



Città Metropolitana di Bologna

Via Zamboni, 13 - 40126 Bologna (BO)

IL RUP:

P.I.E. Stefano Romagnoli

IL DIRETTORE DELL'ESECUZIONE DEL CONTRATTO:

Ing. Jonathan Manzi

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

(CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001)

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

ELABORATI GENERALI

-

Relazione geologica

PROGETTAZIONE:
Mandataria:

SYSTRA S.p.A.

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

Mandanti:



SETECO Ingegneria S.r.l.

ITEC Engineering S.r.l.

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

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

CODICE PROGETTO	LIVELLO PROGETTAZIONE	TIPO DOC.	AMBITO	PROGRESSIVO	REV.
24V25	PF	R	GE	101	r00

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

INDICE

1.	PREMESSA	3
1.1	INTRODUZIONE	3
1.2	IDENTIFICAZIONE DEL PROGETTO	3
2.	RIFERIMENTI NORMATIVI E TECNICI	4
2.1	NORMATIVA TECNICA	4
2.2	DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	4
3.	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E DESCRIZIONE DEL PROGETTO	5
4.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE	6
5.	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO REGIONALE	10
5.1	VINCOLI E TUTELA AMBIENTALE	11
6.	INDAGINI GEOGNOSTICHE	12
6.1	CAMPAGNE DI INDAGINI BIBLIOGRAFICHE	12
6.2	CAMPAGNA DI INDAGINI 2024	13
7.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO LOCALE	14
8.	INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO LOCALE	16
9.	DESCRIZIONE DELL'ASSETTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO IN RELAZIONE ALLE OPERE E CRITICITÀ POTENZIALI	17
10.	INQUADRAMENTO SISMICO	19
11.	STABILIZZAZIONE A CALCE DELLE TERRE PROVENIENTI DAGLI SCAVI	21

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

1. PREMESSA

1.1 Introduzione

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

Questa relazione è stata sviluppata sulla base di dati bibliografici e dei dati delle indagini eseguite nel 2024 per integrare il quadro conoscitivo fornito nella fase progettuale precedente.

L'insieme dei dati ha portato alla formulazione di un modello geologico (ai sensi delle NTC 2018, § 6.2.1) che descrive i caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici del sito.

Con questa impostazione, la presente Relazione contiene la descrizione litologico-tecnica delle formazioni individuate nell'ambito delle aree di interesse. La stessa suddivisione in formazioni è stata mantenuta nella modellazione geotecnica, con le ovvie distinzioni necessarie per affrontare gli aspetti tecnico-progettuali. Il modello geologico così definito rappresenta quindi un passaggio propedeutico alla definizione del modello geotecnico da prendere a base per la progettazione delle opere. Il modello geotecnico e la caratterizzazione geotecnica delle singole formazioni sono contenuti nella Relazione Geotecnica.

Le indagini integrative, proposte all'inizio della presente fase progettuale, si sono concentrate nelle aree meno esplorate e più critiche per la progettazione delle opere; i loro risultati, al momento della redazione della presente Relazione, non erano ancora disponibili.

1.2 Identificazione del progetto

I dati principali del progetto sono riportati nella tabella seguente:

Tabella 1: Identificazione del Progetto

TIPOLOGIA MODELLO DISCIPLINARE	CONTENUTO MODELLO
CUP	C51B23000440001
Denominazione opera	ID 0060075 Ponte Torrente Idice km 11,776
Codice PBM	2024VIMASNC25
Stazione Appaltante	Città Metropolitana di Bologna (CMBO)
RUP	P.i.E. Stefano Romagnoli
Localizzazione geografica dell'intervento	S.P. 6 "Zenzalino" al Km 11,776 tra i Comuni di Budrio e Molinella

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

Descrizione del progetto

RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SULLA S.P. 6 AL
KM 13 TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA

Identificazione della fase di incarico (come da Codice dei Contratti Pubblici)

PFTE

2. RIFERIMENTI NORMATIVI E TECNICI

2.1 Normativa tecnica

- Gruppo di Lavoro AGI (2024) – Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche in sito.
- Decreto Ministeriale n. 47 (11/3/1988). “Norme Tecniche riguardanti le indagini su terreni e sulle rocce; i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”;
- Istruzioni relative alle “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione” - Cir. Dir. Cen. Tecn. n° 97/81;
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3316. “Modifiche ed integrazioni all’Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20.03.03”;
- D. M. del 17 gennaio 2018 – Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”;
- Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018;
- Decreto del Presidente della Repubblica n. 120 del 13 giugno 2017, “Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell’articolo 8 del decreto-legge 12 settembre 2014, n. 133, convertito, con modificazioni, dalla legge 11 novembre 2014, n. 164”;
- SNPA – Sistema Nazionale per la Protezione dell’Ambiente- Delibera n. 54/2019;
- Decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 “norme in materia ambientale”;
- RFI: Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Parte II – Sezione 18.

2.2 Documentazione di riferimento

- ISPRA, Carte geologica d’Italia, scala 1:50.000, Foglio 221 Bologna;
- Piano Comunale Strutturale Comunale (PSC) del comune di Budrio (Bo);
- Piano Territoriale Metropolitano (PTM) della Città Metropolitana di Bologna;
- Idrogeo ISPRA: mappe della pericolosità e del rischio
<https://idrogeo.isprambiente.it/app/>;
- Isprambiente – Banca dati geognostici e geofisici
<https://www.isprambiente.gov.it/it/banche-dati/banche-dati-folder/suolo-e-territorio/dati-geognostici-e-geofisici>;
- Geoportale Regione Emilia-Romagna <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/geologia/geologia-emilia-romagna>;

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

- Schema direttore della Pericolosità Geoambientale della Regione Emilia-Romagna (2002) <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/geologia/acque/risorse-montagna/acque-sotterranee/schema-direttore-della-pericolosita-geoambientale>;
- Regione Emilia-Romagna - Carta sismotettonica della Regione Emilia-Romagna e aree limitrofe (2017), scala 1:250.000;
- Banca dati delle prove geognostiche della Regione Emilia-Romagna. <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/cartografia-e-banche-dati/cartografie-webgis/prove-geognostiche-e-geotecniche-1>;
- ARPA Emilia-Romagna, 2023. Nuova cartografia della subsidenza in Emilia-Romagna 2016-2021 <https://servizi-gis.arpae.it/Html5Viewer/index.html?locale=it-IT&viewer&viewer=Geoportal.Geoportal>.

3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E DESCRIZIONE DEL PROGETTO

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



Figura 1.: Misure piezometriche effettuate.

Il progetto prevede, in sintesi:

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

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

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE

L'assetto geologico dell'Appennino Emiliano è stato riassunto esaurientemente nella Relazione geologica del DOCFAP, dalla quale sono stati ripresi i principali contributi, sia integralmente sia rielaborati.

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

Al contempo, si è instaurato un contesto geodinamico caratterizzato da una tettonica a stile compressivo, che ha determinato un generale raccorciamento del margine appenninico e della sequenza sedimentaria padana. Le strutture tettoniche sono sepolte per circa una quarantina di chilometri, fino a Nord di Ferrara, e sono costituita da un sistema di faglie inverse con superfici di sovrascorrimento a basso angolo, con inclinazioni comprese tra 20° e 30°, immergenti verso S-SO (0, 0 e 0, rispettivamente: carta tettonica regionale, profilo geologico del Supersistema Emiliano-Romagnolo, profilo geologico del Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore).

