

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

POTENZIAMENTO IN SEDE DEL SISTEMA AUTOSTRADALE E TANGENZIALE DI BOLOGNA INTERVENTI DI COMPLETAMENTO DELLA RETE VIARIA DI ADDUZIONE INTERMEDIA DI PIANURA

PROGETTO DEFINITIVO


DOCUMENTAZIONE GENERALE

GEOLOGIA PARTE GENERALE

RELAZIONE GEOLOGICA-GEOMORFOLOGICA

IL GEOLOGO	IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE	IL DIRETTORE TECNICO
Dott. Massimo Roberto Campana Ord. Geol. Toscana N. 1709	Ing. Raffaele Rinaldesi Ord. Ingg. Macerata N. A1068	Ing. Piero Bongio Ord. Ingg. Sondrio N. A538 T.A. - Geologia e Geotecnica

CODICE IDENTIFICATIVO											ORDINATORE
RIFERIMENTO PROGETTO			RIFERIMENTO DIRETTORIO				RIFERIMENTO ELABORATO				
Codice Commessa	Lotto, Sub-Prog. Cod. Appalto	Fase	Capitolo	Paragrafo	W B S	Parte d'opera	Tip.	Disciplina	Progressivo	Rev.	
111443	0000	PD	DG	GEO	GE000	00000	R	GEO	0001	-0	SCALA -

	ENGINEER COORDINATOR:		SUPPORTO SPECIALISTICO:				REVISIONE	
	Ing. Raffaele Rinaldesi Ord. Ingg. Macerata N. A1068						n.	data
							0	DICEMBRE 2021
	REDATTO:		VERIFICATO:					

	VISTO DEL COMMITTENTE	VISTO DEL CONCEDENTE
	 IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO Ing. Fabio Visintin	 Ministero delle Infrastrutture e della mobilità sostenibile DIPARTIMENTO PER LA PROGRAMMAZIONE, LE INFRASTRUTTURE DI TRASPORTO A RETE E I SISTEMI INFORMATIVI

Sommar

1	INTRODUZIONE	3
2	DESCRIZIONE DELLE ATTIVITA' SVOLTE	7
2.1	RACCOLTA DEI DATI PREGRESSI	7
2.2	FOTOINTERPRETAZIONE.....	8
2.3	RILEVAMENTO	8
2.4	INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	9
2.4.1	Indagini bibliografiche pregresse	9
2.4.2	Indagini geognostiche pregresse.....	10
2.4.3	Indagini geognostiche progetto Intermedia di Pianura (2016)	10
2.4.4	Indagini geognostiche progetto Intermedia di Pianura (2021)	10
2.5	ANALISI DELLE STRATIGRAFIE DEI SONDAGGI.....	11
3	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	12
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE	13
5	STRATIGRAFIA.....	15
5.1	DEPOSITI ALLUVIONALI IN EVOLUZIONE (B1)	17
5.2	SINTEMA EMILIANO - ROMAGNOLO SUPERIORE (AES):	17
5.2.1	Subsistema di Ravenna (AES8).....	17
5.2.2	Subsistema di Villa Verucchio (AES7)	18
5.2.3	Subsistema di Bazzano (AES6)	18
6	GEOMORFOLOGIA.....	19
6.1	INQUADRAMENTO GENERALE	19
6.2	IDROGRAFIA	19
6.3	GEOMORFOLOGIA DELL'AREA DI INTERVENTO	20
6.3.1	Piano cave.....	20
6.3.2	Fotointerpretazione.....	22
6.3.3	Descrizione dell'area.....	22
7	ANALISI DELLA CARTOGRAFIA PRODOTTA DAGLI ENTI.....	32
7.1	PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI).....	32
7.2	PIANO TERRITORIALE METROPOLITANO (PTM).....	33
7.3	PIANI STRUTTURALI COMUNALI (PSC)	33
7.4	PIANO DI COORDINAMENTO GESTIONE RISCHI ALLUVIONI (PGRA)	34
8	ALTRI ELEMENTI	36
8.1	SUBSIDENZA	36
8.2	CENNI DI CARATTERE GIACIMENTOLOGICO.....	41
8.3	SINKOLE	43
9	CARTOGRAFIA TEMATICA	45
9.1	GEOLOGIA	45
9.2	GEOMORFOLOGIA.....	45
9.3	VINCOLI E PERICOLOSITA' IDRAULICA	46
10	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO GENERALE.....	47

