



# CONSORZIO di BONIFICA dell' EMILIA CENTRALE

Corso Garibaldi n. 42 42121 Reggio Emilia - www.emiliacentrale.it - direzione@emiliacentrale.it  
Tel. 0522-443211 Fax. 0522-443254 C.F. 91149320359

M - PRG.  
18.01

Rev. 4  
del  
23.02.2021

Titolo:

## MESSA IN SICUREZZA E CONSOLIDAMENTO DELLE ARGINATURE DEL RIO ENZOLA CON REALIZZAZIONE DI MANUFATTO DERIVATORE IN AREA DI LAMINAZIONE LATERALE

(Codice intervento: 16950)

|                    |                     |                         |            |  |  |
|--------------------|---------------------|-------------------------|------------|--|--|
| Importo:           | <b>1.100.000,00</b> | Ente Finanziatore:      | <b>RER</b> |  |  |
| Tipologia Progetto |                     | Riferimento Legislativo | Comune     |  |  |
| Fattibilità        | Preliminare         | Definitivo              | Esecutivo  | OCDP 503/2018<br>decreto RER n.18 del 24/02/21 | <b>QUATTRO CASTELLA (RE)<br/>BIBBIANO (RE)</b> |
|                    |                     | X                       |            |  |  |

### ELABORATO

| N.       | Titolo:  |
|----------|--|
| <b>C</b> | <b>RELAZIONE<br/>GEOLOGICA E DI<br/>MODELLAZIONE<br/>SISMICA</b> |
| Scala:   |  |

Il Progettista Generale:

**Dott. Ing. Roberto Zanzucchi  
F.to**



Consulenza Specialistica:

**GEOLOGIA**

**Dott. Geol. Stefano Castagnetti  
Dott. Geol. Marco Baldi**

Il Responsabile del Procedimento:

**Dott. Agr. Aronne Ruffini  
F.to**

|                                    |                                      |                                       |             |
|------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|-------------|
| Area Progettazione:<br><b>SAAF</b> | Codice Progetto:<br><b>114/20/00</b> | Codice CUP:<br><b>G25H21000120001</b> | Codice CIG: |
|------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|-------------|

| Redatto: | Verificato: | Nome File: | Note: |
|----------|-------------|------------|-------|
|          |             |            |       |
|          |             |            |       |
|          |             |            |       |

|                          |                    |                     |  |
|--------------------------|--------------------|---------------------|--|
| Data Progetto Originale: | <b>Maggio 2021</b> | Data Aggiornamento: |  |
|--------------------------|--------------------|---------------------|--|

UNI EN ISO 9001:2015

UNI EN ISO 14001:2015

OHSAS 45001:2018



# INDICE

|   |    |
|---|----|
| 1. PREMESSA.....  | 1  |
| 2. MODELLO GEOLOGICO.....   | 3  |
| 2.1 Caratteri geologici e morfologici .....                                 | 3  |
| 2.2 Caratteri strutturali e sismici .....                                   | 4  |
| 3. CARATTERISTICHE LITOSTRATIMETRICHE, GEOMECCANICHE E IDROGEOLOGICHE ..... | 11 |
| 4. PERICOLOSITÀ SISMICA .....   | 15 |
| 4.1 Pericolosità sismica di base .....                                      | 15 |
| 4.2 Risposta sismica locale .....   | 16 |
| 4.2.1 Categoria del sottosuolo di fondazione .....                          | 17 |
| 4.2.2 Effetti sismici locali .....  | 19 |
| 5. CONCLUSIONI.....   | 21 |
| 6. Allegato 1 – POZZETTI ESPLORATIVI (dott. Geol. P. Beretti, 2019).....    | 22 |

## 1. PREMESSA

---

Su incarico e in stretto raccordo con l'ing. Roberto Zanzucchi dello Studio Zanzucchi Associati, è stata redatta la presente Relazione Geologica e di Modellazione Sismica dei terreni ubicati nei Comuni di Quattro Castella e Bibbiano, interessati dal Progetto per la messa in sicurezza e consolidamento delle arginature del Rio Enzola con realizzazione di manufatto derivatore in area di laminazione laterale, finanziato dalla Regione Emilia-Romagna (OCDPC 503/2018 – Decreto RER n° 18 del 24/02/2021 – Codice intervento: 16950) e che vede come Soggetto attuatore il Consorzio di Bonifica dell'Emilia Centrale. L'area di intervento è evidenziata con il tratto rosso in Fig. 1.

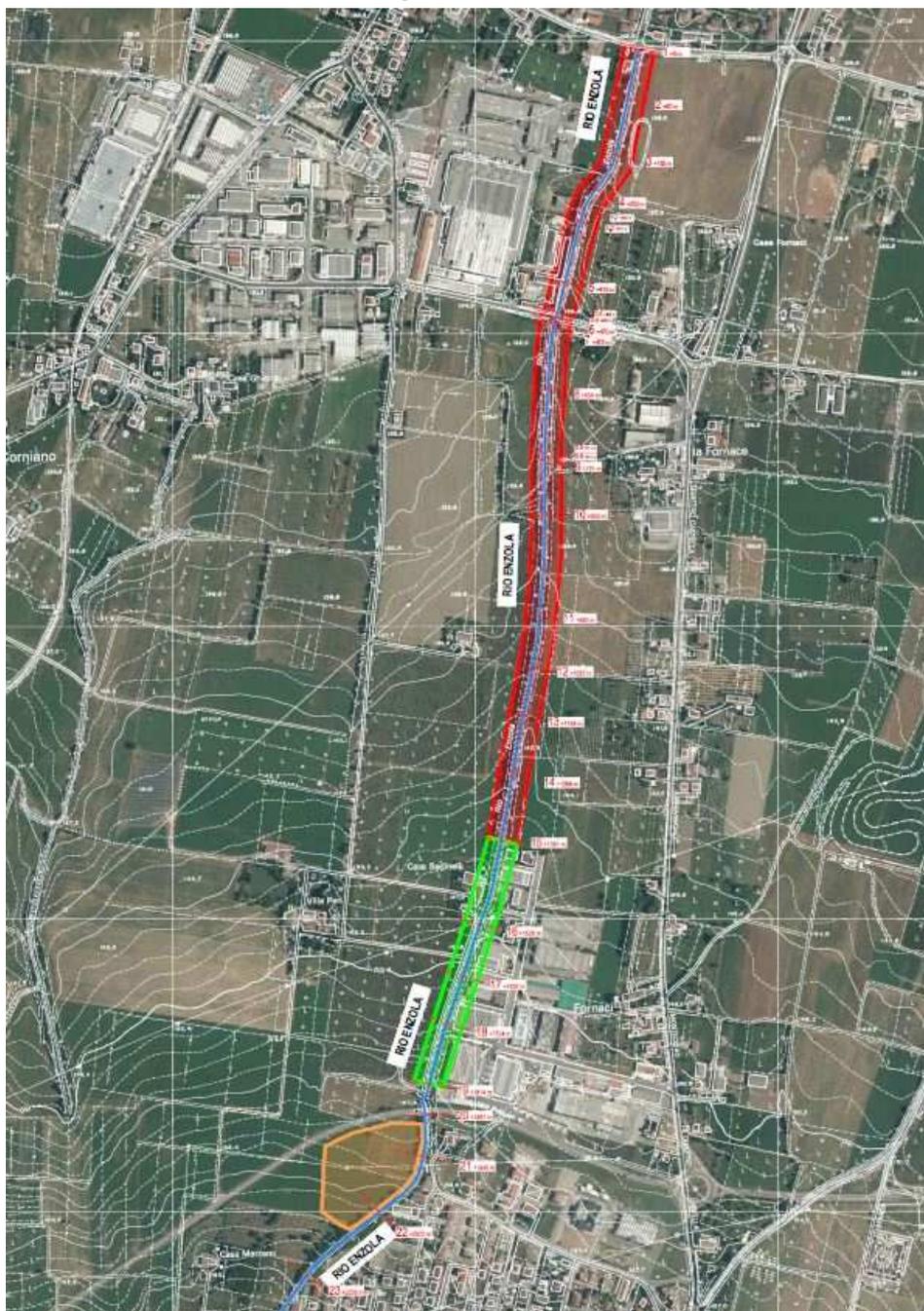


FIGURA 1: INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il presente studio è stato condotto nel rispetto delle seguenti norme:

- D.P.R. 328/2001 *“Modifiche ed integrazioni della disciplina dei requisiti per l'ammissione all'esame di Stato e delle relative prove per l'esercizio di talune professioni, nonché della disciplina dei relativi ordinamenti”*;
- Ordinanza P.C.M. n° 3274/2003 e ss.mm.ii *“Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica” e ss.mm.ii*;
- L.R. 30 ottobre 2008, n° 19 *“Norme per la riduzione del rischio sismico” e s.m.i.*;
- D.Lgs. 3.4.2006, n° 152 *“Norme in materia ambientale” e s.m.i.*;
- L.R. Emilia Romagna 30.11.2009 n° 23 *“Norme in materia di tutela e valorizzazione del paesaggio. Modifica della Legge Regionale 24.03.2000 n. 20 (Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio) e norme transitorie in merito alla Legge Regionale 30.10.2008 n.19 (Norme per la riduzione del rischio sismico)”*;
- D.M. 17.01.2018 *Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» (NTC 2018)*;
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018, Circolare 21 gennaio 2019.

L'obiettivo dello studio è stato quello di caratterizzare l'area sotto il profilo geolitologico, idrogeologico, sismico e geotecnico, al fine di fornire gli elementi di conoscenza necessari alla formulazione delle scelte progettuali.

Ai fini della ricostruzione dell'andamento litostratigrafico superficiale è stato fatto riferimento al *“Rapporto geologico geotecnico e sismico”*, datato Dicembre 2019, a firma del dott. geol. Paolo Beretti, redatto per conto di Studio Alfa Engineering nell'ambito della progettazione di Interventi di mitigazione del rischio idraulico nel bacino del Rio Enzola – Lotto 1.

Per la definizione del modello geofisico del sottosuolo si è altresì fatto riferimento allo Studio di Microzonazione Sismica del territorio comunale di Quattro Castella realizzato da SUBSOIL srl e validato dalla Commissione Tecnica Nazionale in data 19/07/2018 e allo studio di Microzonazione Sismica del territorio comunale di Bibbiano realizzato da una RTP con Capofila ENGEO srl e in corso di validazione.

La ricerca bibliografica e le verifiche di campagna hanno consentito di realizzare i seguenti elaborati:

- Tav. 1 – Carta geologica (scala 1:10.000);
- Tav. 2 – Ubicazione indagini (scala 1:8.000);
- Allegato 1 – Pozzetti esplorativi (dott. geol. P. Beretti, 2019).

## 2. MODELLO GEOLOGICO

---

### 2.1 CARATTERI GEOLOGICI E MORFOLOGICI

L'area in questione è situata in corrispondenza del margine appenninico, ossia nella zona a cavallo del limite morfologico Appennino – Pianura Padana, costituita dai primi rilievi collinari dell'Appennino e dalla fascia pedemontana della Pianura Padana.

Si tratta di una zona caratterizzata da un contesto geodinamico dominato da una tettonica a stile compressivo, che ha determinato un generale raccorciamento del margine appenninico e dell'edificio padano. Tale zona si caratterizza per la presenza di frange di depositi alluvionali, residui di una deposizione operata dai corsi d'acqua appenninici a partire dal Pleistocene, che hanno dato origine ad ampie conoidi, con ghiaie prevalenti in corrispondenza degli apparati fluviali principali e limi prevalenti o comunque abbondanti nelle aree di interconoide.