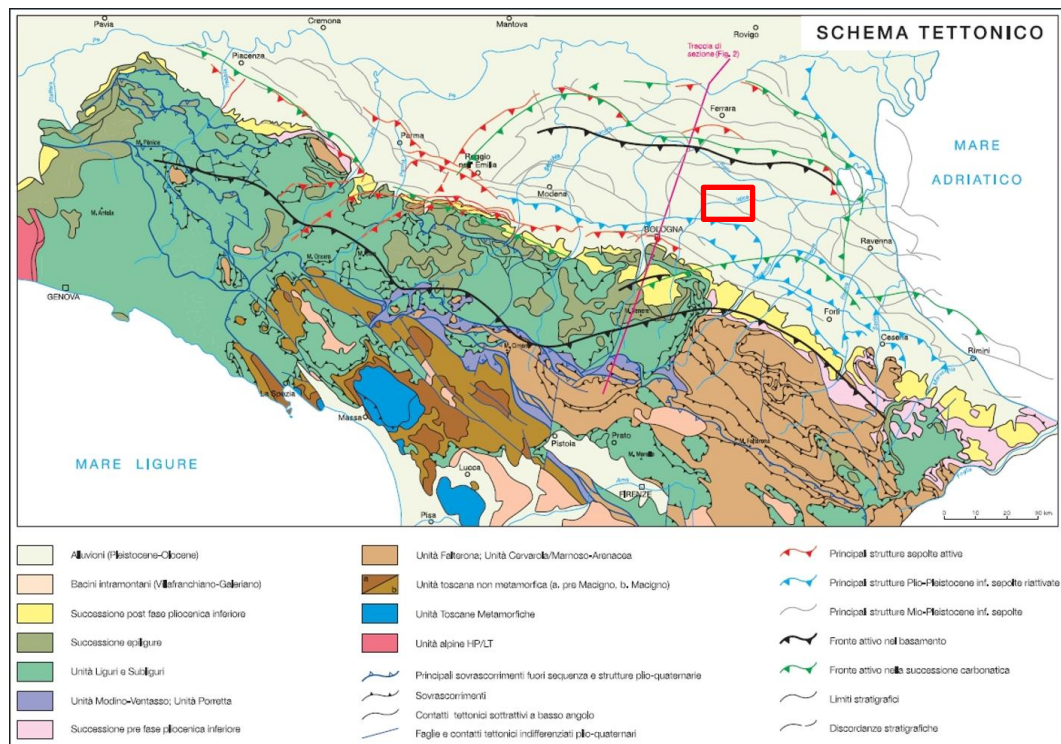
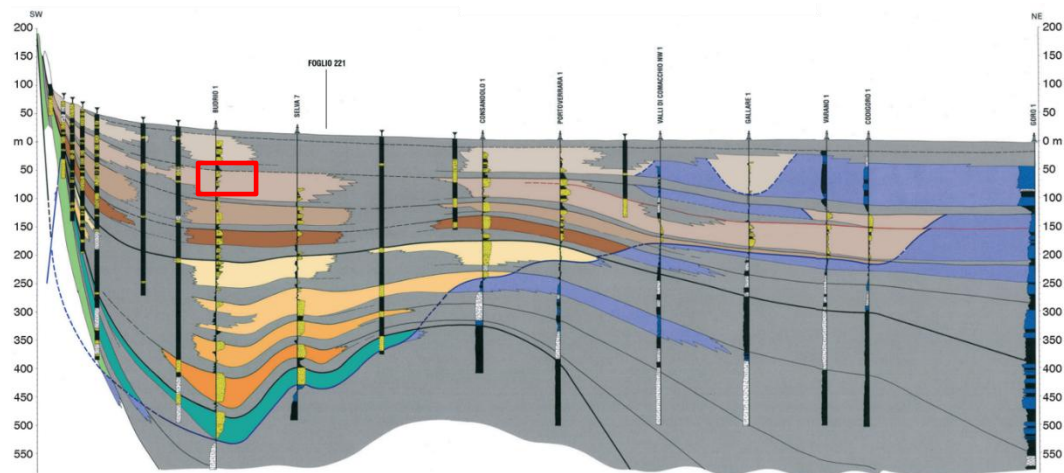


Figura 2: Schema tettonico dell'Emilia-Romagna (da Boccaletti et alii, 2004, modificata), in <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/geologia/geologia-emilia-romagna/jpg/schematettonico.jpg>. L'area del progetto è evidenziata in rosso.

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



Legenda

UNITA' STRATIGRAFICHE		SEQUENZE DEPOSIZIONALI		ETA' (milioni di anni)	SCALA CRONOSTRATIGRAFICA (milioni di anni)	UNITA' IDROSTRATIGRAFICHE		
						GRUPPO ACQUIFERO	COMPLESSO ACQUIFERO	SISTEMA ACQUIFERO
SUPERSISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO	SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE	Qc	Qc ₂	~0.12	PLEISTOCENE SUPERIORE-OLCENE	A	A1	
							A2	
							A3	
							A4	
SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE		Qc	Qc ₁	~0.35-0.45	PLEISTOCENE MEDIO	B	B1	
							B2	
							B3	
							B4	
SABBIE DI IMOLA	Qm	Qm	Qm ₃ ⁺	~0.65	PLEISTOCENE INFERIORE	C	C1	
			Qm ₃ ⁻	~0.8			C2	
			Qm ₂	~1.0			C3	
			Qm ₁	~2.2			C4	
GRUPPO DEL SANTERVO	P2	P2		~3.3-3.6	PLIOCENE MEDIO-SUPERIORE		C5	
				~3.9			PLIOCENE INFERIORE	
							PLIOCENE INFERIORE	
						ACQUEDOTTO BASALE		
Superficie di discontinuità principale Superficie di discontinuità minore								

Figura 3: Sezione geologica nel sottosuolo della pianura romagnola e relativa legenda e correlazioni stratigrafiche all'interno del Supersistema Emiliano-Romagnolo (modificato da Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998). Le aree grigie che separano le unità idrostratigrafiche (in colore) corrispondono alle principali barriere di permeabilità. La linea azzurra incide il limite acqua dolce/salmastria, l'esagerazione verticale è di 50x. Figura, legenda e didascalia tratte dalle Note illustrative della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 - Foglio 221 "Bologna" Fonte: ISPRA Servizio Geologico d'Italia). L'area in oggetto è indicata con il riquadro rosso.

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

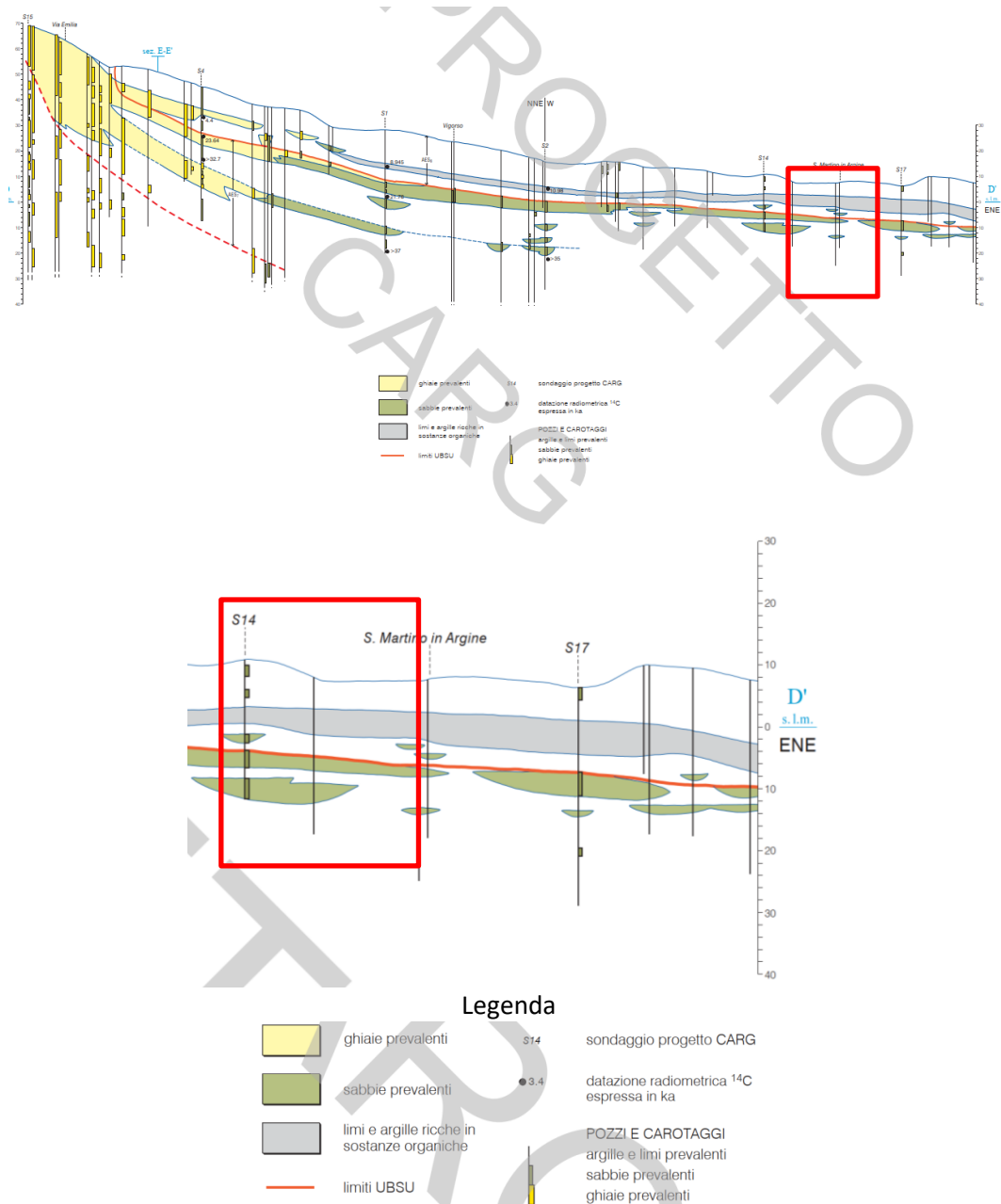


Figura 4: Stratigrafia del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore in sezione perpendicolare alla catena appenninica. L'esagerazione verticale è di 50x. Figura, legenda e didascalia tratte dalle Note illustrative della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 - Foglio 221 "Bologna" Fonte: ISPRA Servizio Geologico d'Italia). L'area interessata è indicata nel riquadro rosso.

