particolare riferimento alla cartografia redatta nell'ambito del P.G.R.A., si segnalano interferenze tra il tracciato oggetto di potenziamento e limitate aree soggette a pericolosità elevata (P3) in corrispondenza del Fiume Reno, dei canali Navile-Battiferro (T. Savena abbandonato) e Torrente Savena, mentre la maggior parte del territorio ricade nell'ambito della pericolosità idraulica media (P2);
- In base al catalogo ITHACA delle faglie capaci, due strutture tettoniche sono interferenti con il tracciato del Passante. Inoltre, in base al catalogo DISS 3 si ha presenza di strutture sismogenetiche nelle vicinanze dell'area di progetto.
- Le litologie a prevalente componente sabbiosa potrebbero essere compatibili, quando sature, con i fenomeni di liquefazione che potrebbero verificarsi in occasione di eventi sismici di particolare intensità; pertanto si raccomanda l'esecuzione delle opportune verifiche ingegneristiche.

Si segnala la presenza, a fine intervento di potenziamento e a tergo dell'odierna tangenziale sud, di una discarica di rifiuti solidi urbani a oggi ripristinata dal punto di vista paesaggistico.

Per quanto concerne gli aspetti idrogeologici e profondità della falda si rimanda a quanto trattato negli elaborati idrogeologici allegati al progetto.

### 8.1 DESCRIZIONE GEOLOGICA E GEOMORFOLOGICA LUNGO IL TRACCIATO DI PROGETTO

Di seguito si riportano gli elementi geologici e geomorfologici osservati e cartografati lungo il tracciato, procedendo da Ovest verso Est, in accordo alle progressive chilometriche di progetto.

L'intero tracciato di allargamento in sede si sviluppa sui terreni ascrivibili al sub-sintema di Ravenna (AES8) ed all'Unità di Modena (AES8a), che è contenuta in AES8 con limiti non conformi e che ne costituisce il tetto stratigrafico. In corrispondenza di profondità nell'ordine dei 10-15m dal piano campagna si passa al Subsintema di Villa Verucchio (AES7), che a sua volta risulta sovrapposta al Subsintema di Bazzano (AES6): quest'ultimo passaggio viene ritenuto plausibile ad una profondità dell'ordine dei 40-50 m di prof. dal p.c.

Per quanto riguarda la descrizione litostratigrafica di dettaglio dei terreni attraversati si rimanda alle stratigrafie dei sondaggi e dei pozzetti raccolti negli specifici elaborati allegati al progetto.

Di seguito si descrivono, procedendo in direzione San Lazzaro di Savena lungo il profilo geologico redatto 35m a sinistra dell'asse di tracciamento della Tangenziale Nord, gli elementi geologici-geomorfologici riferiti

alle diverse sezioni di tracciato in allargamento. Successivamente verranno descritti gli elementi geologici-geomorfologici riferiti alle principali opere connesse al potenziamento del Lotto 1.

**Da inizio intervento fino alla progr. Km 11+000 c.a.**

Da inizio intervento fino alla progr. 9+100 c.a. i terreni attraversati nel primo sottosuolo appartengono alla classe granulometrica prevalentemente coesiva, cioè a depositi costituiti principalmente da argille e limi; si tratta perciò di terreni compressibili all'interno dei quali è frequente il ritrovamento di materiale organico e di residui carboniosi. A profondità maggiori i sondaggi geognostici ed i pozzi RER evidenziano la presenza di un orizzonte più grossolano (sabbie con ghiaia/ghiaiose e ghiaie prevalenti) dello spessore anche superiore ai 50m; tale orizzonte può contenere occasionalmente lenti di limo sabbioso e sabbie limose (si veda ad esempio i recenti sondaggi PE1 e PE2). In questo ambito ricade l'ampliamento dei sottovia di Interconnessione A1.

Dalla progr. 9+100 c.a. fino alla progr. 10+100 c.a. i terreni attraversati sono prevalentemente granulari sia superficialmente che in profondità: si tratta evidentemente di depositi correlabili all'attività deposizionale del Fiume Reno. In questo ambito ricade l'ampliamento del sottovia di Via Triumvirato.

Dalla progr. 10+100 c.a. fino alla progr. 11+000 c.a. i terreni attraversati nel primo sottosuolo risultano appartenenti a depositi coesivi. In questo ambito ricade la spalla sud del viadotto sul Reno da ampliare e due sottovia (via Agucchi, via Zanardi).