La pianura emiliano-romagnola è infatti il risultato del riempimento del Bacino Perisuturale Padano, legato all'orogenesi dell'Appennino settentrionale, la cui successione di depositi plio-quadernari presenta nel complesso un carattere regressivo, con alla base sabbie e peliti torbiditiche seguite da un prisma sedimentario fluvio-deltizio progradante, ricoperto al tetto da depositi continentali.

I depositi continentali risultano costituiti da alternanze di litofacies argillose, limose e ghiaiose a stratificazione lenticolare, la cui granulometria è in stretto rapporto con l'energia delle correnti fluviali che le hanno originate: i sedimenti grossolani sono il risultato di una deposizione avvenuta in ambiente di canale fluviale, mentre quelli fini di una sedimentazione per tracimazione avvenuta in zone distali dall'alveo attivo. I depositi alluvionali poggiano in discordanza su sedimenti marino-marginali di età plio-plestocenica, a loro volta sovrapposti a depositi argillosi pliocenici di origine marina attribuiti alla Formazione delle Argille Azzurre, affioranti nella prima fascia collinare.

Con riferimento alla terminologia della nuova "Carta Geologica della Regione Emilia-Romagna – Progetto CARG", i depositi alluvionali affioranti nell'areale di studio appartengono al Sintema Emiliano-Romagnolo superiore e possono essere così distinti (cfr. Tav. 1):

- Subsintema di Ravenna: Limi sabbiosi e limi argillosi negli apparati dei torrenti minori o ghiaie in lenti entro limi, subordinate ghiaie e ghiaie sabbiose in quelli dei torrenti e fiumi principali. A tetto suoli a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente fino a 150 cm e parziale decarbonatazione; orizzonti superficiali di colore giallo-bruno. Potenza fino a oltre 20 m (Olocene - età radiometrica della base: 11.000 ÷ 8.000 anni).
- Subsintema di Villa Verucchio – Unità di Niviano: Depositi continentali ghiaioso sabbiosi dei terrazzi intravallivi e di conoide dei fiumi principali, e limo-sabbiosi dei torrenti minori. Al tetto suoli decarbonatati, a luoghi rubeffatti, con fronte di alterazione < 5 metri, orizzonti superficiali con colore variabile a seconda della litologia da rosso bruno a giallo bruno. Contatto inferiore in discontinuità su unità più antiche. Contatto superiore coincidente con la superficie topografica nelle aree intravallive e pedecollinari, sepolto dall'Unità di Vignola e dal Subsintema di Ravenna nell'alta pianura. Potenza affiorante < 10 m o non valutabile (Pleistocene sup.).

Più in particolare il tratto di Rio Enzola ricompreso nel progetto ricade su terreni attribuiti al Subsistema di Ravenna, aventi forma lobata e che ricoprono depositi più antichi attribuiti al Subsistema di Villa Verrucchio – Unità di Niviano.

Dal punto di vista morfologico l'area di intervento si colloca a quote comprese tra i circa 149 m s.l.m. dell'estremo limite meridionale e i circa 131,50 m s.l.m. dell'estremo limite settentrionale.

L'elemento morfologico di maggior rilievo è rappresentato dal Rio Enzola, il cui tracciato si sviluppa in condizioni di pensilità rispetto alla campagna circostante.

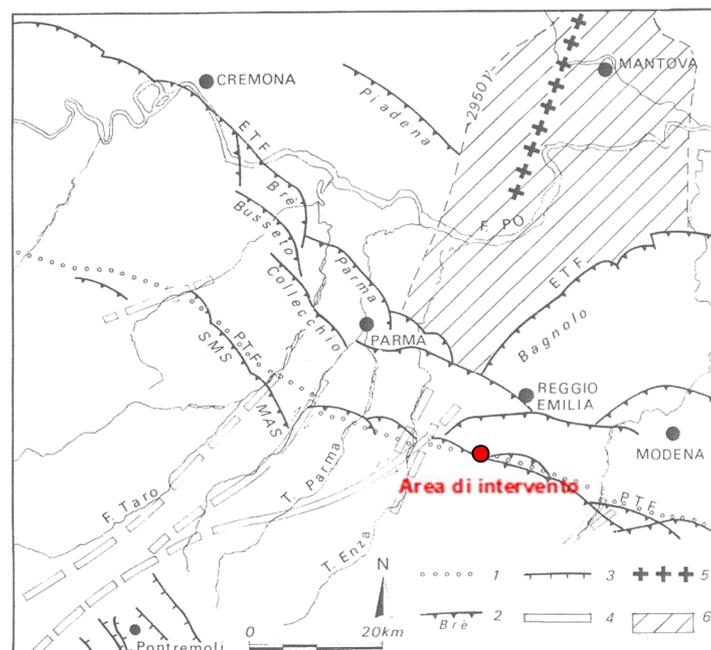
Il corso d'acqua presenta un alveo ristretto, delimitato da arginature continue ricoperte da una folta vegetazione, fatta eccezione per il tratto terminale in Comune di Bibbiano.

La zona è stabile e priva di forme di degradazione o dissesti, fatta eccezione per la condizione di precarietà e inadeguatezza in cui versano i rilevati arginali.

Infatti il Rio Enzola nel tratto in oggetto non è attualmente in grado di far transitare in sicurezza onde di piena con portate maggiori di 7 mc/s e determina una condizione di elevato rischio per il territorio circostante, che sarà mitigata grazie agli interventi in progetto.

## 2.2 CARATTERI STRUTTURALI E SISMICI

La fascia di territorio entro cui ricade il territorio in questione si inserisce in un contesto geodinamico caratterizzato da una tettonica a stile compressivo, che ha determinato un generale raccorciamento del margine appenninico e dell'edificio padano. Tale raccorciamento si è prodotto attraverso due importanti fasci paralleli di strutture di embricazione sepolte aventi direzione NW-SE e vergenza verso NE (Fig. 2), le cui superfici di distacco interessano la copertura mesozoica e terziaria (Boccaletti et al., 1985).



1) Margine morfologico appenninico. 2) Strutture Agip citate nel testo. 3) Faglie normali della fossa tettonica della Lunigiana. 4) Linee trasversali di ordine maggiore. 5) Asse di alto del «basamento magnetico». 6) Massimo dell'anomalia magnetica residua (oltre 2950 γ).

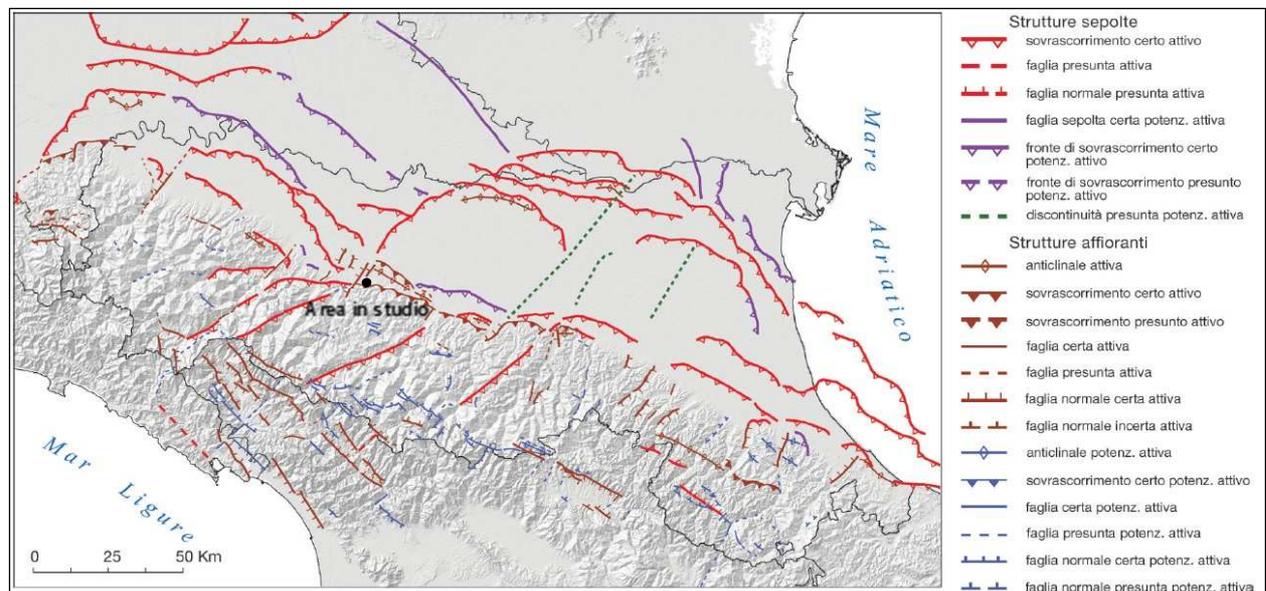
**FIGURA 2: SCHEMA STRUTTURALE DEL MARGINE E DEL FRONTE APPENNINICO (M. BERNINI E G. PAPANI).**

Il fascio più settentrionale (External Thrust Front = ETF), coincidente con l'allineamento Cremona-Parma-Reggio E., appartiene all'arco delle "Pieghe Emiliane", che dall'Appennino vogherese si estendono fino alla linea del Sillaro: esso risulta costituito da un sistema di thrust ciechi ed arcuati in pianta, interessati da discontinuità trasversali con probabile componente di movimento trascorrente.

Il fascio meridionale (Pedeapenninic Thrust Front = PTF), coincidente con il margine morfologico appenninico, si sviluppa nel sottosuolo in corrispondenza dei terrazzi pre-wurmiani. Anche questo fronte risulta coinvolto da discontinuità trasversali (linee) coincidenti con alcuni corsi d'acqua appenninici (Stirone, Taro, Baganza ed Enza), che delimitano settori a diverso comportamento tettonico-sedimentario.