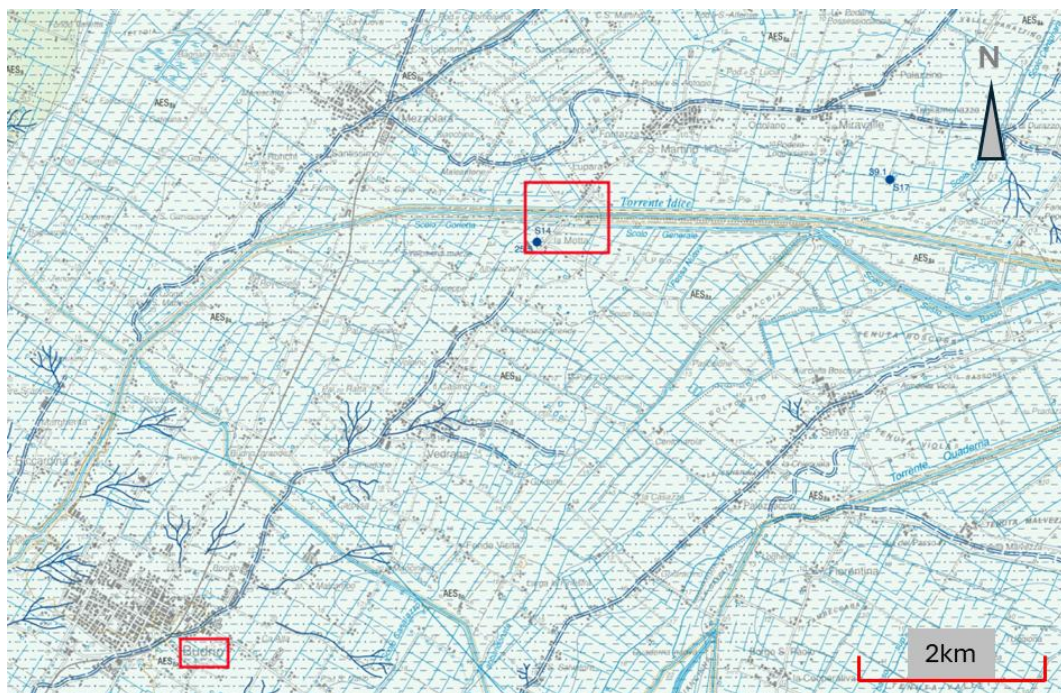
Il riempimento del bacino padano non è avvenuto in maniera progressiva e continua, ma è il risultato di eventi tettonico-sedimentari "parossistici", separati nel tempo da periodi di marcata subsidenza bacinale e movimenti ridotti delle strutture compressive.

Le unità affioranti nell'area in oggetto sono state ricostruite facendo riferimento alla cartografia del Progetto CARG alla scala 1:50.000, che utilizza una suddivisione geologica delle unità basata sulla stratigrafia sequenziale, ossia su un metodo stratigrafico che utilizza le discontinuità e le superfici di continuità ad esse correlabili, per suddividere la successione sedimentaria in sequenze deposizionali; tali unità appartengono al Supersintema Emiliano Romagnolo. Questo Supersintema è articolato in due

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

sintemi: il Sintema Emiliano-Romagnolo inferiore (AEI), ed il Sintema Emiliano-Romagnolo superiore (AES). Si tratta di depositi alluvionali formati dall'attività deposizionale del fiume Po e dei suoi affluenti. I depositi che appartengono al sintema inferiore sono prevalentemente costituiti da argille limose di piana alluvionale con intercalazioni di sabbie di canale e ghiaie di conoide alluvionale.

I depositi del sintema superiore (AES) sono costituiti da prevalenti ghiaie e sabbie di terrazzo e conoide alluvionale, e l'unica Unità affiorante nell'area è l'Unità di Modena (AES_{8a}), che verrà descritta approfonditamente nel §7.



Legenda

	Sabbie e limi di canale, argine e rotta fluviale Sabbie da finissime a grossolane, localmente limose, in strati a base erosiva, da sottili a molto spessi, a stratificazione obliqua concava, alternate a limi, limi sabbiosi e subordinatamente limi argillosi, in strati molto sottili e sottili. Alla base di sequenze positive a base erosiva sono presenti sabbie molto grossolane a stratificazione obliqua concava e, localmente, ghiaie. Formano corpi sedimentari a geometria prevalentemente nastriforme e tabulare-allungata in AES _{8a} e tabulare (depositi sabbiosi di conoide alluvionale) in AES ₈ . Passano lateralmente e verticalmente verso il basso a depositi di piana inondabile, definendo caratteristiche sequenze negative e negativo-positive. Il rapporto sabbia/limo, generalmente superiore a 1, varia sensibilmente (valori inferiori a 1 sono registrati in AES ₈ nell'area di Medicina). In depositi di canale, argine e rotta fluviale riferibili al reticolo idrografico secondario, le sabbie sono nettamente subordinate rispetto al limo.
	Limi e argille di piana inondabile Limi, argille limose e argille, bioturbati, con rare intercalazioni di limi sabbiosi e sabbie, da limose a fini, in strati a gradazione positiva, da molto sottili a medi. Paleosuoli relativamente poco evoluti (Entisuoli e Inceptisuoli) presenti a vari livelli stratigrafici. Argille prevalenti in AES _{8a} , limi prevalenti (in questo caso l'unità comprende corpi sabbioso-limosi di canale fluviale, non cartografabili, riferibili al reticolo idrografico secondario) in AES ₈ . Formano corpi sedimentari a geometria lenticolare, tabulare e nastriforme.
	Unità di Modena Costituisce la parte sommitale di AES ₈ . Comprende sabbie, argille, limi e, subordinatamente, ghiaie di piana alluvionale. Limite inferiore inconforme, marcato da una superficie di erosione fluviale lateralmente correlata a un suolo da decarbonato a parzialmente carbonato contenente resti archeologici di età dal Neolitico al Romano. Limite superiore coincidente col piano topografico e definito da un suolo calcareo di colore bruno olivastro e bruno grigiastro (2,5Y) privo di reperti archeologici di età romana o più antichi. Spessore massimo: 5 m circa. <i>Età post-romana (IV-VI sec. d.C. - Attuale), definita su base archeologica e radiometrica.</i>

Figura 5: Stralcio della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 - Foglio 221 "Bologna" (Fonte: ISPRA Servizio Geologico d'Italia). Stralcio non in scala.

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

5. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO REGIONALE

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

Secondo la carta della pericolosità Idrogeo-ISPRA il sito in oggetto si trova all'interno di un'area a pericolosità elevata, coincidente con l'asta fluviale del Torrente Idice (Figura 6). Tale valutazione è sostanzialmente confermata anche dalla carta del rischio idrogeologico dello "schema direttore della pericolosità geo-ambientale" della Regione Emilia-Romagna (2002), in cui l'area in oggetto è all'interno di una zona a rischio "alto", mentre il rischio "elevato" è limitato ad aree limitate, generalmente in corrispondenza dei centri abitati (Figura 7).