10.1	IDROGEOLOGIA DELL'AREA DI STUDIO	51
11	ELEMENTI DI SISMICA GENERALE	53
11.1	SISMICITÀ STORICA	53
11.2	SISMICITÀ RECENTE (DAL 1985 AL 2021)	60
11.3	FAGLIE CAPACI	61
11.4	STRUTTURE SISMOGENETICHE	62
11.5	CLASSIFICAZIONE SISMICA	64
11.6	CLASSIFICAZIONE SISMICA DELL'AREA DI STUDIO	67
11.7	LIQUEFAZIONE	68
12	DESCRIZIONE DEL TRACCIATO	69
12.1	TRATTA A	69
12.2	TRATTA B	69
12.3	TRATTA C	70
12.4	TRATTA D1	70
13	PRINCIPALI ASPETTI GEOLOGICI DI INTERESSE INGEGNERISTICO	71

1 INTRODUZIONE

La presente relazione riguarda la porzione di territorio che ricade nella piana alluvionale a Nord di Bologna, nell'ambito del progetto definitivo per il potenziamento del sistema tangenziale di Bologna (intervento di completamento della rete viaria di adduzione "Intermedia di Pianura"); il progetto prevede la riqualificazione di sedi viarie esistenti e la realizzazione di tratti di nuova viabilità, con attraversamenti importanti quali l'alveo del Fiume Reno nei pressi di Trebbo: nelle Figg. 1a, 1b, 1c, 1d è rappresentata l'ubicazione delle quattro tratte oggetto di intervento (Tratta A, Tratta B, Tratta C, Tratta D1).

Lo scopo del lavoro consiste pertanto nell'illustrare gli elementi geologici e geomorfologici utili a focalizzare i principali aspetti progettuali riconducibili alla natura ed alle caratteristiche dei terreni attraversati dai tracciati oggetto di intervento.

La morfologia pianeggiante che contraddistingue l'intera area di studio impone l'adozione di una metodologia per la ricostruzione dell'assetto geologico-stratigrafico differente da quella normalmente impiegata per zone collinari o montane. Il rilevamento di superficie, infatti, fornisce elementi significativi solo nei rari punti in cui incisioni fluviali o scarpate antropiche (cave, sbancamenti per opere edili, etc.) mettono a nudo "spaccati stratigrafici", mentre assumono ovviamente grande rilevanza le verticali di indagine (sondaggi geognostici, pozzi per acqua, etc.), che consentono di osservare direttamente i depositi presenti nel sottosuolo al di sotto dello strato superficiale di coltivo o di riporto.

Gli elementi utilizzati per la redazione degli elaborati allegati alla presente relazione ("Planimetria geologico-geomorfologica in scala 1:5000 e "Sezione geologica" in scala 1:2000/200) sono stati ricavati essenzialmente dall'analisi critica dei dati bibliografici e dall'esame di tutte le stratigrafie disponibili (pozzi, indagini pregresse e sondaggi appositamente realizzati).

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



Fig. 1a – Planimetria dell'area di intervento Tratta A.



Fig. 1b – Planimetria dell'area di intervento Tratta B.



Fig. 1c – Planimetria dell'area di intervento Tratta C.