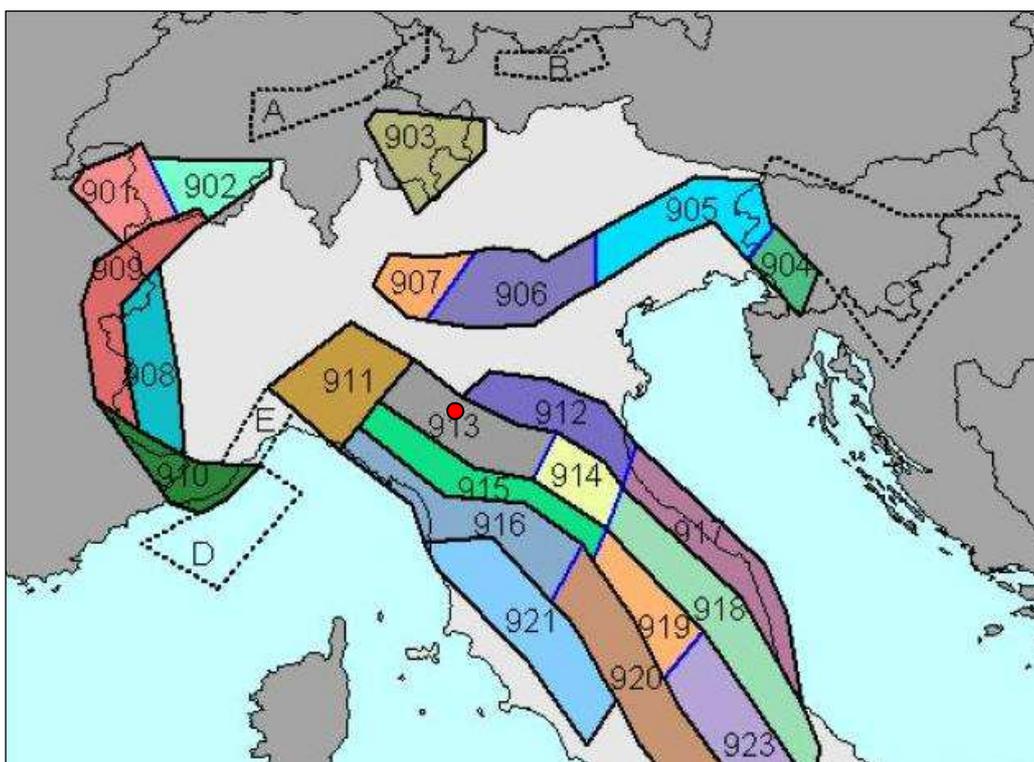
In particolare la Linea dell'Enza, caratterizzata da un fascio di faglie e fratture comprese fra le valli del Termina e dell'Enza ed interpretata nel complesso come faglia trascorrente sinistra, ha determinato un arretramento dell'unità parmense rispetto a quella reggiana, con conseguente disallineamento del margine appenninico, ed un maggiore sollevamento del settore posto ad ovest di tale linea trasversale (Bernini e Papani, 1987).

Le ricerche in campo sismotettonico avviate dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna, sintetizzate nella "Carta Sismotettonica della Regione Emilia-Romagna" (2017), hanno messo in evidenza gli elementi strutturali attivi del territorio, riconosciuti sulla base di dati morfologici e geologici. In particolare, con riferimento all'area in esame, risultano attivi i sovrascorrimenti del fronte pedeappenninico e quelli sepolti che danno luogo agli archi di Parma e Reggio Emilia (Fig. 3).



**FIGURA 3: MAPPA DI SINTESI DELLE STRUTTURE TETTONICHE ATTIVE E POTENZIALMENTE ATTIVE RICONOSCIUTE IN EMILIA-ROMAGNA (DA: "NOTE ILLUSTRATIVE DELLA CARTA SISMOTETTONICA DELLA REGIONE EMILIA-ROMAGNA ED AREE LIMITROFE" - SERVIZIO GEOLOGICO SISMICO E DEI SUOLI - REGIONE EMILIA-ROMAGNA - 2017)**

Sotto il profilo sismico, gli studi sulla pericolosità sismica, promossi dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), hanno portato alla definizione di una nuova zonazione sismogenetica del territorio italiano, denominata ZS9, che prevede una suddivisione in 36 zone (Fig. 4), i cui limiti sono stati tracciati sulla base di informazioni tettoniche o geologico-strutturali e di differenti caratteristiche della sismicità, quali distribuzione spaziale e frequenza degli eventi, massima magnitudo rilasciata, ecc..

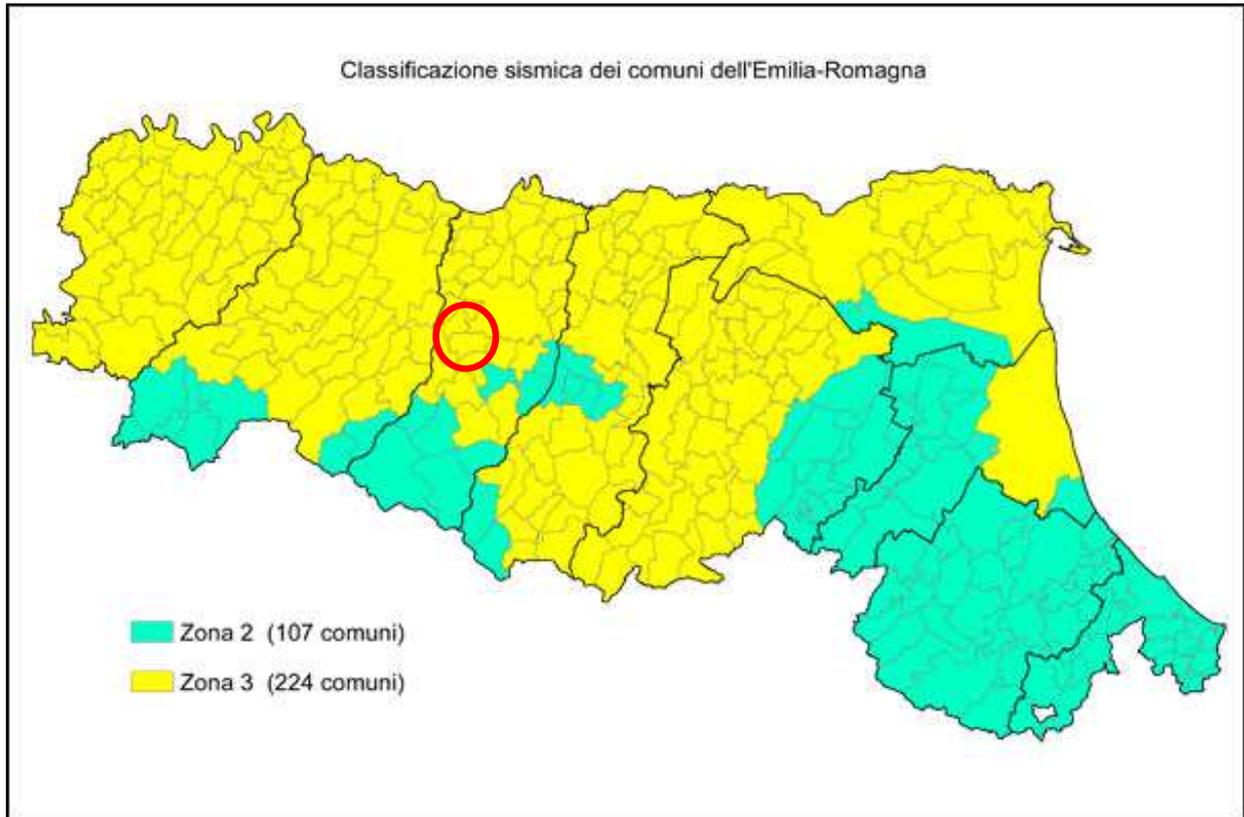


**FIGURA 4: ZONAZIONE SISMOGENETICA ZS9 (TRATTA DA: "REDAZIONE DELLA MAPPA DI PERICOLOSITÀ SISMICA – RAPPORTO CONCLUSIVO – BOZZA APRILE 2004" - INGV). IL PUNTO ROSSO SEGNA APPROSSIMATIVAMENTE L'AREA DI INTERVENTO.**

In particolare il territorio dei Comuni di Quattro Castella e Bibbiano ricade nella zona sismogenetica "913", caratterizzata da terremoti di magnitudo medio-bassa, originati da movimenti prevalentemente compressivi NW con meccanismi trascorrenti nelle zone di svincolo, che dissecano la continuità longitudinale delle strutture sepolte attive. Il maggior numero di terremoti che si verificano in questa zona, presenta il proprio ipocentro a profondità comprese tra 12 e 20 km e i valori di magnitudo massima previsti, sulla base dei meccanismi focali, sono pari a  $Mw_{max} = 6,14$ .

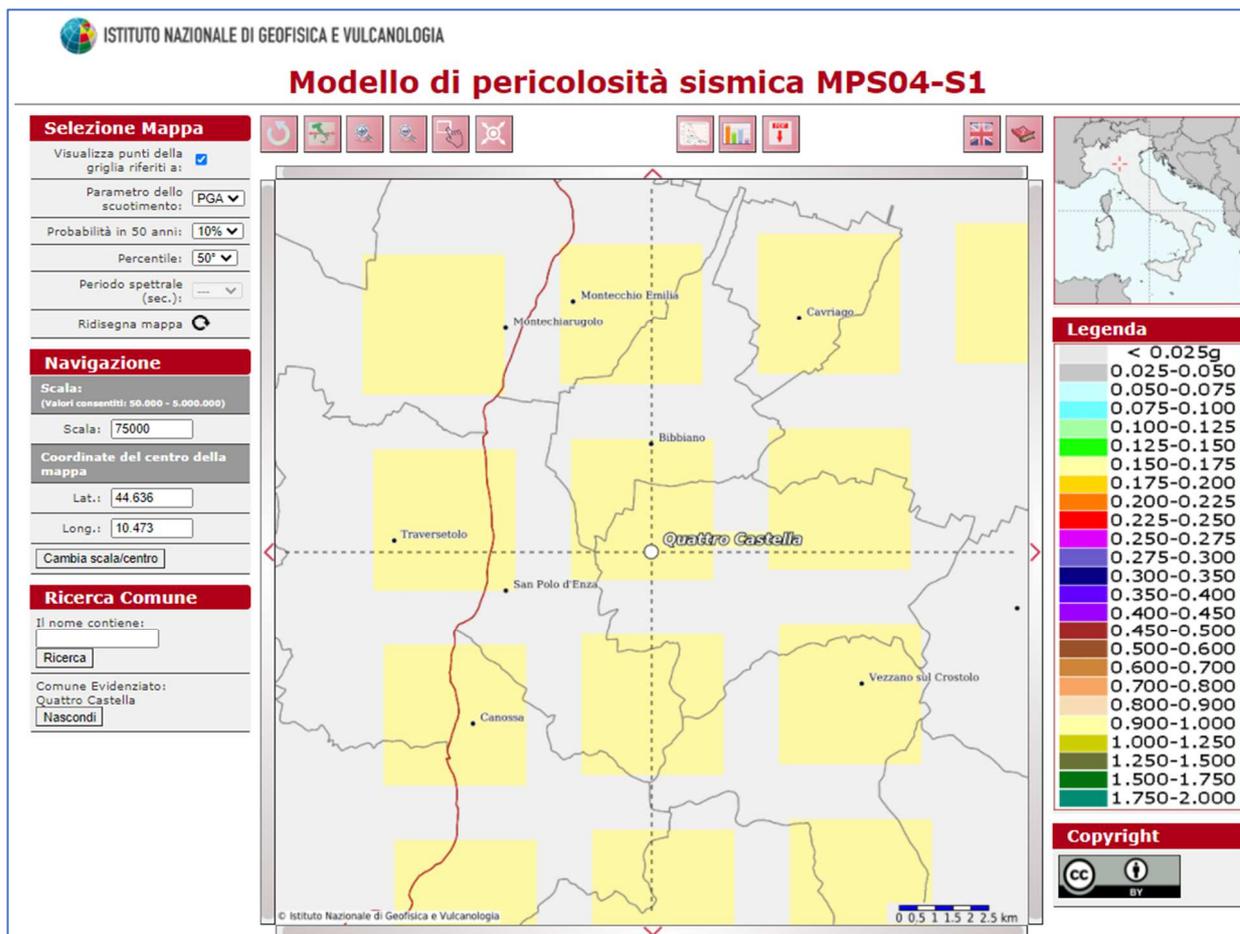
Con l'emanazione dell'OPCM n° 3274/2003 *"Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"* e ss.mm.ii., i Comuni di Quattro Castella e di Bibbiano erano stati classificati sismici in ZONA 3.