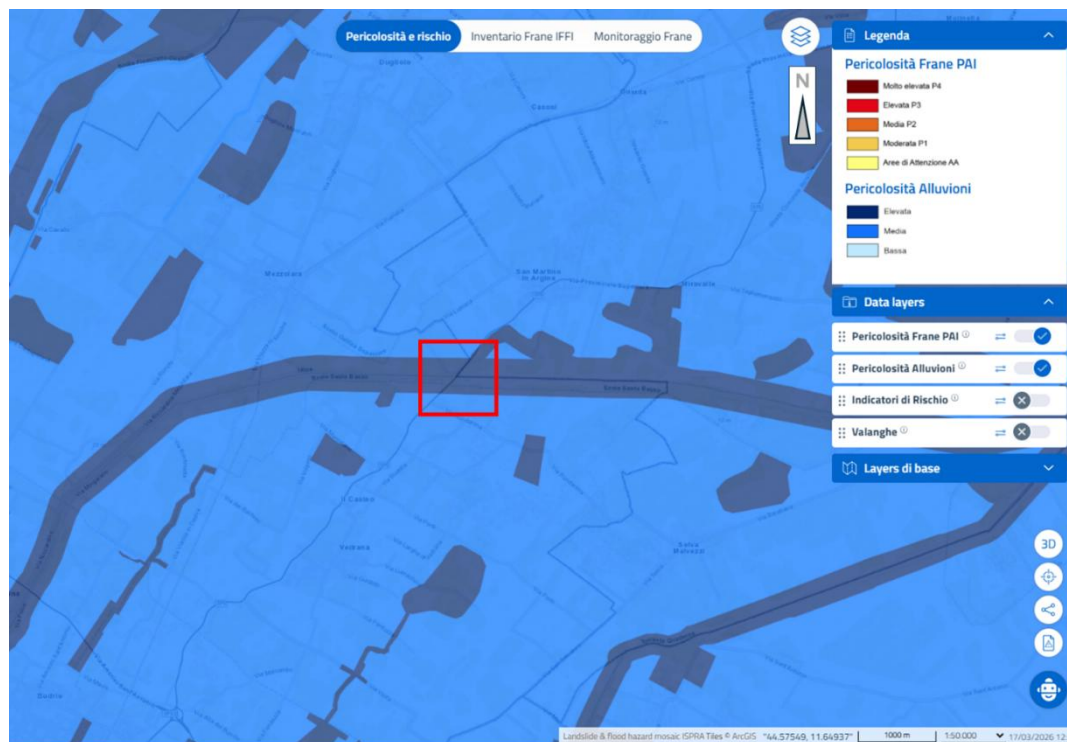


Figura 6: Stralcio della pericolosità idraulica, dal sito Isprambiente. L'area interessata è indicata nel riquadro rosso.

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

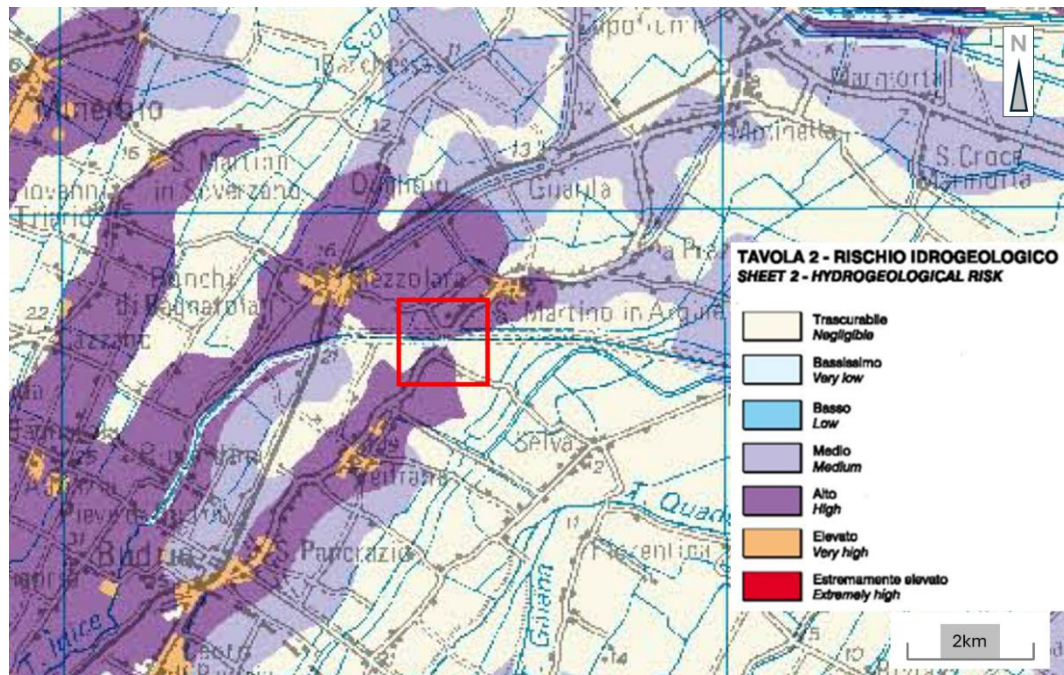


Figura 7: Stralcio della Carta del rischio idrogeologico, dallo “schema direttore della pericolosità geo-ambientale” della Regione Emilia-Romagna. L’area interessata è indicata nel riquadro rosso.

A partire dal 1950 tutto il territorio della pianura emiliana è stato interessato da un abbassamento del suolo, con valori diversi da zona a zona, che è stato messo in relazione con l’intensificarsi dello sfruttamento delle risorse idriche sotterranee per fini idropotabili ed industriali. Per una pianura alluvionale come quella in oggetto, i valori di subsidenza naturali attesi sono dell'ordine di 1÷3 mm/anno. Nell’area di progetto si sono registrate, tra il 2016 ed il 2021, velocità di movimento verticale del suolo inferiori a 2.5 mm/anno (dati Arpa Emilia-Romagna), che indicano quindi valori corrispondenti al fenomeno naturale (v.§8).

5.1 Vincoli e tutela ambientale

L’area in oggetto ricade in una zona di pertinenza fluviale per la presenza del Torrente Idice. Di seguito viene riportato un estratto della Tav. 1 (tutele, vincoli e rispetti) del Piano Strutturale Comunale del Comune di Budrio. Per la legenda, le normative ed i dettagli si rimanda ai seguenti elaborati del DOCFAP: 2347R001P0, 2347X0030P0, 2347X0031P0.

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

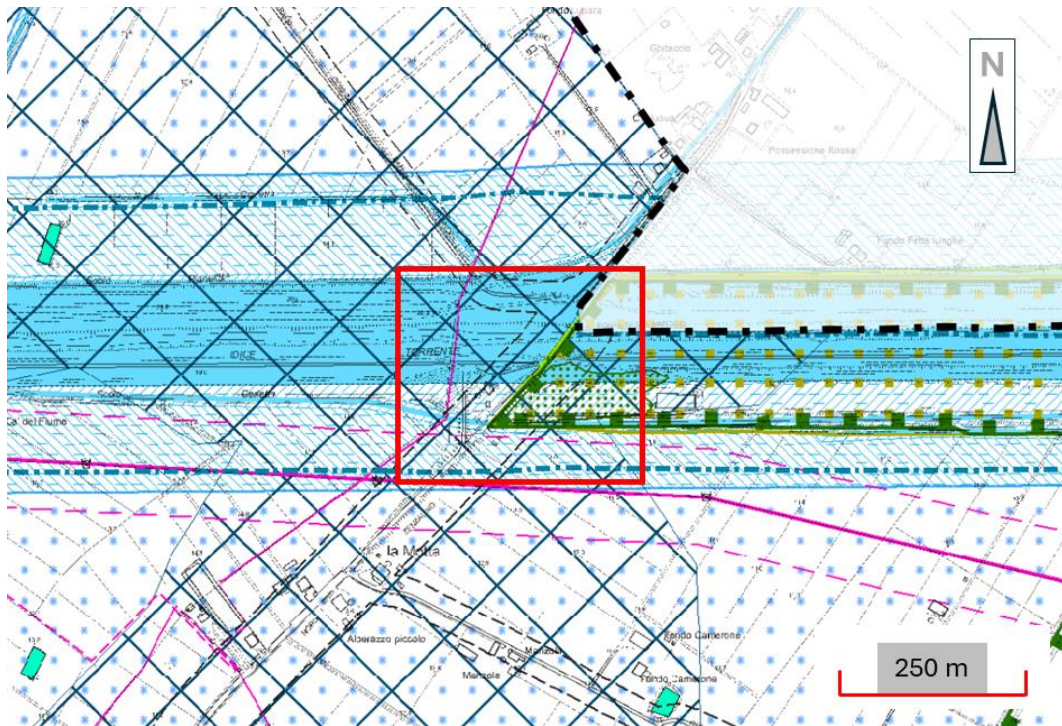


Figura 8: Stralcio della Tavola 1 – tutele, vincoli e rispetti - Foglio 3 del PSC del Comune di Budrio. L'area interessata è indicata nel riquadro rosso.