Viadotto Reno:

In corrispondenza del Viadotto Autostradale sul F. Reno sono presenti estese aree di riporto (in parte dovute alla costruzione del viadotto stesso) che sono state recentemente soggette a rimodellazione (attività della cava di inerte, a oggi chiusa, e lavori di costruzione della monorotaia "People Mover"), con cospicua movimentazione/accumulo di materiale antropico. Tali depositi vengono costantemente rielaborati dalle alluvioni del Fiume.

Si precisa che i rilevati dell'Autostrada e delle Tangenziali attigue poggiano, dalla pk 9+300 c.a. alla pk 9+700 c.a. (asse di tracciamento Nord), al di sopra del riempimento antropico di una ex cava di ghiaia, almeno fino alla spalla nord del Viadotto Reno esistente. A testimonianza dell'esistenza della vecchia cava rimane visibile un'ampia depressione collocata in corrispondenza del bordo della carreggiata nord della tangenziale, che si estende verso l'aeroporto di Bologna. Inoltre, dalla progr. 10+200 alla progr. 10+400 in carreggiata nord, il tracciato interferisce direttamente con un'altra ex area di cava riempita anche con terreno coesivo (si vedano i pozzetti della serie PZ-L).

Infine, si ricorda quanto descritto nel capitolo geomorfologico, cioè la presenza di fenomeni erosionali con scalzamento al piede delle scarpate fluviali (erosione di sponda), l'approfondimento dell'alveo (erosione di fondo) con conseguente scalzamento al piede delle pile in alveo del viadotto stesso e la presenza di fenomeni di ruscellamento concentrato al di sotto dell'impalcato, che danno origine ad erosioni superficiali attive profonde fino a qualche decimetro.

**Dalla progr. Km 11+000 c.a. alla prog. Km 14+000 c.a.**

Dal punto di vista granulometrico il tratto in oggetto evidenzia un incremento dei livelli fini e compressibili (granulometria limoso - argillosa prevalentemente) all'interno dei corpi granulari; peraltro, ciò accade anche in profondità. In questo ambito ricade l'ampliamento del ponte Navile-Battiferro ed il rifacimento di alcuni cavalcavia stradali/ferroviari (via Benazza, linea Bologna-Verona, linea Bologna-Padova, via Colombo).

Dal km 13+200 c.a. alla fine del tratto, in eteropia con i depositi coesivi, nella porzione più superficiale del sottosuolo è presente un livello di sabbia limoso-argillosa dello spessore di 5-10m. In questo ambito è previsto il prolungamento di tre sottovia (via Erbosa, dell'Arcoveggio, via di Corticella).

Dal punto di vista geomorfologico il tracciato, dalla progr. 12+500 c.a. alla progr. 13+200 c.a., interferisce con una vasta area di cava di argilla riempita dopo la sua dismissione; peraltro, in corrispondenza degli ultimi 150 m il tratto risulta morfologicamente depresso.

**Dalla progr. Km 14+000 c.a. alla prog. Km 16+000 c.a.**

Dal punto di vista granulometrico il tratto in oggetto risulta prevalentemente caratterizzato da depositi compressibili (granulometria prevalentemente di natura limoso - argillosa) sia superficialmente sia in profondità, ai quali si interpongono lenti di sabbie/sabbie limose e di ghiaie. In questo ambito è previsto il prolungamento di una serie di sottovia (Svincolo A13/Arcoveggio, via Ferrarese, via Zambellini, via Zambeccari).

### **Dalla progr. Km 16+000 c.a. alla prog. Km 19+000 c.a.**

Dal punto di vista granulometrico il tratto in oggetto è caratterizzato da prevalenti depositi compressibili (granulometria prevalentemente di natura limoso - argillosa) sia superficialmente che in profondità, ai quali si interpongono lenti di vario spessore di sabbie/sabbie limoso - argillose e lenti prevalentemente ghiaiose. Nei primi 900 m del tratto, ambito in cui è previsto il rifacimento del cavalcavia di V.le Europa, dominano i depositi compressibili con intercalate locali lenti di sabbia limosa-debolmente limosa e ghiaiosa; in profondità si osserva un aumento della componente granulare mano a mano che si procede verso la fine del tratto in oggetto: in questo ambito è previsto il rifacimento di una serie di cavalcavia (via San Donato, via del Terrapieno), il prolungamento di due sottovia (diramazione via Scandellara, via Scandellara) e la realizzazione della nuova galleria con sistemazione a verde "San Donnino" (L=440m), a cui segue la realizzazione di una galleria fonica (L=103m) (si vedano i sondaggi PB21bis e PE4).