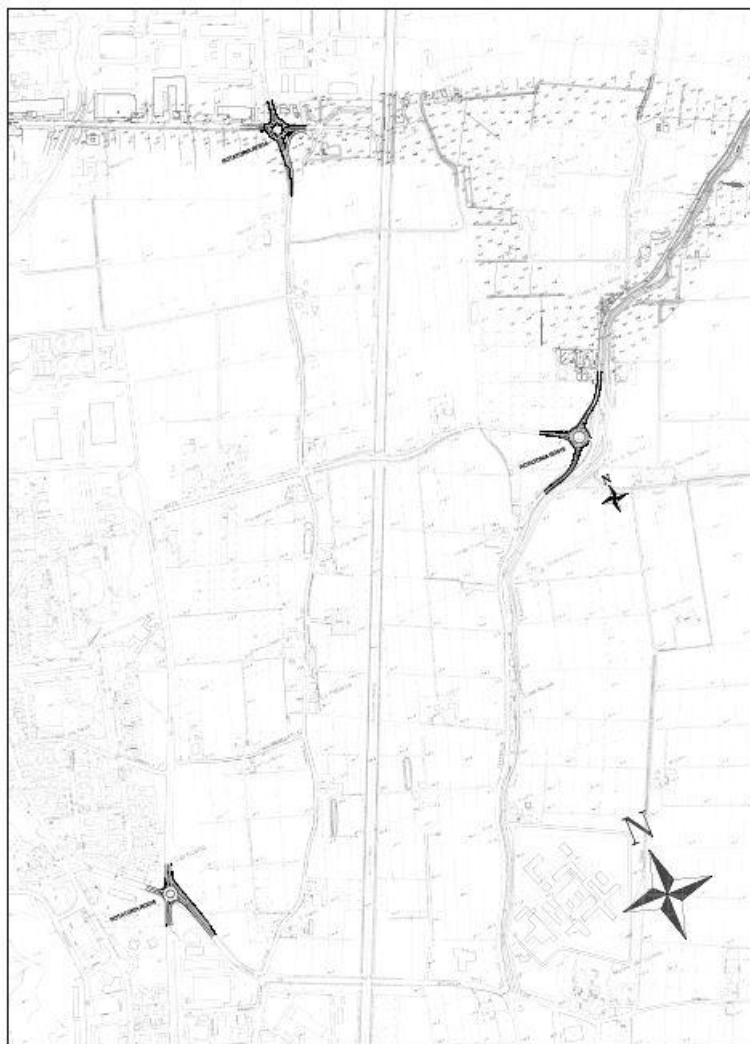


Fig. 1d – Planimetria dell'area di intervento Tratta D1.

2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITA' SVOLTE

Di seguito vengono elencate tutte le attività conoscitive svolte per la redazione del presente studio.

2.1 RACCOLTA DEI DATI PREGRESSI

Sono stati acquisiti dati/pubblicazioni dalle seguenti fonti:

- Carta Geologica d'Italia 1:100.000, foglio 87 (Bologna);
- Carta Geologica d'Italia 1:50.000 (progetto CARG) - Foglio 220 "Casalecchio di Reno" e note illustrative, Foglio 221 "Bologna" e note illustrative;
- Carta Sismotettonica della Regione Emilia - Romagna alla scala 1:250.000;
- Carta geomorfologica della Pianura Padana scala 1:250.000 (Ministero dell'università e della ricerca scientifica e tecnologica);
- Servizio Geologico della Regione Emilia – Romagna (<http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/servizi-on-line/cartografia-interattiva>):
 - Carta Geologica di pianura dell'Emilia-Romagna in scala 1:250.000;
 - Carta Geologica in scala 1:10.000 della Regione Emilia-Romagna;
 - Carta dei suoli della pianura, del basso e medio Appennino emiliano-romagnolo in scala 1:50.000;
 - Sezioni geologiche e prove geognostiche della pianura emiliano romagnola;
 - Piezometrie e qualità delle acque sotterranee nella pianura emiliano-romagnola;
 - consultazione del Catalogo dei Dati Geografici, servizio di cartografia online della Regione Emilia-Romagna (<https://datacatalog.regione.emilia-romagna.it/catalogCTAV>);
 - tutti i dati geognostici pregressi ricadenti nelle adiacenze del tratto di interesse (pozzi, sondaggi, cpt, pozzetti) reperibili c/o la Banca dati geognostici regionali;
- Società Geologica Italiana;
- ARPA Regione Emilia Romagna: Rilievo della subsidenza nella pianura emiliano-romagnola (da portale cartografico ARPAE);
- Piani Stralcio Assetto Idrogeologico P.A.I. (D. n.2/1-2001) - Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po (ex Autorità di Bacino Reno, aggiorn. 2016);
- Piani di Coordinamento Gestione Rischi Alluvioni P.G.R.A. (D.L.49/2010) – Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po (ex Autorità di Bacino Reno), aggiornam. Direttiva Alluvioni 2019;
- Piano Infraregionale delle Attività Estrattive P.I.A.E. (11/2013) - Città Metropolitana, Bologna (approvaz. 31/03/2014);
- Piano Comunale Attività Estrattive P.A.E. Comune di Bologna (2020, approvazione DC/PRO/2021/64);
- SIT – Servizio Informativo Territoriale della Provincia di Bologna (<http://cartografia.cittametropolitana.bo.it/ptcptav>) (<http://sitmappe.comune.bologna.it/pucviewer>)