6. INDAGINI GEOGNOSTICHE

6.1 Campagne di indagini bibliografiche

Nella redazione della presente Relazione sono state consultate ed analizzate le indagini geognostiche pregresse disponibili. Nell'area in oggetto sono state reperite alcune prove dalla Banca dati delle prove geognostiche della Regione Emilia-Romagna e dalle Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 del Foglio n.221 – Bologna. Dal database ISPRA, al contrario, non vi sono indagini geognostiche pregresse utili per gli scopi della presente Relazione. Vi sono alcune perforazioni profonde, eseguite dall'AGIP negli anni '50-'60, che non presentano il dettaglio necessario per la caratterizzazione geologico-geotecnica delle Unità superficiali. Le indagini utilizzate sono indicate nella tabella seguente:

SIGLA	TIPOLOGIA	WGS84/UTM ZONA 32T		QUOTA M S.L.M.	PROF M
		X	Y		
221040P517 (S14 progetto CARG)	Sondaggio	705629,301	4939042,009	12,0	25,5
221040U517	CPTu	705629,566	4939020,577	12,0	27,0
221040U515	CPTu	706552,057	4938822,367	8,0	28,14

Tabella 2: Indagini bibliografiche utilizzate.

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

6.2 Campagna di indagini 2024

Le indagini eseguite nella campagna di indagine eseguita nel 2024 in fase di DOCFAP sono:

- n.2 sondaggi a carotaggio continuo, S1 in sponda destra (attrezzato con due piezometri di tipo Casagrande) e S2 in sponda sinistra (in cui è stata eseguita una prova Down-Hole), lunghi 50 m;
- Prove SPT, per ogni sondaggio, ogni 2 m fino alla profondità di 30 m dal pc;
- n.2 prove penetrometriche statiche a punta elettrica e piezocono, una in sponda destra ed una in sponda sinistra, rispettivamente fino alla profondità di 29,63 m dal pc e 33,09 m dal pc,
- n.1 prova con dilatometro Marchetti e modulo sismico in sponda destra;
- n.2 indagini sismiche MASW e due letture a stazione singola HVSR, sia in sponda destra sia in sponda sinistra;
- n.2 letture a stazione singola HVSR, sia in sponda destra sia in sponda sinistra;

L’ubicazione delle indagini è illustrata nella figura seguente, mentre le coordinate sono riportate anche nella tabella seguente per maggiore chiarezza.



Figura 9: Ubicazione delle indagini eseguite, dal doc. 26.2347G6010P0 del DOCFAP.

Codice	Anno	Ubicazione WGS84	
		Lat.	Long.
S1(PZ)	2024	44,577447	11,594465
S2(DH)	2024	44,578787	11,596177
SDMT	2024	44,577199	11,595025
CPTU1	2024	44,577236	11,595127
CPTU2	2024	44,578787	11,596177
MASW1	2024	44,577417	11,595276
MASW2	2024	44,578834	11,596176
HVSR1	2024	44,577417	11,595276
HVSR2	2024	44,578834	11,596176

Tabella 3: Coordinate delle indagini eseguite, rielaborato dal doc. 26.2347G6010P0 del DOCFAP.

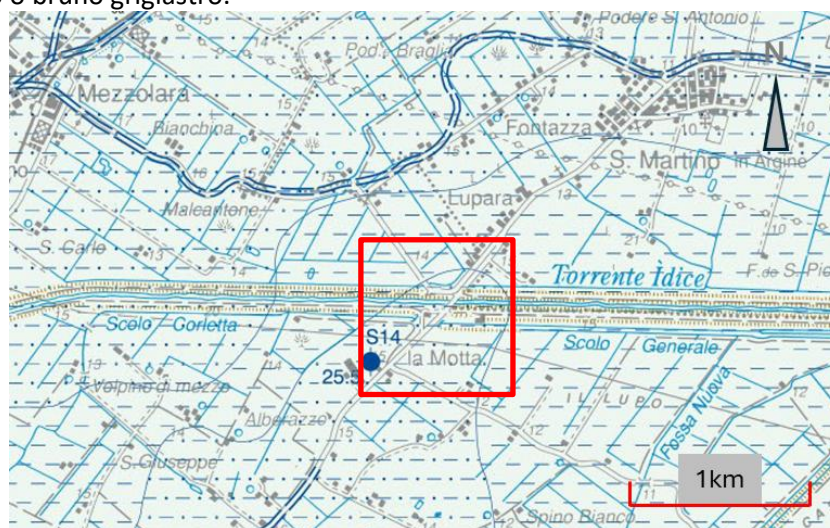
STAZIONE APPALTANTE : Città Metropolitana di Bologna PROGETTAZIONE : SYSTRA S.p.A. (Mandatara), SETECO INGEGNERIA S.r.l. ITEC ENGINEERING S.r.l.	INTERVENTO DI RIPRISTINO DEL PONTE CROLLATO SU S.P. 6 KM 13 TRA I COMUNI DI BUDRIO E MOLINELLA (CIG: B61D6D1B0D - CUP: C51B23000440001) PROGETTO DI FATTIBILITA'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

Per le risultanze delle indagini eseguite e le relative elaborazioni, si rimanda al §8 della presente relazione ed ai documenti del DOCFAP seguenti:

- 07.2347R6010P0 (Relazione geologica);
- 08.2347R6011P0 (Rapporti di indagine);
- 09.2347R6020P1 (Relazione geotecnica).

7. INQUADRAMENTO GEOLOGICO LOCALE

Secondo la Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, foglio 221 Bologna, l'unica Unità Geologica affiorante è l'Unità di Modena (AES_{8a}, v. Figura 10), di età post-romana, dal IV-VI sec. d.C. all'Attuale, che appartiene al Sintema Emiliano-Romagnolo superiore. L'Unità comprende sabbie, argille, limi e subordinatamente, ghiaie di piana alluvionale. Il limite inferiore è inconforme ed è marcato da una superficie di erosione fluviale lateralmente correlata a un suolo decarbonato a parzialmente carbonato. Il limite superiore è coincidente con il piano topografico e definito da un suolo calcareo bruno olivastro o bruno grigiastro.



Legenda

	Sabbie e limi di canale, argine e rotta fluviale Sabbie da finissime a grossolane, localmente limose, in strati a base erosiva, da sottili a molto spessi, a stratificazione obliqua concava, alternate a limi, limi sabbiosi e subordinatamente limi argillosi, in strati molto sottili e sottili. Alla base di sequenze positive a base erosiva sono presenti sabbie molto grossolane a stratificazione obliqua concava e, localmente, ghiaie. Formano corpi sedimentari a geometria prevalentemente nastriforme e tabulare-allungata in AES_{8a} e tabulare (depositi sabbiosi di conoide alluvionale) in AES₈. Passano lateralmente e verticalmente verso il basso a depositi di piana inondabile, definendo caratteristiche sequenze negative e negativo-positive. Il rapporto sabbia/limo, generalmente superiore a 1, varia sensibilmente (valori inferiori a 1 sono registrati in AES₈ nell'area di Medicina). In depositi di canale, argine e rotta fluviale riferibili al reticolo idrografico secondario, le sabbie sono nettamente subordinate rispetto al limo.
	Limi e argille di piana inondabile Limi, argille limose e argille, bioturbati, con rare intercalazioni di limi sabbiosi e sabbie, da limose a fini, in strati a gradazione positiva, da molto sottili a medi. Paleosuoli relativamente poco evoluti (Entisoli e Inceptisoli) presenti a vari livelli stratigrafici. Argille prevalenti in AES_{8a}, limi prevalenti (in questo caso l'unità comprende corpi sabbioso-limosi di canale fluviale, non cartografabili, riferibili al reticolo idrografico secondario) in AES₈. Formano corpi sedimentari a geometria lenticolare, tabulare e nastriforme.
	Unità di Modena Costituisce la parte sommitale di AES₈. Comprende sabbie, argille, limi e, subordinatamente, ghiaie di piana alluvionale. Limite inferiore inconforme, marcato da una superficie di erosione fluviale lateralmente correlata a un suolo da decarbonato a parzialmente carbonato contenente resti archeologici di età dal Neolitico al Romano. Limite superiore coincidente col piano topografico e definito da un suolo calcareo di colore bruno olivastro e bruno grigiastro (2,5Y) privo di reperti archeologici di età romana o più antichi. Spessore massimo: 5 m circa. <i>Età post-romana (IV-VI sec. d.C. - Attuale), definita su base archeologica e radiometrica.</i>

Figura 10: Stralcio della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 - Foglio 221 "Bologna" (Fonte: ISPRA Servizio Geologico d'Italia). Stralcio non in scala.