### **Dalla progr. Km 19+000 c.a. alla prog. Km 20+000 c.a.**

Nei primi metri di questa tratta i terreni compressibili passano lateralmente a sabbie limose/limoso-argillose e, al di sotto dei 5-6m, è presente un cospicuo e continuo corpo di materiale granulare (spessore anche di 20m) costituito da prevalenti ghiaie sabbiose con ciottoli. Al di sotto di questo corpo granulare si rinvencono altri depositi prevalentemente argilloso-limosi e sabbiosi seguiti ancora da depositi granulari (si veda il recente sondaggio PE5). In questo ambito è previsto l'ampliamento del viadotto di via Masserenti ed il prolungamento di due sottovia (via Rivani, via Due Madonne), nonché la realizzazione della nuova galleria fonica "Croce del Bianco".

### **Dalla progr. Km 20+000 c.a. a fine intervento**

In quest'ultima porzione di tracciato il corpo granulare descritto nel precedente settore si assottiglia (6-10m c.a.), risultando comunque confinato da terreni in cui le argille sono prevalenti. Inoltre, sono state rinvenute alcune lenti di sabbia/sabbia limosa e sabbia argillosa a varie profondità. In questo ambito è previsto il prolungamento di una serie di sottovia (Opera Idrastica, via Vighi, S. Lazzaro) e l'ampliamento del Ponte sul fiume Savena.

Dalla progr. 20+350 c.a. alla progr. 20+590 c.a. il tracciato interferisce con un'area di cava di argilla riempita e morfologicamente depressa: l'ex cava prosegue a tergo della carreggiata Sud fino alla progr. 21+350 c.a.; dalla progr. Km 20+900 fin quasi a ridosso del Torrente Savena si osserva altresì la presenza di un rilievo collinare antropico connesso ad una discarica di rifiuti solidi urbani a oggi ripristinata dal punto di vista paesaggistico. L'accumulo del materiale antropico di rifiuto (attraversato dal sondaggio PB28 per c.a. 7m) si appoggia sopra c.a. 3m di argilla limosa. Pertanto, dai dati a disposizione, lungo il profilo (realizzato 35m a sinistra dell'asse di tracciamento della Tangenziale Nord, quindi in carreggiata opposta rispetto alla discarica) si ipotizza la presenza di terreni prevalentemente coesivi passanti intorno ai 10m a ghiaie in matrice sabbiosa e, dai 15m c.a., ad argille.

Si evidenzia infine la presenza, al di sotto dell'impalcato del ponte sul Fiume Savena, di fenomeni di ruscellamento concentrato.

## **8.1.1 Principali opere connesse al potenziamento (lotto 1)**

In questo paragrafo vengono descritti gli elementi geologici-geomorfologici riferiti alle principali opere connesse al potenziamento in sede del Passante di Bologna (Lotto 1), ed in particolare:

### **Opera SP001**

Si tratta di eseguire alcune opere di completamento (muri ad "U") agli imbocchi est ed ovest di un sottovia esistente (fondo a c.a. 4m da p.c.), al fine di realizzare una pista ciclopedonale. L'opera, che sottopassa una linea ferroviaria, si imposta su terreni afferenti al sub-sistema di Ravenna (AES8); lo specifico sondaggio PE6 (2021) ha rinvenuto, dopo c.a. 1,20m di riporto antropico, limi con sabbie fino a 6,50m, poi sabbie fini debolmente limose per 2m e successivamente ghiaia ciottolosa in matrice sabbiosa fino a 15m.

Dal punto di vista geomorfologico l'intervento si imposta, secondo il P.S.C. del Comune di Bologna, in corrispondenza di un dosso fluviale.