A seguito della DGR n° 1164/2018 *"Aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei comuni dell'Emilia-Romagna"*, i Comuni di Quattro Castella e Bibbiano sono stati confermati in ZONA 3 (Fig. 5).



**FIGURA 5: CLASSIFICAZIONE SISMICA DELL'EMILIA-ROMAGNA DI CUI ALLA DGR 1164 DEL 23.07.2018. REGIONE EMILIA-ROMAGNA. IL CERCHIO ROSSO INDIVIDUA IL TERRITORIO DEI COMUNI DI QUATTRO CASTELLA E BIBBIANO**

In Fig. 6 si riporta il risultato della consultazione tramite il sito <http://esse1-gis.mi.ingv.it> della mappa probabilistica della pericolosità sismica del territorio nazionale, espressa su una griglia regolare a passo  $0,05^\circ$  relativamente al parametro dello scuotimento rappresentato da **a(g)** (accelerazione orizzontale massima del suolo), in cui è possibile osservare che il territorio in questione si colloca in un areale in cui si possono verificare terremoti caratterizzati da un'accelerazione massima del suolo ( $a_{max}$ ) compresa tra  $0,150 \div 0,175$  g.



**FIGURA 6: STRALCIO DELLA MAPPA DI PERICOLOSITÀ SISMICA DEI COMUNI DI QUATTRO CASTELLA E BIBBIANO ESPRESSA IN TERMINI DI A(G) PER UN TEMPO DI RITORNO DI 475 ANNI**

Per una completa valutazione del terremoto di riferimento, si è provveduto ad estrarre dal Database macrosismico dell'INGV (DBMI15 v3.0), che costituisce la base del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI v3.0), gli eventi sismici che hanno storicamente interessato il territorio in studio (Tabb. 1 e 2 – Figg. 7 e 8).

| Effetti | In occasione del terremoto del |    |    |    |    |    |                    |      |     |      |
|---------|--------------------------------|----|----|----|----|----|--------------------|------|-----|------|
| Int.    | Anno                           | Me | Gi | Ho | Mi | Se | Area epicentrale   | NMDP | Io  | Mw   |
| 7       | 1831                           | 09 | 11 | 18 | 15 |    | Pianura emiliana   | 25   | 7-8 | 5.48 |
| 7       | 1971                           | 07 | 15 | 01 | 33 | 23 | Parmense           | 228  | 8   | 5.51 |
| 6-7     | 1832                           | 03 | 13 | 03 | 30 |    | Reggiano           | 97   | 7-8 | 5.51 |
| 6       | 1831                           | 09 | 13 | 05 | 30 |    | Pianura emiliana   | 7    |     |      |
| 6       | 1996                           | 10 | 15 | 09 | 55 | 5  | Pianura emiliana   | 135  | 7   | 5.38 |
| 5-6     | 1983                           | 11 | 09 | 16 | 29 | 52 | Parmense           | 850  | 6-7 | 5.04 |
| 5-6     | 2008                           | 12 | 23 | 15 | 24 | 2  | Parmense           | 291  | 6-7 | 5.36 |
| 5       | 1967                           | 04 | 03 | 16 | 36 | 18 | Reggiano           | 45   | 5   | 4.44 |
| 5       | 1987                           | 04 | 24 | 02 | 30 | 2  | Reggiano           | 54   | 6   | 4.64 |
| 5       | 1988                           | 03 | 15 | 12 | 03 | 1  | Reggiano           | 160  | 6   | 4.57 |
| 4-5     | 1987                           | 05 | 02 | 20 | 43 | 5  | Reggiano           | 802  | 6   | 4.71 |
| 4-5     | 1995                           | 12 | 31 | 21 | 29 | 0  | Appennino reggiano | 96   | 4-5 | 4.51 |
| 4-5     | 2000                           | 06 | 18 | 07 | 42 | 0  | Pianura emiliana   | 304  | 5-6 | 4.40 |
| 3-4     | 1996                           | 10 | 26 | 04 | 56 | 0  | Pianura emiliana   | 63   | 5-6 | 3.94 |
| 3       | 2002                           | 06 | 18 | 22 | 23 | 0  | Frignano           | 186  | 4   | 4.30 |

TABELLA 1 - ELENCO DEI TERREMOTI PIÙ FORTI RISENTITI NELL'AREA DI QUATTRO CASTELLA TRA IL 1000 E IL 2017 - ROVIDA A., LOCATI M., CAMASSI R., LOLLI B., GASPERINI P., ANTONUCCI A. (2021). CATALOGO PARAMETRICO DEI TERREMOTI ITALIANI (CPTI15), VERSIONE 3.0. ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA (INGV). [HTTPS://DOI.ORG/10.13127/CPTI/CPTI15.3](https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.3) - PARZIALMENTE MODIFICATO)

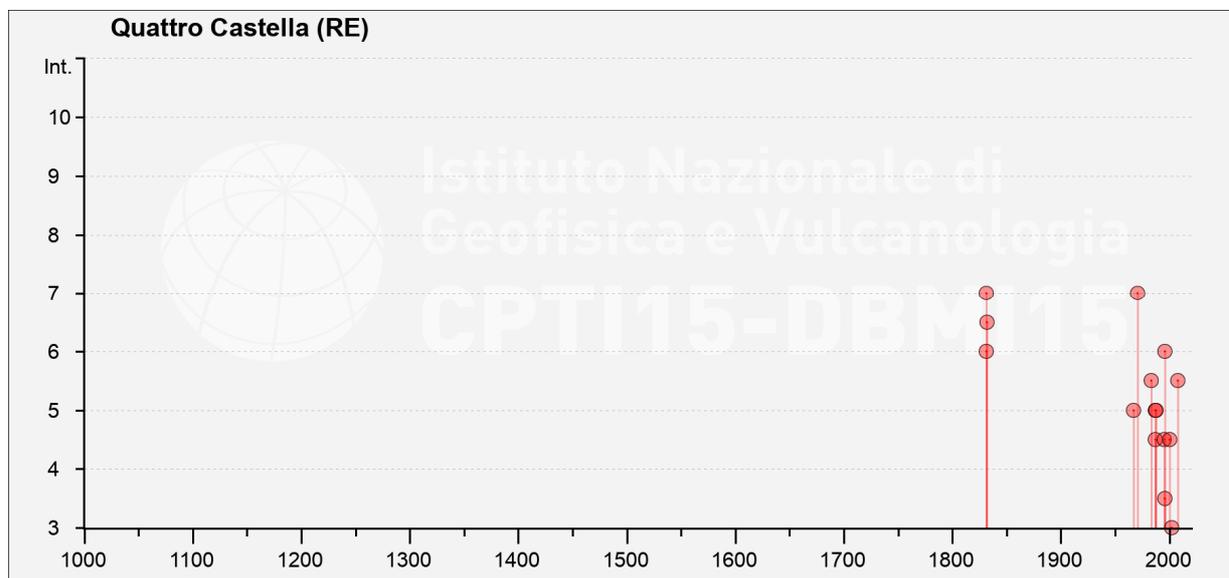


FIGURA 7: RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DELLA STORIA SISMICA DI QUATTRO CASTELLA LIMITAMENTE AI TERREMOTI CON INTENSITÀ EPICENTRALE  $\geq 3$  (CFR. TAB. 1). ROVIDA A., LOCATI M., CAMASSI R., LOLLI B., GASPERINI P., ANTONUCCI A. (2021). CATALOGO PARAMETRICO DEI TERREMOTI ITALIANI (CPTI15), VERSIONE 3.0. ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA (INGV). [HTTPS://DOI.ORG/10.13127/CPTI/CPTI15.3](https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.3)

| Effetti | In occasione del terremoto del |    |    |    |    |    |                    |      |     |      |
|---------|--------------------------------|----|----|----|----|----|--------------------|------|-----|------|
| Int.    | Anno                           | Me | Gi | Ho | Mi | Se | Area epicentrale   | NMDP | Io  | Mw   |
| 7       | 1831                           | 09 | 11 | 18 | 15 |    | Pianura emiliana   | 25   | 7-8 | 5.48 |
| 7       | 1971                           | 07 | 15 | 01 | 33 | 23 | Parmense           | 228  | 8   | 5.51 |
| 6-7     | 1832                           | 03 | 13 | 03 | 30 |    | Reggiano           | 97   | 7-8 | 5.51 |
| 6       | 1831                           | 09 | 13 | 05 | 30 |    | Pianura emiliana   | 7    |     |      |
| 6       | 1983                           | 11 | 09 | 16 | 29 | 52 | Parmense           | 850  | 6-7 | 5.04 |
| 6       | 1987                           | 05 | 02 | 20 | 43 | 5  | Reggiano           | 802  | 6   | 4.71 |
| 5-6     | 1996                           | 10 | 15 | 09 | 55 | 5  | Pianura emiliana   | 135  | 7   | 5.38 |
| 5       | 2008                           | 12 | 23 | 15 | 24 | 2  | Parmense           | 291  | 6-7 | 5.36 |
| 4-5     | 1920                           | 09 | 07 | 05 | 55 | 40 | Garfagnana         | 750  | 10  | 6.53 |
| 4-5     | 1988                           | 03 | 15 | 12 | 03 | 1  | Reggiano           | 160  | 6   | 4.57 |
| 4-5     | 1998                           | 02 | 21 | 02 | 21 | 0  | Pianura emiliana   | 104  | 5   | 3.93 |
| 4       | 1995                           | 12 | 31 | 21 | 29 | 0  | Appennino reggiano | 96   | 4-5 | 4.51 |
| 3-4     | 2000                           | 06 | 18 | 07 | 42 | 0  | Pianura emiliana   | 304  | 5-6 | 4.40 |
| 3       | 1989                           | 10 | 03 | 09 | 41 | 3  | Appennino parmense | 91   | 4   | 4.04 |

TABELLA 2 - ELENCO DEI TERREMOTI PIÙ FORTI RISENTITI NELL'AREA DI BIBBIANO TRA IL 1000 E IL 2017 - ROVIDA A., LOCATI M., CAMASSI R., LOLLI B., GASPERINI P., ANTONUCCI A. (2021). CATALOGO PARAMETRICO DEI TERREMOTI ITALIANI (CPTI15), VERSIONE 3.0. ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA (INGV). [HTTPS://DOI.ORG/10.13127/CPTI/CPTI15.3](https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.3) - PARZIALMENTE MODIFICATO)