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

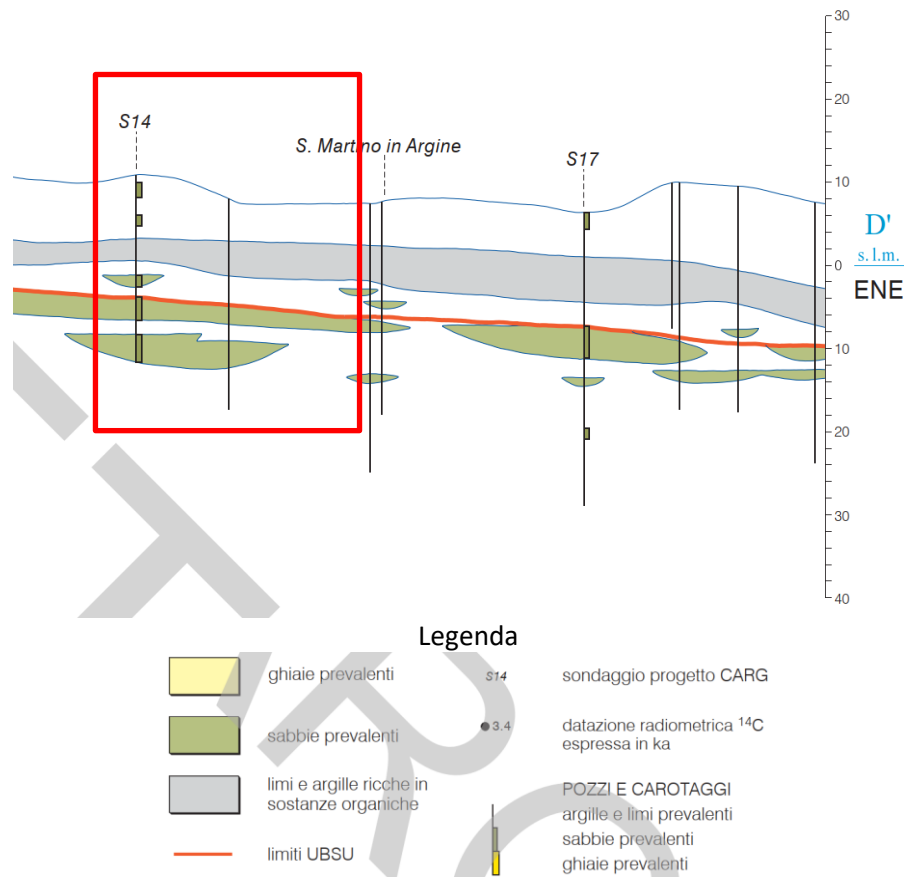


Figura 11: Dettaglio della Figura 4 con stratigrafia del Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore in sezione perpendicolare alla catena appenninica. L'esagerazione verticale è di 50x. Figura, legenda e didascalia tratte dalle Note illustrative della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 - Foglio 221 "Bologna" Fonte: ISPRA Servizio Geologico d'Italia). L'area interessata è indicata nel riquadro rosso.

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

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

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

8. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO LOCALE

L'area in oggetto è pianeggiante, con una leggera pendenza verso Nord-Est e con quote comprese tra 10 e 17 m.s.l.m.. L'idrografia superficiale primaria è rappresentata dal Torrente Idice, mentre quella secondaria da fossi di scolo che raccolgono le acque di precipitazione.

L'acquifero, in generale, può essere classificato come multi-falda, con una falda superficiale e con altre falde sottostanti, localmente in pressione e intercomunicanti, data la discontinuità sia degli orizzonti trasmissivi sia di quelli meno permeabili. La falda superficiale si alimenta prevalentemente per infiltrazione diretta, mentre quelle più profonde sono alimentate prevalentemente per ricarica da monte (Sud-Ovest).

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

La seconda cella Casagrande, installata nel sondaggio S1 a profondità di 25 m al di sotto di un livello di limo argilloso/argilla limosa, ha registrato la presenza di una falda confinata o semiconfinata in pressione, in quanto il livello piezometrico è ubicato a circa 11 m da p.c.

In sponda sinistra si ha a disposizione il dato di 8,5m di profondità da p.c. nella prova CPTu2. Anche in questo caso si deve sottrarre lo spessore del rilevato, che è stato valutato in circa 6-6,5m. La soggiacenza, quindi, è di circa 2 m anche in questo caso e la quota assoluta è di 8,24 m.s.l.m.. I dati sono riassunti nella tabella seguente, dove in grassetto sono stati indicati i dati relativi alla falda superficiale.

INDAGINE (CODICE- SPONDA IDROGRAFICA)	METODO DI MISURA (PRESSIONE INTERSTIZIALE/C. CASAGRANDE)	QUOTA INDAGINE (M.S.L.M.)	SOGGIACENZA (M DA P.C., INCLUSO IL RILEVATO ESISTENTE)	QUOTA ASSOLUTA (M.S.L.M.)	NOTE
S1-Dx	Cella a -17 m	19,93	11,3	8,63	Falda libera
S1-Dx	Cella a -25 m	19,93	11,10	8.83	Falda confinata o semiconfinata
CPTu1-Dx	Pressione interstiziale	10,25	2	8,25	Falda libera

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

S14 CARG-Dx (1993)	?	12,9	1,4	11,5	Falda libera; dati meno attendibili
CPTu2-Sx	Pressione neutra	16,74	8,5	8,24	Falda libera

Tabella 4: Sintesi dei dati idrogeologici disponibili.

Per quanto riguarda i fenomeni di subsidenza, nell'area di progetto si sono registrate, tra il 2016 ed il 2021, velocità di movimento verticale del suolo inferiori a 2.5 mm/anno (dati Arpa Emilia-Romagna, 0), che indicano quindi valori corrispondenti alla naturale subsidenza di una pianura alluvionale, senza valori anomali legati ad eccessivi emungimenti delle risorse idriche sotterranee per uso idropotabile o industriale.

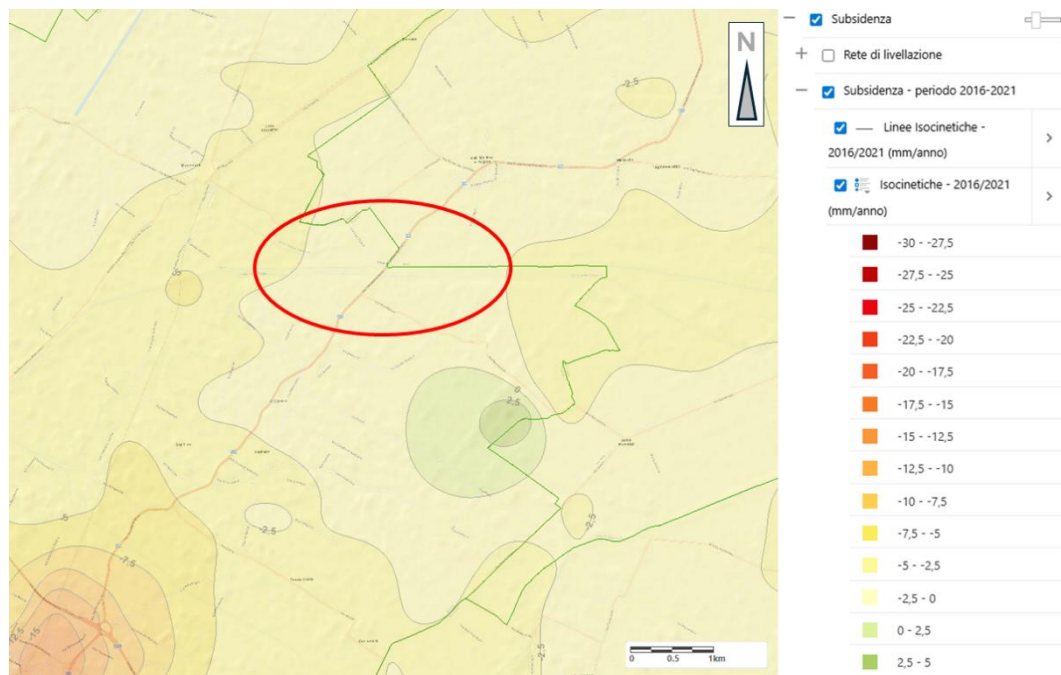


Figura 12: Subsidenza nel periodo 2016-2021. Valori in velocità di spostamento verticale annuo. Dal portale dell'Arpa Regione Emilia-Romagna.

9. DESCRIZIONE DELL'ASSETTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO IN RELAZIONE ALLE OPERE E CRITICITÀ POTENZIALI

Le analisi degli elementi bibliografici e dei risultati delle analisi disponibili hanno permesso di ricostruire l'assetto geologico nel quale si inserirà l'Opera in oggetto.