### **Opera SP002**

Si tratta di eseguire il prolungamento da entrambi i lati di un sottovia esistente (fondo a c.a. 4m da p.c.), al fine di realizzare una pista ciclopedonale. L'opera, che sottopassa V.le Europa, si imposta su terreni afferenti all'Unità di Modena (AES8a), che è contenuta in AES8 (Subsistema di Ravenna) con limiti non conformi e che



ne costituisce il tetto stratigrafico; nelle vicinanze dell'intervento sono stati eseguiti nel 2020 gli specifici sondaggi PE3(DH) e PE3bis: la perforazione a carotaggio ha attraversato, dopo 1,40m di riporto antropico, sabbie da debolmente limose a limose fino a 8,30m da p.c., passanti fino a 40m a prevalenti terreni compressibili costituiti da argille limose con intercalazioni millimetriche e centimetriche di terreni sabbiosi; localmente sono presenti livelli decimetrici carboniosi/torbosi. Si segnala altresì la presenza di un livello di sabbia con ghiaia tra 18,70m e 20m.

Dal punto di vista geomorfologico l'intervento si imposta, secondo il P.S.C. del Comune di Bologna, in corrispondenza di un dosso fluviale.

#### **Opera SP003**

Si prevede di eseguire un nuovo sottopasso ciclopedonale (fondo a c.a. 4m da p.c.), nei pressi della rotatoria di Via Caselle/Via Poggi; l'opera si imposta su terreni afferenti al sub-sistema di Ravenna (AES8); lo specifico sondaggio PE11 (2021) ha rinvenuto, dopo c.a. 1,50m di riporto antropico, depositi prettamente coesivi fino a 15m, costituiti da limi ed argille con contenuto sabbioso vario.

Dal punto di vista geomorfologico non sono presenti particolari elementi che sia necessario evidenziare.

#### **Opera SP004**

Si prevede di eseguire un nuovo sottopasso ciclopedonale (fondo a c.a. 4m da p.c.), nei pressi della rotatoria di Via Caselle/Via Esperanto; l'opera si imposta su terreni afferenti al sub-sistema di Ravenna (AES8); lo specifico sondaggio PE12 (2021) ha rinvenuto, dopo c.a. 1,70m di riporto antropico, depositi prettamente coesivi fino a 12m, costituiti da limi ed argille con contenuto sabbioso vario; successivamente, da 12 a 14,5m, è stata attraversata una alternanza decimetrica da sabbie limose ed argille limose, passanti fino a 15m a ghiaie sabbiose.

Dal punto di vista geomorfologico non sono presenti particolari elementi che sia necessario evidenziare.

#### **Opera PP001**

Si prevede di eseguire un nuovo ponte ciclopedonale che scavalca il canale Battiferro. Nei pressi dell'opera, che si imposta su terreni afferenti al sub-sistema di Ravenna (AES8), è ubicato il sondaggio S64 (1984), che ha attraversato fino a 4,60m da p.c. argilla limosa, limo argilloso e argilla sabbiosa, poi sabbie per 1,40m passanti a ghiaia con ciottoli fino a 15m.

Dal punto di vista geomorfologico l'intervento ricade parzialmente, secondo il P.A.E. 2007 del Comune di Bologna, nell'ambito di un'ex cava di argilla oggi riempita; inoltre, il nuovo ponte ciclopedonale si colloca in un'area ad alta probabilità di inondazione e con pericolosità idraulica elevata (presenza del canale Battiferro).

#### **Opera PP002**

Si prevede di eseguire un nuovo ponte ciclopedonale che scavalca il canale Navile. Nei pressi dell'opera, che si imposta su terreni afferenti al sub-sistema di Ravenna (AES8), è ubicato il sondaggio S1 (1999). Tale sondaggio ha attraversato, dopo 2,70m di riporto antropico, prevalenti depositi granulari costituiti da una alternanza tra sabbie a vario contenuto ghiaioso e ghiaie a vario contenuto di sabbia, ciò fino a 25m (presenti due interlivelli coesivi di spessore 0,5-1m).

Dal punto di vista geomorfologico anche questo intervento ricade parzialmente, secondo il P.A.E. 2007 del Comune di Bologna, nell'ambito di un'ex cava di argilla oggi riempita; inoltre, il nuovo ponte ciclopedonale si ubica in un'area a pericolosità idraulica elevata (presenza del Canale Navile) e nelle immediate vicinanze dell'area ad alta probabilità di inondazione precedentemente indicata (Canale Battiferro).