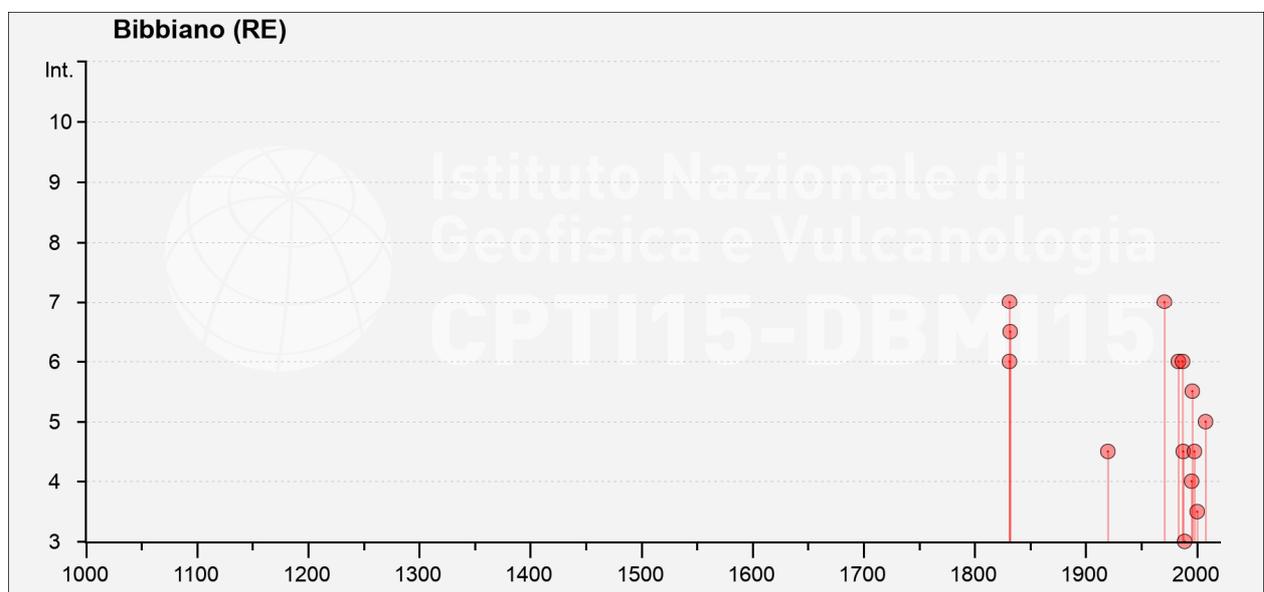


FIGURA 8: RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DELLA STORIA SISMICA DI BIBBIANO LIMITAMENTE AI TERREMOTI CON INTENSITÀ EPICENTRALE  $\geq 3$  (CFR. TAB. 1). ROVIDA A., LOCATI M., CAMASSI R., LOLLI B., GASPERINI P., ANTONUCCI A. (2021). CATALOGO PARAMETRICO DEI TERREMOTI ITALIANI (CPTI15), VERSIONE 3.0. ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA (INGV). [HTTPS://DOI.ORG/10.13127/CPTI/CPTI15.3](https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.3)

### 3. CARATTERISTICHE LITOSTRATIMETRICHE, GEOTECNICHE E IDROGEOLOGICHE

---

Ai fini della ricostruzione dell'assetto litostratimetrico dell'area di intervento si è fatto riferimento al citato lavoro condotto dal dott. geol. Paolo Beretti nel 2019 e sono stati eseguiti rilievi di campagna lungo l'intero tratto di corso d'acqua interessato dagli interventi in progetto (dalla sezione 15 alla sezione 1 procedendo da monte verso valle).

L'alveo presenta un letto costituito da ghiaie medie e grossolane, con ciottoli e rari blocchi, in scarsa matrice limoso-argillosa. Localmente è stata osservata la presenza di frammenti di laterizio derivanti prevalentemente dal disfacimento dei rivestimenti laterali.

I pozzetti esplorativi hanno evidenziato uno spessore di circa 90 cm dell'orizzonte superficiale, in ricoprimento di un livello costituito da ghiaie medio-fini in matrice limoso-sabbiosa, con rari ciottoli embriciati. Lo spessore di tale livello è stimabile in 70-80 cm.

Al di sotto e sino alla profondità massima indagata (circa -2,10÷-2,30 m) è presente un ulteriore livello costituito da ghiaie medie e grossolane con caratteristiche simili al livello superficiale.

Le arginature presenti in destra e sinistra idraulica sono costituite da un'ossatura portante di natura ghiaiosa, con la sponda interna subverticale realizzata mediante muretti a secco con ciottoli di grosse dimensioni sbazzati, muretti in mattone pieno e, localmente, in calcestruzzo.

Viceversa il paramento esterno, interessato da una folta vegetazione arborea in prevalenza alloctona, è stato rivestito con depositi fini argillosi limosi sino al raccordo con il piano campagna.

Il piano campagna, sia in destra che in sinistra idraulica, presenta un livello orizzontale argilloso-limoso, interessato da coltivazioni agricole, in ricoprimento di un substrato grossolano a ghiaie prevalenti. Localmente l'originaria copertura fine è stata asportata in quanto interessata da cave di argilla a servizio delle fornaci per la produzione di laterizi un tempo attive nella zona, come testimoniato dai toponimi "Fornace" e "Fornaci". I depositi affioranti sono attribuibili al Subsistema di Ravenna.

Per quanto riguarda la stratigrafia profonda si è fatto riferimento alla stratigrafia di un pozzo ubicato in un fabbricato produttivo dismesso in fregio all'area di intervento (cfr. Tav. 2) e riportato nel database della Carta geologica regionale con la sigla **200100P711**:

|           |            |                |
|-----------|------------|----------------|
| da 0,00   | a -2,00 m  | humus          |
| da -2,00  | a -8,00 m  | argilla gialla |
| da -8,00  | a -11,00 m | ghiaia         |
| da -11,00 | a -20,00 m | argilla verde  |
| da -20,00 | a -27,00 m | argilla cenere |
| da -27,00 | a -31,00 m | ghiaia         |
| da -31,00 | a -73,00 m | argilla cenere |
| da -73,00 | a -87,00 m | ghiaia         |
| da -83,00 | a -90,00 m | argilla        |

Per quanto concerne le caratteristiche geomeccaniche del sottosuolo, è stato fatto riferimento ad indagini eseguite in aree limitrofe a quelle di intervento.

I depositi fini argilloso-limosi affioranti esternamente ai rilevati arginali sono caratterizzati da consistenza media e comportamento coesivo. Ad essi possono essere attribuiti i seguenti parametri:

- coesione non drenata ( $c_{uk}$ ) = 0,6 kg/cm<sup>2</sup>
- angolo di attrito non drenato ( $\phi_{uk}$ ) = 0°
- peso naturale del terreno ( $\gamma_k$ ) = 1850 kg/m<sup>3</sup>

Viceversa i depositi grossolani del substrato e affioranti in alveo, sono caratterizzati da un comportamento granulare. Ad essi possono essere attribuiti i seguenti parametri:

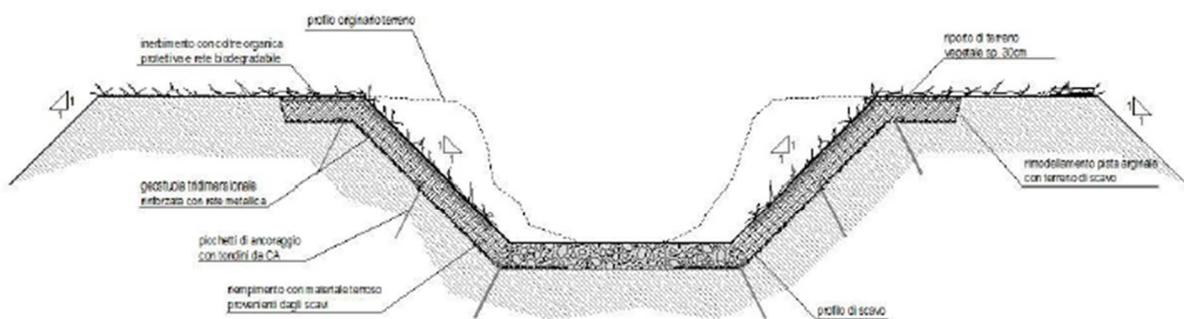
- coesione drenata ( $c'$ ) = 0,0 kg/cm<sup>2</sup>
- angolo di attrito ( $\phi$ ) = 30÷33°
- peso naturale del terreno ( $\gamma_k$ ) = 1900÷1950 kg/m<sup>3</sup>

Laddove è previsto il ringrosso arginale, si dovrà provvedere preliminarmente allo scotico del paramento esterno e della fascia di terreno al piede dell'argine interessata dall'intervento, in modo da agevolare l'adesione ed il compattamento dei materiali di nuova posa con i terreni di appoggio.

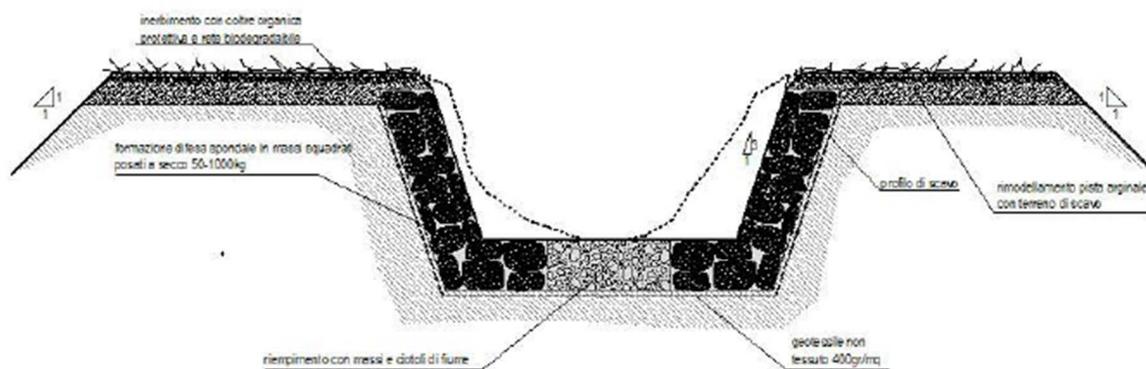
I materiali derivanti dall'approfondimento dell'alveo, previsto nel tratto compreso tra le Sezioni 9 ed 1, sono idonei per il ringrosso dei rilevati arginali e, in considerazione delle caratteristiche granulometriche, possono essere destinati per la realizzazione del sottofondo per le piste di servizio.

Per quanto riguarda il risezionamento dell'alveo del Rio Enzola, esso avverrà con diverse soluzioni tipologiche, scelte cercando di coniugare le esigenze adeguamento dell'efficienza idraulica dettate dalla necessità di garantire il transito della portata duecentennale con adeguato franco di sicurezza e dalla necessità di mantenere la naturalità dei luoghi, nonché salvaguardare la vegetazione arborea di pregio.

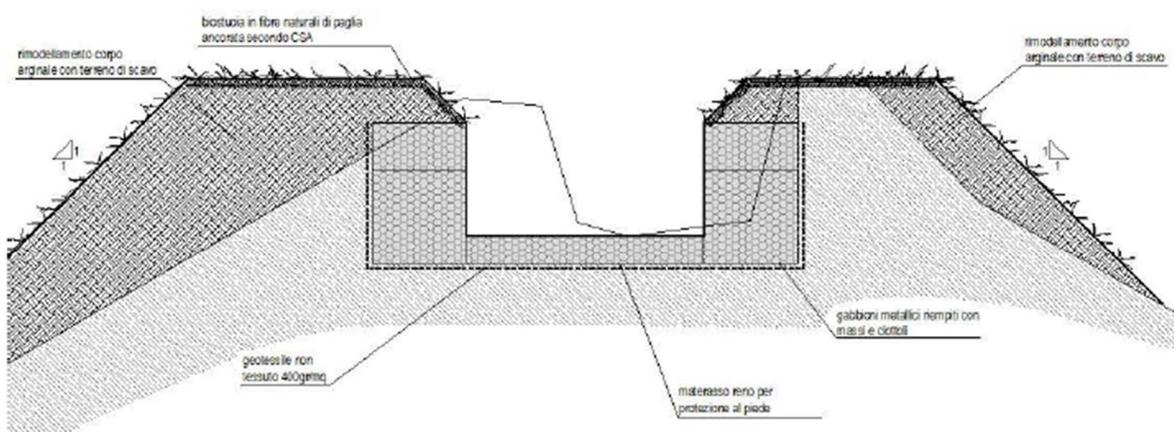
Le soluzioni tipologiche previste dal progetto (Fig. 9) sono tutte pienamente compatibili con la natura dei terreni di fondazione.