- Piano Territoriale Metropolitano P.T.M. - Città Metropolitana, Bologna (approvaz. 12/05/2021) (https://www.ptmbologna.it/ptm_approvato);
- Piano Strutturale Comunale (P.S.C.) del Comune di Bologna - Relazione di Piano e cartografie, tra cui la Tavola dei Vincoli "Risorse idriche e Assetto idrogeologico" (approvaz. 10/02/2020);
- Piano Strutturale Comunale (PSC) dei Comuni di Sala Bolognese (BO), Calderara di Reno (BO), Castel Maggiore (BO);
- Gestore dei servizi idrici integrati (HERA Bologna) afferente il campo pozzi "San Vitale";
- Archivi TECNE-ASPI: dati geognostici pregressi ricadenti nelle adiacenze del tratto di interesse;
- Progetto definitivo del Passante di Bologna e studi per il Progetto Esecutivo;
- Progetto definitivo di ampliamento alla terza corsia della A13 tra Ferrara e Bologna e studi per il Progetto Esecutivo.

2.2 FOTINTERPRETAZIONE

Per ottenere un migliore riconoscimento delle forme del territorio a grande scala (altrimenti non rilevabili date le ridotte variazioni altimetriche dell'area e la presenza di insediamenti antropici) si è fatto ricorso all'interpretazione di foto aeree; l'attività di fotointerpretazione può essere definita come la raccolta sistematica di informazioni georiferite, secondo obiettivi e criteri predeterminati, attraverso l'utilizzo di immagini riprese a distanza remota.

I fotogrammi aerei, grazie alla sovrapposizione ("overlap") dei successivi scatti di una ripresa aerea per il 60% della dimensione dell'immagine, sono stati analizzati con lo stereoscopio che permette una visione tridimensionale, ancorché enfatizzata nella percezione dei rilievi, dell'area fotografata.

I fotogrammi digitali utilizzati per la fotointerpretazione, ottenuti dalle riprese aeree effettuate nel 2015, sono i seguenti:

- strisciata N°104; fotogrammi dal N°0289÷0277
- strisciata N°105; fotogrammi dal N°0233÷0259

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

2.3 RILEVAMENTO

Al fine di identificare le caratteristiche dei depositi afferenti la tratta in oggetto, di verificare e contestualizzare le forme individuate per mezzo della fotointerpretazione e di osservare gli elementi geomorfici di dettaglio che non sono apprezzabili dall'analisi delle foto aeree, è stata svolta una campagna di rilevamento geologico – geomorfologico in sito. La sintesi del lavoro è rappresentata negli elaborati allegati al presente progetto.

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

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

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

- la carta IGM (istituto geografico militare) che ha un dettaglio del territorio in scala 1:25000, revisionata nel tempo a partire dagli anni 50;
- la carta CTR (carta tecnica regionale) che ha un dettaglio del territorio in scala 1:5000 che ha avuto l'ultima revisione nel 2020.