#### **Opera PP003**

Si prevede di eseguire un nuovo ponte ciclopedonale di lunghezza 40m sul Torrente Savena, che rappresenta il confine comunale tra Bologna (a Nord) e San Lazzaro di Savena (a Sud). In corrispondenza dell'opera, che si imposta su terreni afferenti al sub-sistema di Ravenna (AES8), sono stati eseguiti nel 2021 gli specifici sondaggi PE9(DH) (c/o la spalla Sud) e PE10 (c/o la spalla Nord). La prima perforazione a carotaggio (spalla Sud) ha attraversato, dopo 1,10m di riporto antropico dovuti alla messa in posto di un metanodotto, una alternanza tra sabbie limose e limi sabbiosi passanti dopo i 5,90m ad una alternanza tra argille limose/limi argillosi e sabbie debolmente limose fino a 16,10m, poi ha rinvenuto sabbie grossolane limose per 1,30m e successivamente ghiaie con sabbia fino a 23,05m da p.c.; il sondaggio è poi proseguito fino a 30m attraversando un'alternanza di argille/limi sabbiosi/sabbie limose.

La seconda perforazione a carotaggio (spalla Nord) ha attraversato, fino a 1,50m, ghiaia con sabbia limosa debolmente ciottolosa, poi una alternanza di sabbie limose/limi sabbiosi/limi argillosi/argille limose fino a 13,80m; oltre questa profondità e fino a 23,50m si è rinvenuta prevalente ghiaia con sabbia (con interlivello decimetrico di sabbia debolmente limosa). Il sondaggio è poi proseguito fino a 28,40m attraversando un'alternanza di limi sabbiosi deb. argillosi/limi argillosi deb. Sabbiosi.

Dal punto di vista geomorfologico si può osservare la presenza, poco più a valle del punto di intervento (appena oltre il ponte di via Villanova) di un'isola fluviale; infine si sottolinea che il nuovo ponte ciclopedonale ricade in un'area a pericolosità idraulica elevata che comprende, secondo il PAI, una porzione di alveo attivo e porzioni di aree ad alta probabilità di inondazione estese su entrambe le sponde.

## 9 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

AdB Reno (2016, sito web). Piano stralcio di Assetto Idrogeologico - Variante di coordinamento tra il PGRA e i Piani Stralcio di bacino AdB Reno: cartografie tematiche (<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/suolo-bacino/sezioni/pianificazione/autorita-bacino-reno>)

AdB PO - Autorità di bacino distrettuale del fiume Po (2021, web site). Piano Gestione Rischio Alluvioni - direttiva alluvioni II° ciclo di gestione (2021-2027) (adozione I° aggiorn. 20/12/2021);

(<https://pianoalluvioni.adbpo.it/piano-gestione-rischio-alluvioni-2021/>)

ARPA Emilia Romagna (2021 sito web). Portale Dati Ambientali: livello delle acque sotterranee (<https://webbook.arpae.it/indicatore/Livello-delle-acque-sotterranee-00001/?id=19a0fc0d-7558-11e4-8845-11c9866a0f33>)

ARPA Emilia Romagna (2021 sito web): Cartografia: Acque sotterranee e Rilievo della subsidenza nella pianura emiliano-romagnola (<https://www.arpae.it/cartografia/>).

Unione Reno Galliera (2022, sito web) Cartografia del Piano Strutturale comunale (<https://www.renogalliera.it/lunione/uffici-e-servizi/uffici/area-gestione-del-territorio/urbanistica/pianificazione-di-livello-comunale-psc-poc-rue/>).

Città Metropolitana di Bologna (2021 sito web). Progetto definitivo Intermedia di Pianura

Città Metropolitana di Bologna (2013). Piano Infraregionale delle Attività Estrattive P.I.A.E. (11/2013) - (approvaz. 31/03/2014) e versioni precedenti;

Città Metropolitana di Bologna (2021 sito web). Piano Territoriale Metropolitan P.T.M. (approvaz. 12/05/2021) ([https://www.ptmbologna.it/ptm\\_approvato/](https://www.ptmbologna.it/ptm_approvato/));

Comune di Bologna. Piano Operativo Comunale (POC 2009, adozione 2014) – Relazione geologica e sismica;