**FIGURA 6-1 – INTERVENTO DI PROGETTO, SEZIONE TIPOLOGICA 2 “CANALE INERBITO”**



**FIGURA 6-2 – INTERVENTO DI PROGETTO, SEZIONE TIPOLOGICA 3 “CANALE IN PIETRAMME SPACCATO A SECCO”**



**FIGURA 6-3 – INTERVENTO DI PROGETTO, SEZIONE TIPOLOGICA 4 “CANALE IN GABBIONI”**

**FIGURA 9: SOLUZIONI TIPOLOGICHE SCELTE PER IL RISEZIONAMENTO DELL'ALVEO**

Sotto l'aspetto idrogeologico, l'edificio sedimentario alluvionale ospita un sistema acquifero sotterraneo, le cui caratteristiche sono in stretta relazione con le caratteristiche granulometriche dei depositi: ai depositi argilloso-limosi può essere attribuita una permeabilità medio-bassa ( $k = 10^{-6} \div 10^{-8}$  cm/s), mentre i depositi ghiaiosi presentano una permeabilità elevata ( $k = 10^{-1} \div 10^{-3}$  cm/s), localmente ridotta dalla presenza di significative percentuali di matrice fine.

Con riferimento allo studio *“Riserve Idriche Sotterranee della Regione Emilia Romagna”* (Regione Emilia Romagna e Direzione Esplorazione Italia dell'ENI-AGIP S.p.A. - a cura di G. Di Dio – 1998), l'acquifero della pianura emiliano-romagnola è stato distinto in tre Unità Idrostratigrafiche Sequenziali (UIS), denominate Gruppo Acquifero A – B e C, intese come singoli corpi geologici formati da gruppi di strati geneticamente legati. Ogni UIS è separata da quelle adiacenti attraverso livelli scarsamente permeabili o impermeabili arealmente continui, che ne determinano l'isolamento idraulico.

In particolare l'areale di intervento interessa la porzione più superficiale dell'edificio sedimentario alluvionale, rappresentato dal sistema acquifero appartenente al *“Gruppo A”*, nei cui depositi ghiaiosi è insediata la falda.

L'acquifero in questione è alimentato principalmente dalle dispersioni di subalveo del Rio Enzola e in subordine, dall'infiltrazione efficace delle precipitazioni meteoriche.

## 4. PERICOLOSITÀ SISMICA

### 4.1 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

La pericolosità sismica di base costituisce l'elemento primario per la determinazione delle azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare la sicurezza nei confronti dei diversi stati limite, intesi come le condizioni superate le quali l'opera non soddisfa più le esigenze per la quali è stata progettata.

In conformità con quanto previsto dal D.M. 17.01.2018 Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» (NTC2018), la pericolosità sismica è espressa attraverso forme spettrali (Fig. 10), definite su sito di riferimento rigido orizzontale in funzione dei seguenti tre parametri:

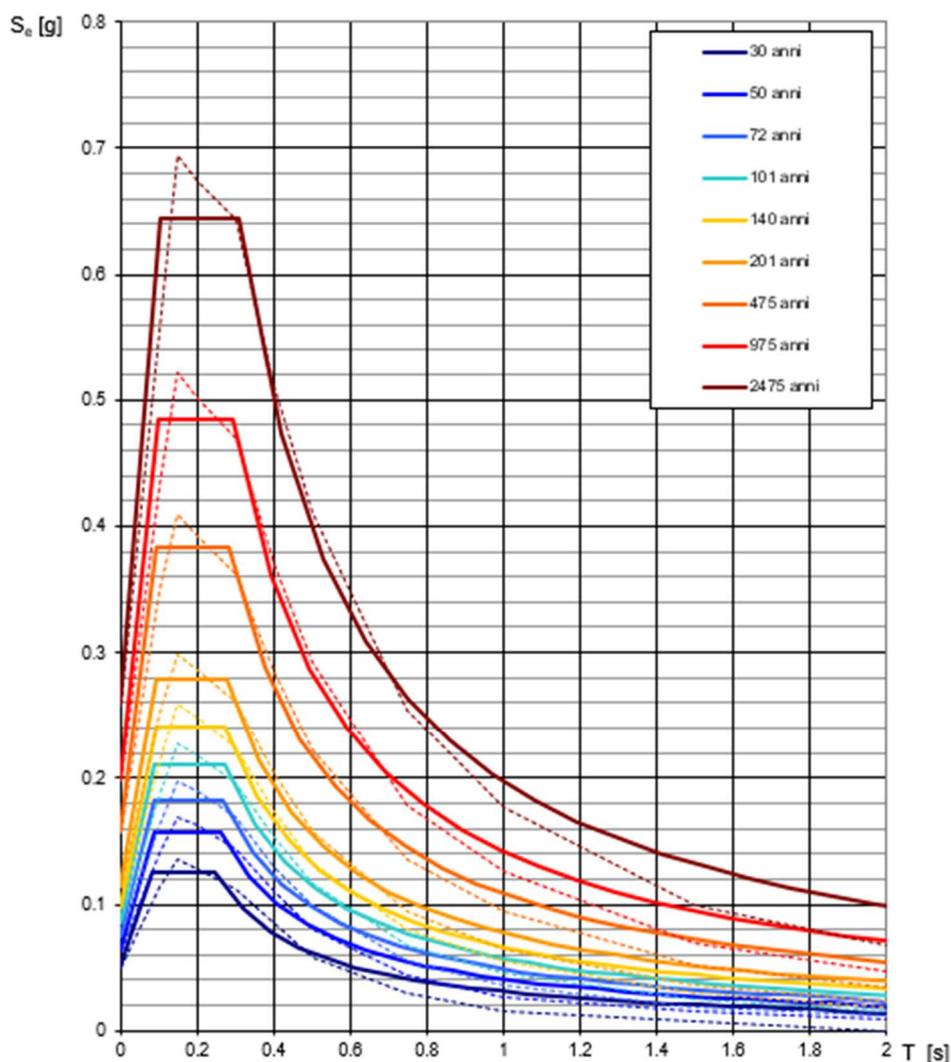
- $a_g$ : accelerazione orizzontale massima del terreno;
- $F_o$ : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_c^*$ : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Tali parametri sono stati desunti dai valori relativi alla pericolosità sismica su reticolo di riferimento, riportati nelle tabelle dell'ALLEGATO B delle Norme Tecniche per le Costruzioni, per diversi periodi di ritorno ricadenti in un intervallo di riferimento compreso tra 30 e 2475 anni.

Per l'area oggetto di intervento è stato preso a riferimento il ponte su via Vittorio Veneto, che segna il confine tra i Comuni di Bibiano e di Quattro Castella (coordinate geografiche Datum ED50: Longitudine = 10,471690° – Latitudine = 44,654430°) i valori risultano i seguenti:

| $T_R$<br>[anni] | $a_g$<br>[g] | $F_o$<br>[-] | $T_c^*$<br>[s] |
|-----------------|--------------|--------------|----------------|
| 30              | 0.051        | 2.472        | 0.246          |
| 50              | 0.063        | 2.491        | 0.260          |
| 72              | 0.074        | 2.474        | 0.267          |
| 101             | 0.085        | 2.466        | 0.272          |
| 140             | 0.098        | 2.460        | 0.275          |
| 201             | 0.114        | 2.453        | 0.277          |
| 475             | 0.157        | 2.439        | 0.283          |
| 975             | 0.199        | 2.442        | 0.292          |
| 2475            | 0.259        | 2.488        | 0.307          |

**TABELLA 3 - PARAMETRI DELLA FORMA SPETTRALE DEL SITO DI INTERVENTO**  
(ELABORAZIONE EFFETTUATA MEDIANTE "SPETTRI NTC VER.1.0.3")



**NOTA:** Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

**FIGURA 10: SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI PER I PERIODI DI TEMPI DI RITORNO  $T_R$  SU SITO DI RIFERIMENTO RIGIDO (ELABORAZIONE EFFETTUATA CON "SPETTRI NTC VER.1.0.3")**

## 4.2 RISPOSTA SISMICA LOCALE

Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche del sottosuolo e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei terreni e degli ammassi rocciosi di cui è costituito. Alla scala della singola opera o del singolo sistema geotecnico, l'analisi della risposta sismica locale consente quindi di definire le modifiche che il segnale sismico di ingresso subisce, a causa dei suddetti fattori locali.

Le analisi di risposta sismica locale richiedono un'adeguata conoscenza delle proprietà geotecniche dei terreni, da determinare mediante specifiche indagini e prove. Nelle analisi di risposta sismica locale, l'azione sismica di ingresso è descritta in termini di storia temporale dell'accelerazione (accelerogrammi) su di un sito di riferimento rigido ed affiorante con superficie topografica orizzontale.

In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 4, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio,  $V_s$ . I valori di  $V_s$  sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

#### 4.2.1 Categoria del sottosuolo di fondazione

L'influenza del profilo stratigrafico sulla risposta sismica locale viene valutata con riferimento alle 5 categorie del profilo stratigrafico del sottosuolo di fondazione, definite dal D.M. 17.01.2018 Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» (NTC 2018), in relazione alle caratteristiche geofisiche e geotecniche del sottosuolo.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

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

in cui:  $h_i$  = spessore in metri dell' $i$ -esimo strato;

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

$N$  = numero di strati;

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

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali.

Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{a,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Ai fini della determinazione delle  $V_{s30}/V_{sH}$  si è fatto riferimento ai citati studi di Microzonazione Sismica dei territori comunali di Bibbiano e Quattro Castella, di cui nelle Figg. 11 e 12 si riporta uno stralcio della Carta della velocità delle onde di taglio  $s$  (Carta delle  $V_s$ ):



I valori di VsH calcolati nelle prove disponibili al contorno del tratto che si snoda in Comune di Quattro Castella sono compresi tra 191 e 202 m/s, calcolati con riferimento ad un substrato generalmente con Vs inferiore a 800 m/s. I valori di Vs30 risultano invece compresi tra 273 e 296 m/s.

I valori di VsH calcolati nelle prove disponibili al contorno del tratto che si snoda in Comune di Bibbiano sono compresi tra 158 e 208 m/s, calcolati con riferimento ad un substrato generalmente con Vs inferiore a 800 m/s. I valori di Vs30 risultano invece compresi tra 249 e 361 m/s.

Pertanto, in via cautelativa, il sottosuolo di fondazione dell'area di intervento può essere attribuito alla categoria C (Tab. 4).

| Categoria | Caratteristiche della superficie topografica  |
|-----------|---|
| A         | <i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>   |
| B         | <i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>  |
| C         | <i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>   |
| D         | <i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i> |
| E         | <i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>  |

**TABELLA 4 - CATEGORIE DI SOTTOSUOLO CHE PERMETTONO L'UTILIZZO DELL'APPROCCIO SEMPLIFICATO - D.M. 17.01.2018 (TAB. 3.2.II)**

#### 4.2.2 Effetti sismici locali

##### Amplificazione stratigrafica

L'areale risulta essere soggetto ad amplificazione di tipo stratigrafico del segnale sismico, derivante dalla presenza di depositi con velocità delle onde di taglio inferiore a 800 m/s.