Il contesto geologico è quello tipico di una pianura alluvionale. L'Unità geologica di riferimento è l'Unità di Modena, datata dal IV-VI sec. d.C. all'Attuale.

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

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

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

La stratigrafia di dettaglio, ottenuta dalle indagini eseguite, rispecchia il quadro generale: in superficie e fino a 13-14 m dal p.c. vi sono sabbie e sabbie limose in entrambe le sponde, mentre a partire da tale profondità si rileva che in sponda destra prevalgono litologie più fini, al contrario della sponda sinistra. Il Sondaggio S14-CARG, in sponda destra, conferma una prevalenza di argille ed argille limose rispetto alle sabbie/limi sabbiosi.

Tali differenze, ed anche le variazioni tra indagini distanti poche decine di metri (per esempio tra S1 e CPT1, entrambi in sponda destra), sono attribuibili alle naturali geometrie lenticolari, tabulari o nastriformi ed alla varietà dei depositi della pianura padana, ulteriormente complicate dalla natura intrinsecamente discontinua dei fenomeni sedimentari con interruzioni e riprese degli apporti.

Nel dettaglio, in destra idrografica:

- Il sondaggio S1 ha incontrato sabbie limose più o meno addensate fino a 9,5 m da p.c.. Da 10 a 12,2 m (2,2 m) vi sono argille limose. Da 13 a 19 m (6 m) vi sono in successione sabbia limosa, sabbie grossolane e ghiaia. Da 19 m a 50 m (31 m) prevalgono limi argillosi e argille limose, con subordinati livelli plurimetrici di limi sabbiosi;
- La CPTU 1, a 50m dal sondaggio S1, ha incontrato limi sabbiosi fino a 5m dal p.c. e argille e limi da 5 a 7 m (2m). Da 7 a 14 m (7m) limi argilloso-sabbiosi, da 14 a 16 m (2m) sabbie ghiaie, e fino a 29,6 m (13,6m) sabbie limose prevalenti con strati limo-argillosi;
- Il Sondaggio S14-CARG mostra una prevalenza di argille ed argille limose a partire da 7,2 m fino a 20,9 m circa (13,7 metri), e sabbie /limi sabbiosi fino a 25,5 metri;

In sinistra idrografica:

- Il sondaggio S2 e la CPTU 2 hanno incontrato sabbie e sabbie limose, più o meno addensate, fino a 13,6 m da p.c.. Segue, fino a 14,6 m da p.c. (1 m) uno strato di sabbia e ghiaia. Da 14,6 a 21,4 m (6,8 m) vi sono limi argillosi. Seguono limi sabbiosi e sabbie limose fino a 50 m (28,6 m), piuttosto addensati, con un livello limo-argilloso tra 40 e 45 m (5m).

La stratigrafia generale, pertanto, può essere riassunta come: nei primi 6-8 m circa (14-19 m da quota indagini, a cui viene sottratto lo spessore del rilevato) vi è un'alternanza di sabbie limose e limi sabbiosi, con lenti di argille limose/limi argillosi; successivamente, per la profondità indagata significativa per il Progetto (50m), è presente un'alternanza di corpi lenticolari di argille limose, limi argillosi e subordinate sabbie limose e sabbie. Nella sponda destra (Sud) le granulometrie più fini sono più

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

abbondanti, mentre nella sponda sinistra (Nord) prevalgono quelle più grossolane. La rappresentazione grafica è riportata nel profilo geologico (doc. 24V25_PF_T_GE_400_r00).

Dal punto di vista idrogeologico, sono state incontrate sia una falda superficiale, ubicata nei depositi superficiali con soggiacenza di circa 2 m da piano campagna, sia una falda confinata/semiconfinata, in pressione, ubicata al di sotto del primo strato impermeabile argilloso/limoso. La falda superficiale è stata incontrata nel sondaggio S1 (in destra) e nelle due CPTu 1 (in destra) e 2 (in sinistra), che hanno registrato l'aumento della pressione interstiziale (u) a partire rispettivamente da 2 m e 8,5 m. Considerando il dislivello di 6,5 m tra le due prove, si tratta della stessa falda con circa 2 m di soggiacenza. Il sondaggio S1 (in destra) ha incontrato anche la falda confinata/semiconfinata, in pressione, che presenta una soggiacenza comparabile.

Le interazioni principali tra le Opere in progetto e le litologie in posto, considerando la natura intrinsecamente discontinua e lenticolare dei principali corpi sedimentari e la presenza di una falda libera superficiale e di una falda confinata o semiconfinata più profonda, sono:

- Piani di posa dei rilevati ed esecuzione dei rilevati: a causa della presenza della falda superficiale, vi possono essere rischi di instabilità idraulica. Pertanto, è stata prevista la stabilizzazione a calce dei materiali impiegati (v.§11), ed in fase costruttiva potrà essere necessario prevedere precarichi o fasi di costruzione con pause di consolidazione e platee drenanti di base;
- Sarà necessario il controllo del livello della falda freatica superficiale, essenzialmente per mezzo dei geodreni a nastro verticali, già previsti, e, nel caso fossero necessari, di ulteriori misure;
- Pali tronco-conici ad infissione e pali di fondazione dei muri di sottoscarpa: durante l'infissione si potranno generare incrementi Δu , con dissipazione più lenta ove si incontrassero lenti di materiali fini, quindi, a priori, prevalentemente nella sponda destra (Sud). In tale sponda dovrebbe anche essere trovato un livello sabbioso-ghiaioso relativamente potente al tetto dei livelli limo-argillosi, quindi potrebbero presentarsi locali picchi di resistenza all'infissione del palo. La presenza della falda confinata o semiconfinata può ridurre le tensioni efficaci locali durante l'installazione;
- I muri di sottoscarpa dovranno essere dotati di drenaggi adeguati a prevenire sovrappressioni dietro il muro stesso. A rigore tali opere saranno ubicate al di sopra del terreno naturale esistente e quindi le sovrappressioni sarebbero causate da infiltrazioni all'interno dei rilevati, ma non si possono escludere risalite dal terreno in posto sottostante.

10. INQUADRAMENTO SISMICO

L'analisi completa delle condizioni sismiche del sito, la classificazione sismica del sito e l'analisi del potenziale di liquefazione sono discussi estesamente nella Relazione sismica, a cui si rimanda (doc. 24V25_PF_R_GT_101); in questo paragrafo sono presentate le considerazioni e conclusioni principali.

La sismicità storica ed attuale della zona è legata a sorgenti sismogenetiche ben determinate, rappresentate da faglie inverse sepolte al di sotto della successione sedimentaria, con direzioni generalmente Ovest-Nord-Ovest – Est-Sud-Est, quindi sub-parallele al margine appenninico, ed immersione verso Sud-Sud-Ovest (v. figure 13 e 14).

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

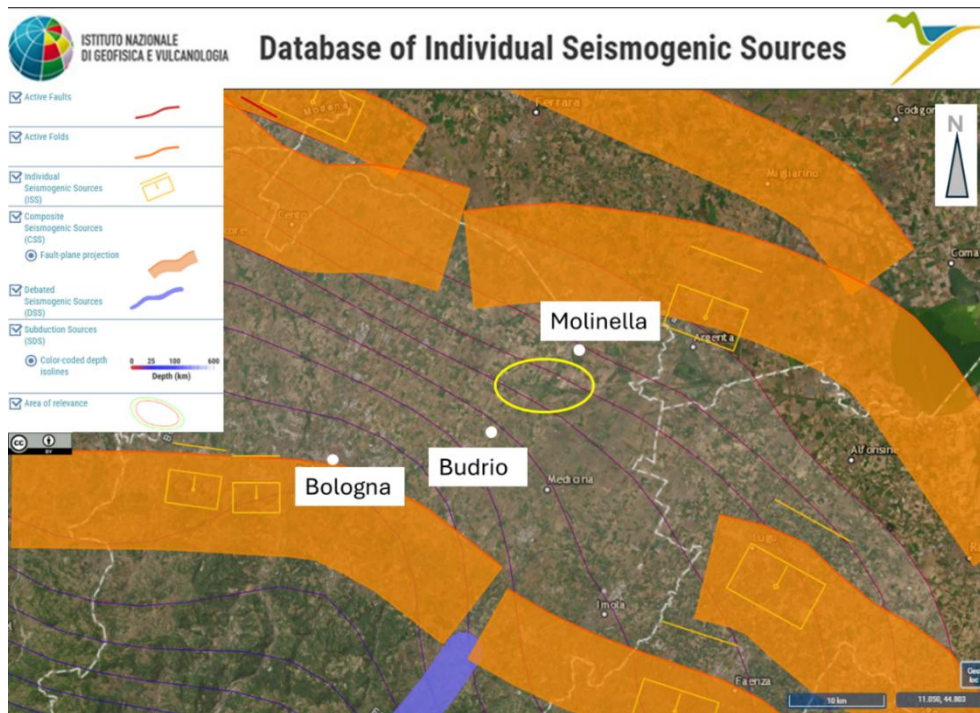


Figura 13: Localizzazione delle potenziali sorgenti di terremoti con $M > 5.5$ nell'area di studio.