Comune di Bologna (2011). Progetto definitivo ed esecutivo per la realizzazione del People Mover di Bologna (indagini di Fase 1 del 2009-2010 e di Fase 2 del 2010);

Comune di Bologna (2020). Piano Comunale Attività Estrattive P.A.E., approvazione DC/PRO/2021/64) e versioni precedenti;

Comune di Bologna. Piano Strutturale Comunale (P.S.C.) – Rischio sismico: Carta comunale delle aree suscettibili di effetti locali (2007);

Comune di Bologna. Piano Strutturale Comunale (P.S.C.) - Relazione di Piano e cartografie, tra cui la Tavola dei Vincoli "Risorse idriche e Assetto idrogeologico" (approvaz. 10/02/2020);

Comune di San Lazzaro di Savena. Piano Strutturale Comunale (PSC) redatto in forma associata con Ozzano dell'Emilia e Castenaso (approvaz. 07/04/2009, aggiorn. 15/04/2020) - relazione di Piano e cartografie, tra cui la Tavola "Tutela e Vincoli di natura storico culturale, paesaggistica ambientale relativi alla sicurezza e alla vulnerabilità del territorio";

Comune di San Lazzaro di Savena. Piano Strutturale Comunale (PSC) redatto in forma associata con Ozzano dell'Emilia e Castenaso (approvaz. 07/04/2009, aggiorn. 15/04/2020) – Microzonazione sismica (2014);

Crespellani T., Facciorusso J., Ghinelli A., Madiari C., Renzi S., Vannucchi G. (2012). Rapporto preliminare sui diffusi fenomeni di liquefazione verificatisi durante il terremoto in pianura padana emiliana del maggio 2012. Università degli studi di Firenze.

Dipartimento Protezione Civile (2021, sito web). Classificazione sismica nazionale (<https://rischi.protezionecivile.gov.it/static/e7312a649afd22a33cab15408e16ccbd/mappa-classificazione-sismica-aprile-2021-provincia.pdf>).

HERA-Gestore dei servizi idrici integrati afferente tre campi pozzi ricadenti nel territorio comunale di Bologna (campo pozzi "Borgo Panigale", "Tiro a segno" e "S. Vitale");

INGV (2021, sito web). DBMII15: Database Macrosismico Italiano, versione 3.0: sismicità storica dal 1000 al 2021. (<https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>).

INGV (2021, sito web). ISIDE (Italian Seismological Instrumental and Parametric Data-Base): Database dei dati parametrici dei terremoti avvenuti tra il 1 gennaio 1985 ed data odierna: (<http://cnt.rm.ingv.it/>).

INGV (2021, sito web) DISS3 (Database of Individual Seismogenic Sources). Strutture sismogenetiche. (<http://diss.rm.ingv.it/diss/index.php/DISS321>).

INGV (2021, sito web). MPS04-S1. Modello di pericolosità sismica del territorio nazionale (<http://esse1-gis.mi.ingv.it>).

ISPRA (2021, sito web). Carta Geologica d'Italia 1:50.000 (progetto CARG) - Foglio 220 "Casalecchio di Reno" e note illustrative.

ISPRA (2021, sito web). Carta Geologica d'Italia 1:50.000 (progetto CARG) - Foglio 221 "Bologna" e note illustrative.

ISPRA (2021, sito web). Carta Geologica d'Italia 1:100.000, foglio 87 (Bologna) e 88 (Imola). <http://sgi.isprambiente.it/geologia100k>

ISPRA (2021, sito web). ITHACA (ITaly HAZard from Capable faults). Catalogo delle faglie capaci. (<https://www.isprambiente.gov.it/it/progetti/cartella-progetti-in-corso/suolo-e-territorio-1/ithaca-catalogo-delle-faglie-capaci/default>).

ISPRA (2021, sito web). Progetto IFFI: Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia. Cartografia tematica on line (<https://www.progettoiffi.isprambiente.it/>)

Ministero dell'università e della ricerca scientifica e tecnologica. Carta Geomorfologica della Pianura Padana in scala 1:250.000;

M.U.R.S.T. Comitato Consultivo n.4 Scienze della Terra (1999). Carta Geomorfologica della Pianura Padana 1:250.000.

Provincia di Bologna (2021, sito web) Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale PTCP ([https://www.cittametropolitana.bo.it/pianificazione/PTCP - documenti di piano](https://www.cittametropolitana.bo.it/pianificazione/PTCP_-_documenti_di_piano)).