##### Amplificazione topografica

La morfologia pianeggiante permette di attribuire l'area di indagine alla categoria topografica T1 (Tab. 5), per la quale possono essere esclusi fenomeni di amplificazione di tipo topografico (Tab. 6).

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

**TABELLA 5 - CATEGORIE TOPOGRAFICHE (DA NTC 2018 TABELLA 3.2.III)**

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

**TABELLA 6 - VALORI MASSIMI DEL COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA  $S_T$  (DA NTC 2018 TABELLA 3.2.V)**

Occorrenza di fenomeni di liquefazione

La possibilità che si verifichino fenomeni di liquefazione può essere esclusa, in quanto è stata accertata l'assenza di depositi sabbiosi di spessore significativo in falda entro i primi 15 metri di sottosuolo.

## 5. CONCLUSIONI E PRESCRIZIONI

Lo studio effettuato consente di trarre le seguenti conclusioni:

- a) l'areale interessato dal progetto per la messa in sicurezza e consolidamento delle arginature del Rio Enzola con realizzazione di manufatto derivatore in area di laminazione laterale risulta a tutti gli effetti stabile ed è caratterizzato, internamente all'alveo, da depositi grossolani a ghiaie prevalenti, mentre esternamente alle arginature è presente in superficie un livello argilloso-limoso, in ricoprimento di un substrato ghiaioso; tali depositi sono attribuibili al Subsistema di Ravenna;
- b) laddove è previsto il ringrosso arginale, si dovrà provvedere preliminarmente allo scotico del paramento esterno e della fascia di terreno al piede esterno dell'arginatura interessata dall'intervento, in modo da agevolare l'adesione ed il compattamento dei materiali di nuova posa con i terreni di appoggio;
- c) I materiali derivanti dall'approfondimento dell'alveo, previsto nel tratto compreso tra le Sezioni 9 ed 1, sono idonei per il ringrosso dei rilevati arginali e, in considerazione delle caratteristiche granulometriche, possono essere destinati per la realizzazione del sottofondo per le piste di servizio;
- d) secondo la DGR n° 1164 del 23.07.2018 "Aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei comuni dell'Emilia-Romagna" i Comuni di Bibbiano e Quattro Castella sono classificati sismici in Zona 3 e il sottosuolo di fondazione dell'area di intervento è attribuibile alla categoria C, di cui al D.M. 17.01.2018 Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»;
- e) sotto il profilo sismico gli effetti locali sono rappresentati dalla possibile amplificazione del segnale sismico, conseguente alla presenza di depositi con velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) inferiori a 800 m/s, mentre l'assetto litostratigrafico permette di escludere potenziali fenomeni di cedimento o di liquefazione, ovvero di diminuzione della resistenza al taglio causata dall'aumento di pressione interstiziale durante il verificarsi di un evento sismico.

Nel rispetto di quanto sopra esposto si dichiara l'area idonea, sotto il profilo geologico, idrogeologico, sismico e geotecnico, alla realizzazione dell'intervento come da progetto.