Figura 14: Ubicazione delle faglie capaci nell'area di studio, dal database ITHACA.

L'Opera è ubicata al confine tra i territori comunali dei Comuni di Budrio e Molinella, entrambi classificati in zona sismica 3.

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

Sulla base dei dati delle prove eseguite ed ai sensi delle NTC 2018, il terreno risulta in categoria di sottosuolo C, mentre la categoria topografica è la T1.

L'analisi di suscettibilità alla liquefazione è stata eseguita in primo luogo verificando se sussistessero le condizioni di esclusione da verifica a liquefazione. Dal momento che tali condizioni non risultano soddisfatte, si è eseguita la verifica a liquefazione utilizzando i risultati delle prove geofisiche e geotecniche disponibili, utilizzando le equazioni e le correlazioni della letteratura scientifica corrente. Considerando i risultati ottenuti dalle verifiche, si ritiene che su entrambe le sponde sussista un rischio non trascurabile di liquefazione.

11. STABILIZZAZIONE A CALCE DELLE TERRE PROVENIENTI DAGLI SCAVI

Seguendo la filosofia progettuale formulata nel DOCFAP, anche nella fase progettuale presente si prevede, per la realizzazione dei rilevati, di riutilizzare sia il materiale scavato in sito o nelle immediate vicinanze, sia il materiale dilavato dall'alluvione e depositato a valle, a Sud-Est del sito.

Nel DOCFAP è stato stimato un volume di circa 100.000 m³ di fabbisogno di materiale per i rilevati, di cui circa 40.000 m³ si ricaverebbero dagli scavi in posto. Di conseguenza, rimarrebbero 60.000 m³ da reperire; è stimato che il volume del materiale dilavato e ridepositato sia di circa 44.000 m³, riducendo quindi la volumetria del materiale da reperire in cave di prestito a circa 16.000 m³.

In estrema sintesi, il materiale in sito, almeno per i primi 5-6 metri, è previsto di granulometria prevalentemente sabbiosa o sabbioso-limosa, mentre il materiale dilavato e ridepositato è costituito da sabbie limose e limi sabbiosi (da DOCFAP).

È previsto il miglioramento delle caratteristiche geomeccaniche dei terreni tramite un processo di stabilizzazione a calce.

In questa sede ci si rifà alle considerazioni espresse nel DOCFAP ed alle norme in esso citate:

- Decreto del Presidente della Repubblica n. 120 del 13 giugno 2017, "Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell'articolo 8 del decreto-legge 12 settembre 2014, n. 133, convertito, con modificazioni, dalla legge 11 novembre 2014, n. 164";
- SNPA – Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente- Delibera n. 54/2019;
- Decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 "norme in materia ambientale";
- UNI EN 14227-1;
- UNI EN 14227-5;
- UNI EN 11531-1;
- UNI EN 933-12;
- UNI CEN ISO/TSv17892.12;
- UNI EN 13286-2;
- UNI EN 13286-41;
- ASTM C136;
- ASTM D4318;
- ASTM D2974;
- ASTM D6276;

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

- ASTM D698;
- ASTM D5102.

Si integra quanto sopra citato con le indicazioni contenute nel Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Parte II – Sezione 18 di RFI, §§ 18.6.3.1. e 19.6.3.2., e specialmente i limiti di accettazione del terreno naturale da sottoporre a trattamento a calce (Figura 15):

LIMITI DI ACCETTAZIONE DEL TERRENO NATURALE			
Test di Laboratorio	Norma di riferimento	Requisito	Limiti di accettabilità
Analisi granulometrica	CNR B.U n. 36 UNI EN 933-1 UNI CEN ISO/TS 17892-4	Granulometria	par. 2.1 della norma CNR B.U. n.36 ⁽¹⁾
Limiti di Atterberg (LL-LP)	UNI CEN ISO/TS 17892-12	Indice di plasticità IP	>10 ⁽¹⁾
Contenuto in sostanze organiche	ASTM D 2974 - C	Sostanze organiche	< 2% ⁽²⁾
Contenuto in solfati	UNI EN 1744-1	Solfati totali	< 0,25% ⁽³⁾

⁽¹⁾ Saranno ammesse granulometrie diverse da quelle interamente comprese nel fuso (es. piroclastiti e argilliti) e un valore minore della plasticità a condizione che si dimostri l'idoneità della terra ad essere trattata, attraverso lo studio delle miscele di laboratorio e un campo prova preventivamente approvato da Ferrovie. In ogni caso il diametro massimo degli elementi non dovrà essere maggiore di un quarto (¹/₄) dello spessore finito di ciascuno degli strati di terra trattata per la realizzazione dei rilevati e l'indice di plasticità dovrà essere IP>5

⁽²⁾ Questo limite potrà essere superato, a condizione che siano soddisfatti i valori delle prove sul prodotto finale riportati al capitolo II.5 e che l'intervento venga giudicato economicamente conveniente da Ferrovie.

⁽³⁾ Questo valore può essere aumentato fino a raggiungere l'1%, qualora lo studio di laboratorio della miscela sia stato ritenuto idoneo da Ferrovie e che il materiale venga utilizzato unicamente per la formazione del piano di posa del rilevato.

Figura 15: Tabella di accettazione del terreno naturale, dal Capitolato generale tecnico di appalto RFI – Parte II – Sezione 18.

Per la determinazione dei parametri di riferimento del terreno naturale, dovranno essere eseguite specifiche analisi di laboratorio su campioni rappresentativi delle litologie precedentemente identificate. Secondo il Capitolato RFI citato, le prove di laboratorio da eseguirsi sono le seguenti:

PROVE SUL TERRENO NATURALE	
Test di Laboratorio	Norma di riferimento
Prova di costipamento Proctor Modificata, con determinazione di umidità ottima (W _{opt})	UNI EN 13286-2
Indice di portanza CBR imbibito	UNI EN 13286-47
Indice di portanza immediato (IPI)	

Figura 16: Tabella delle prove di laboratorio sul terreno naturale, dal Capitolato generale tecnico di appalto RFI – Parte II – Sezione 18.

In base a queste prescrizioni, in fase di redazione del Piano delle Indagini (doc. 24V25_P_F_D_GE_103), sono state previste alcune prove, su n. 5 campioni prelevati dai materiali dilavati dall'alluvione ed accumulati in prossimità del sito, che vengono riportate di seguito:

- Analisi granulometrica per vagliatura e per sedimentazione;
- Limiti di Atterberg;
- Classificazione secondo la norma UNI 11531-1;
- Tenore in sostanze organiche;
- Valore al blu di metilene;
- Tenore in solfati;

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

- Determinazione del consumo iniziale di calce (C.I.C.);
- Prova di costipazione Proctor modificata.

TIPOLOGIA DI PROVA	N° PROVE
Prelievo di campioni rimaneggiati	5
Analisi granulometriche	5
Limiti di Atterberg	5
Classificazione secondo la norma UNI 11531-1	5
Prova Proctor modificata	3
Determinazione del solfato	5
Determinazione del consumo iniziale di calce - C.I.C.	5
Determinazione del contenuto di sostanze organiche	5
Prova del blu di metilene	5

Tabella 5: Prove di laboratorio sul terreno naturale.

A valle di queste prove, dovrà essere valutata la quantità di calce ottimale per il trattamento a calce. In fase costruttiva verranno ripetute le prove sopra elencate, integrate da prove di portanza C.B.R.

TIPOLOGIA DI PROVA	N° PROVE
Prelievo di campioni rimaneggiati	3
Analisi granulometriche	3
Limiti di Atterberg	3
Classificazione secondo la norma UNI 11531-1	3
Prove Proctor modificate	3
Determinazione del solfato	3
Determinazione del consumo iniziale di calce - C.I.C.	3
Determinazione del contenuto di sostanze organiche	3
Prova del blu di metilene	3
Determinazione dell'indice di portanza C.B.R. (non saturo)	3
Determinazione dell'indice di portanza C.B.R. (saturo)	3

Tabella 6: Prove di laboratorio sulla miscela terreno-calce.