Provincia di Bologna (2021, sito web) Piano Territoriale Metropolitan P.T.M. - Città Metropolitana, Bologna (approvaz. 12/05/2021) ([https://www.ptmbologna.it/ptm\\_approvato](https://www.ptmbologna.it/ptm_approvato));

Provincia di Bologna (2021, sito web) SIT – Servizio Informativo Territoriale della Provincia di Bologna (<http://cartografia.cittametropolitana.bo.it/ptcptav>) (<http://sitmappe.comune.bologna.it/pucviewer>).

Regione Emilia Romagna e ENI-AGIP (1998). "Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna. relazione tecnica, elaborati planimetrici e sezioni geologiche e idrostratigrafiche.

Regione Emilia Romagna (2007, sito web). Geoportale e-Water dei dati relativi alle acque sotterranee (<https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/progetti-europei/archivio-progetti-europei-conclusi/ewater>)

Regione Emilia Romagna (2017, sito web). Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna e aree limitrofe (1:250.000) (<https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/pubblicazioni/cartografia-geotematica/carta-sismotettonica-della-regione-emilia-romagna-e-aree-limitrofe-edizione-2016>).

Regione Emilia Romagna (2021). (<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/servizi-on-line/cartografia-interattiva>).

- Carta Geologica di pianura dell'Emilia-Romagna in scala 1:250.000;
- Carta Geologica in scala 1:10.000 della Regione Emilia-Romagna;
- Carta dei suoli della pianura, del basso e medio Appennino emiliano-romagnolo in scala 1:50.000;
- Sezioni geologiche e prove geognostiche della pianura emiliano romagnola;
- Piezometrie e qualità delle acque sotterranee nella pianura emiliano-romagnola.

Regione Emilia Romagna (2021, sito web). Portale minERva: Catalogo dei Dati Geografici (<https://datacatalog.regione.emilia-romagna.it/catalogCTA>).

Regione Emilia Romagna (2021 sito web). Mappe della pericolosità e del rischio di alluvione (<https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/suolo-bacino/sezioni/piano-di-gestione-del-rischio-alluvioni>)

Regione Emilia Romagna (2021 sito web). Mappe Direttiva Alluvioni 2019 e 2014 (<https://servizimoka.regione.emilia-romagna.it/mokaApp/apps/DA/index.html>)

Regione Emilia Romagna (2021, sito web). Classificazione sismica in Emilia Romagna (<https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/sismica/la-classificazione-sismica/la-classificazione-sismica-dei-comuni-in-emilia-romagna>).

Regione Emilia Romagna – Dipartimento Protezione Civile (2021, web site). Carta degli effetti della liquefazione osservati dopo i terremoti del 20 e 29 maggio 2012 ([http://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/liq2012/mappa\\_liquefazioni\\_01.pdf](http://mappegis.regione.emilia-romagna.it/gstatico/documenti/liq2012/mappa_liquefazioni_01.pdf))

Severi P. e Bonzi L. (2014). Gli acquiferi dell'Emilia-Romagna - Cenni sulla geologia dell'acquifero della pianura emiliano-romagnola. In: Esperienze e prospettive nel monitoraggio delle acque sotterranee. Il contributo dell'Emilia-Romagna. Pitagora Editrice.

Spea Ingegneria Europea (2004). Progetto esecutivo di potenziamento del sistema autostradale e tangenziale (2004);

Spea Ingegneria Europea. Progetto esecutivo del prolungamento della Complanare di Bologna tra Borgo S. Lazzaro ed Osteria Grande;

Spea Engineering Spa (2017). Progetto esecutivo di ampliamento alla quarta corsia tra Bologna San Lazzaro e la diramazione per Ravenna;

Spea Engineering Spa (2016). Progetto definitivo dell'ampliamento alla terza corsia della A13 tra Ferrara e Bologna e studi per il progetto esecutivo;

Spea Engineering Spa (2019). Progetto di Ampliamento alla Terza Corsia tra Bologna e Ferrara: documentazione specialistica geologica.

Spea Engineering Spa (2020). Progetto definitivo di potenziamento in sede del sistema autostradale e tangenziale di bologna. "Passante di bologna": documentazione specialistica geologica.