Basilicanova, maggio 2021

Il Geologo

  
dot. Stefan Castagnetti  

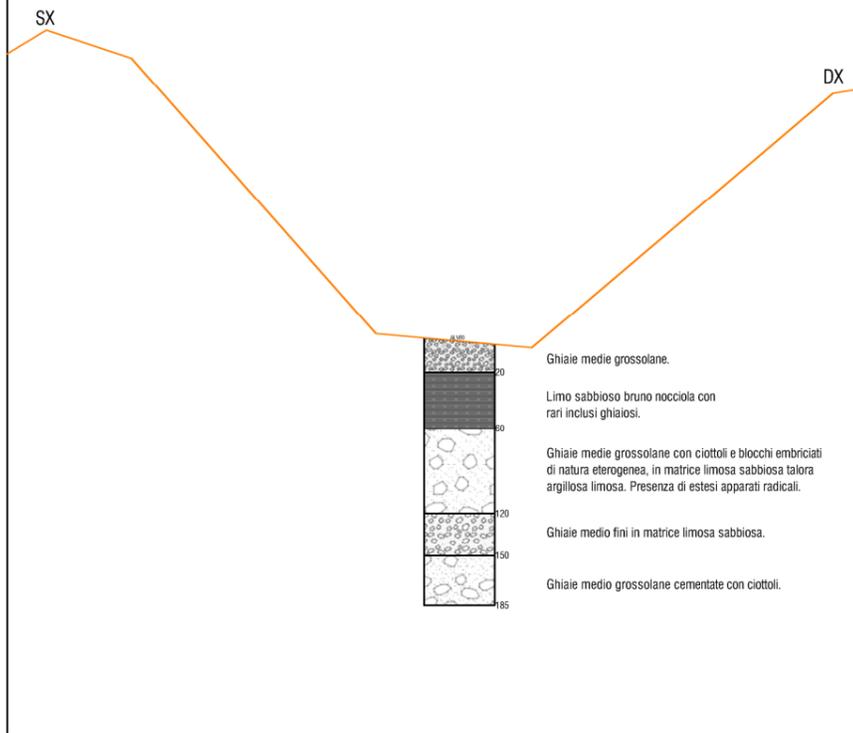

con la collaborazione del Dott. Geol. Marco Baldi

  
dot. Marco Baldi  

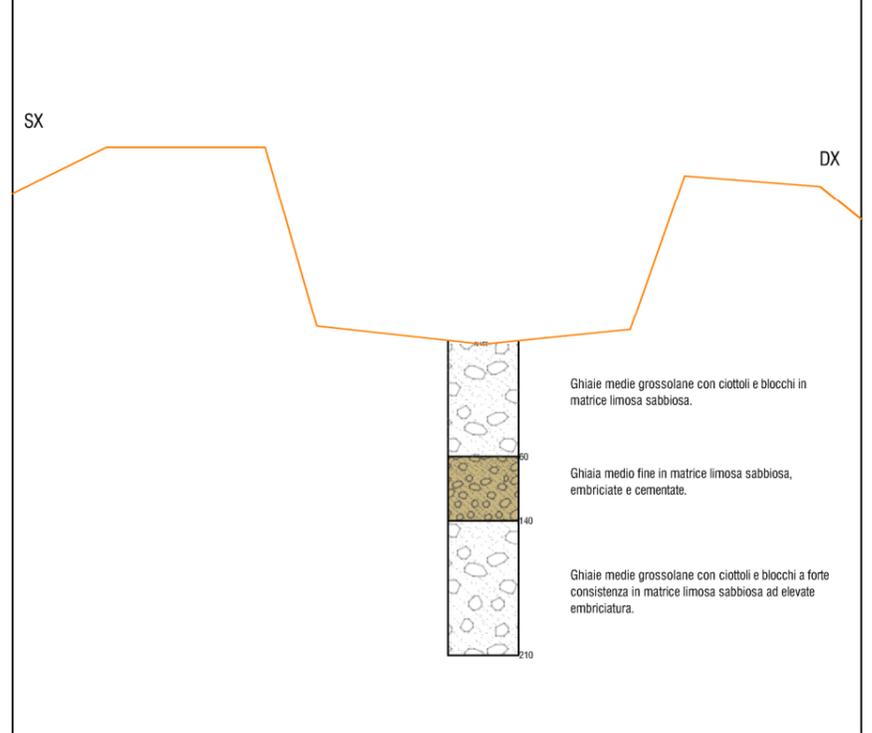

## **6. ALLEGATO 1 – POZZETTI ESPLORATIVI (DOTT. GEOL. P. BERETTI, 2019)**

---

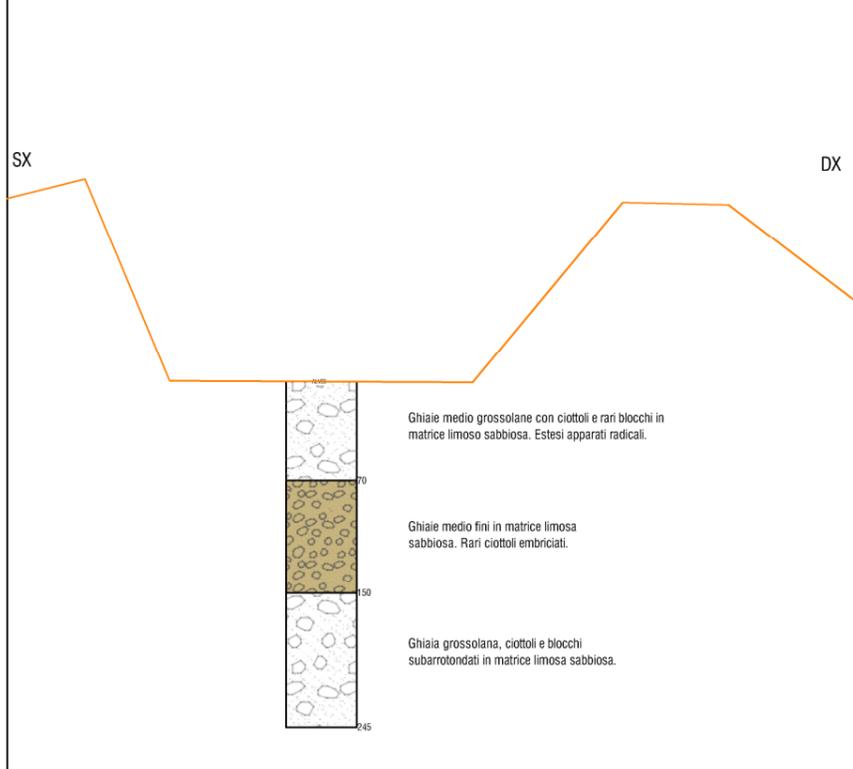
**POZZETTO 1**



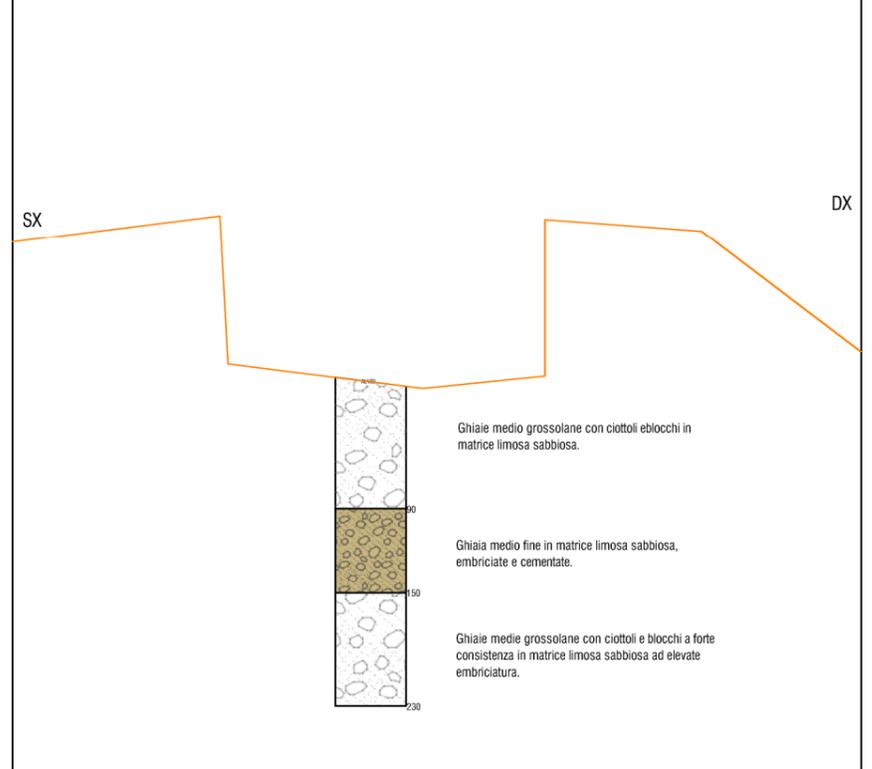
**POZZETTO 4**



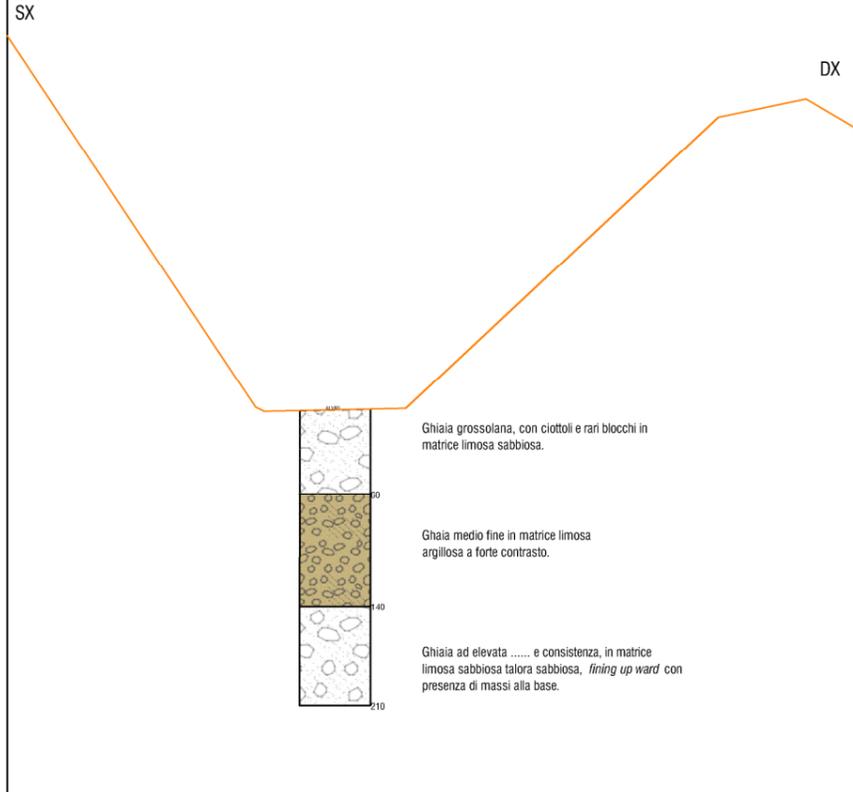
**POZZETTO 2**



**POZZETTO 5**



**POZZETTO 3**





**Pozzetto 3**



**Pozzetto 3\_particolare**



**Pozzetto 4**



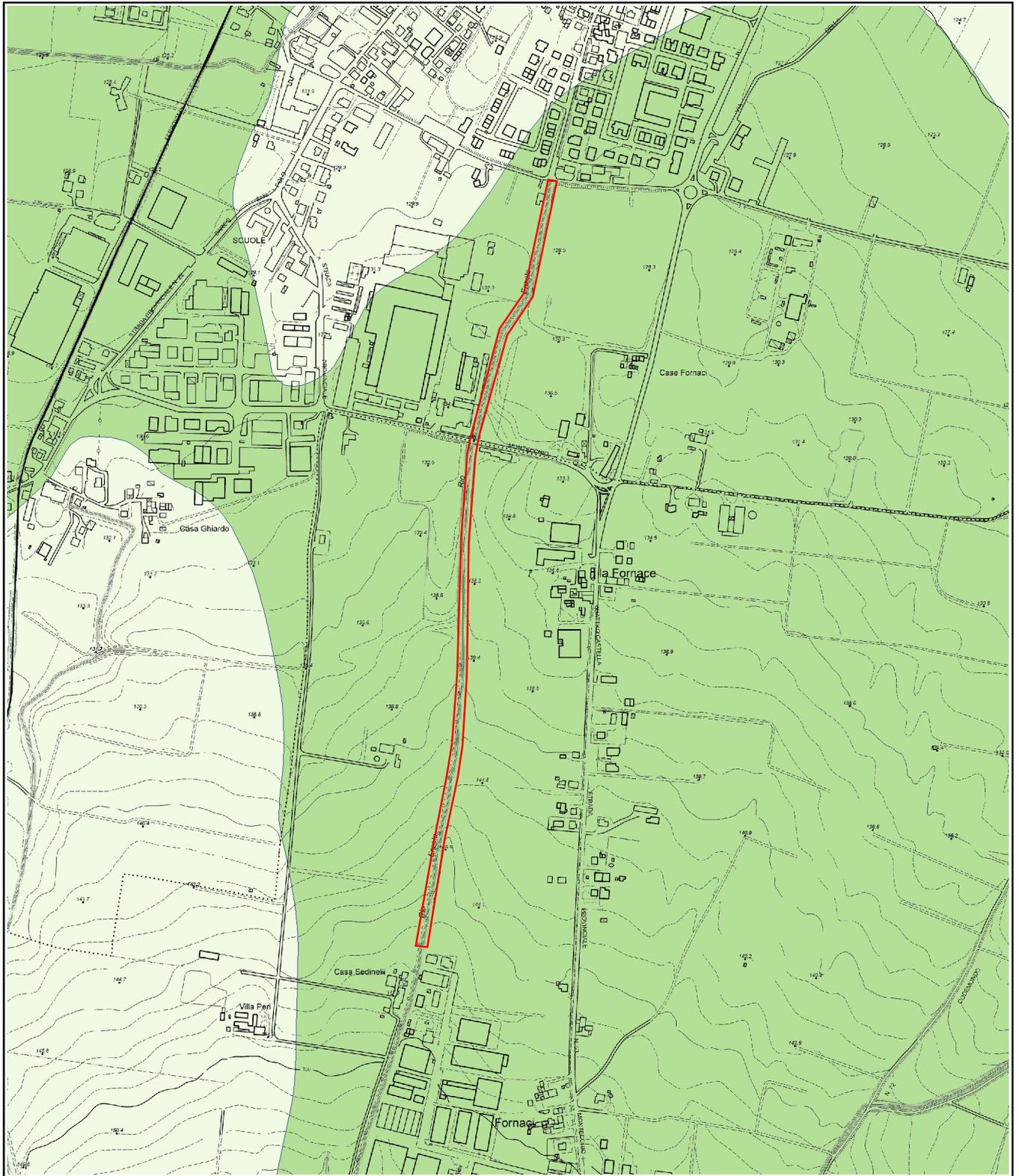
**Pozzetto 4\_particolare**



**Pozzetto 5**



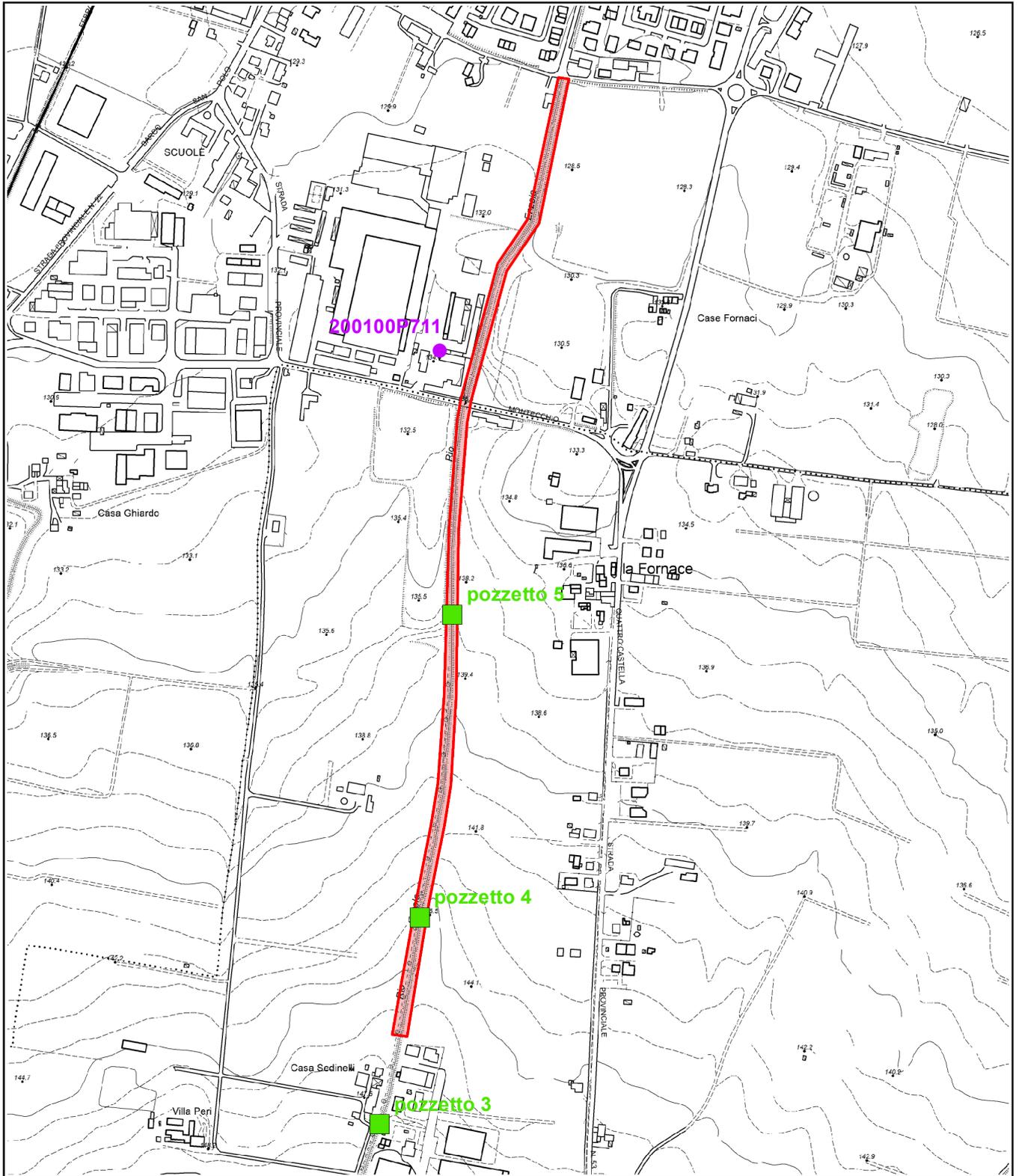
**Pozzetto 5\_particolare**



**TAV. 1 - CARTA GEOLOGICA (SCALA 1:10.000)**

Legenda

- Subsistema di Ravenna
- Subsistema di Villa Verucchio - Unità di Niviano
- Tratto del Rio Enzola oggetto di intervento



**TAV. 2 - UBICAZIONE INDAGINI (SCALA 1:8.000)**

**Legenda**

- Dato litostratimetrico (DB geognostico RER)
- Pozzetto esplorativo (Geol. Paolo Beretti - 2019)
- Tratto del Rio Enzola oggetto di intervento