2.4 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Al fine di ricostruire la stratigrafia e le caratteristiche dei terreni presenti nel sottosuolo in una zona pianeggiante e priva di affioramenti come quella in oggetto, è risultato indispensabile utilizzare dati provenienti da sondaggi geognostici e da pozzi. In primo luogo si è provveduto a reperire tutti i dati disponibili (presso enti pubblici, presso privati o risultanti da indagini pregresse realizzate da Autostrade) per una fascia molto più ampia di quella riportata nelle planimetrie allegate al presente progetto. Tutte le informazioni recuperate sono state riportate negli elaborati cartografici in scala 1:5000 utilizzando differente simbologia in funzione della loro tipologia.

2.4.1 Indagini bibliografiche pregresse

La consultazione delle stratigrafie fornite dal Servizio Geologico Regionale ha riguardato le verticali d'indagine relative al progetto CARG ed i pozzi per acqua ad uso pubblico / privato; tale documentazione consiste per lo più di stratigrafie di difficile interpretazione, in quanto molto vecchie e talora derivanti da perforazioni realizzate a distruzione di nucleo (ricostruzione granulometrica derivata dall'analisi del cutting e dei fanghi). Le descrizioni sono sommarie e con pochi elementi utili per effettuare le attribuzioni stratigrafiche alle unità geologiche (fuso granulometrico, colore ed alterazione dei granuli). Inoltre, non sono corredate da prove geotecniche. Queste stratigrafie si sono comunque rivelate utili per effettuare correlazioni tra gli orizzonti guida individuati con le indagini appositamente realizzate per il progetto.

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

Inoltre sono state reperite indagini geognostiche (sondaggi, prove penetrometriche e prospezioni sismiche) dalle seguenti fonti:

- Ø Consorzio Bonifica Renana (2007, 2009);
- Ø Città Metropolitana di Bologna/Unione Reno-Galliera (2017).

2.4.2 Indagini geognostiche pregresse

La consultazione della documentazione geognostica (sondaggi, pozzetti superficiali, prove penetrometriche, prospezioni sismiche) ha riguardato il seguente ambito di indagini pregresse:

- Ø Progetto di ampliamento alla terza corsia della A13 tra Ferrara e Bologna (2009, 2011, 2018);
- Ø Progetto nuovo svincolo di Castel Maggiore (2017).

2.4.3 Indagini geognostiche progetto Intermedia di Pianura (2016)

Ai fini di una corretta modellazione del terreno attraversato è stata realizzata una apposita campagna di indagini geognostiche (indagini in sito e prove di laboratorio) che viene di seguito sintetizzata:

- Ø n. 9 sondaggi geognostici verticali (sigla IPxx) eseguiti a carotaggio continuo, spinti a profondità massima di 40m, con esecuzione di prove in foro tipo SPT, prove d'acqua Lefranc e prelievo di campioni indisturbati, rimaneggiati ed ambientali; i sondaggi sono stati completati mediante installazione di tubi piezometrici e/o celle casagrande e di tubi in PVC per Down Hole;
- Ø n. 10 pozzetti esplorativi superficiali (PZ-IPxx) spinti a profondità massima di 4m da p.c., con esecuzione di prove di carico su piastra, prove di densità e prelievo di campioni rimaneggiati ed ambientali;
- Ø n. 2 prospezioni sismiche in foro di tipo Down Hole;
- Ø Prove geotecniche di laboratorio eseguite sui campioni prelevati dai sondaggi geognostici e dai pozzetti esplorativi; si è trattato di prove di caratterizzazione fisica (granulometrie e limiti), prove meccaniche (triassiali, edometri e tagli) e prove meccaniche dinamiche (colonna risonante, taglio torsionale ciclico);
- Ø Prove di stabilizzazione a calce eseguite su campioni di grosso volume prelevati in 3 pozzetti superficiali;
- Ø Prove chimiche eseguite su campioni di acqua prelevati dai piezometri per la determinazione del tenore in solfati e cloruri;
- Ø Prove chimiche ambientali (analisi chimiche di laboratorio) eseguite su campioni di terreno prelevati nei sondaggi e nei pozzetti superficiali geotecnici.

2.4.4 Indagini geognostiche progetto Intermedia di Pianura (2021)

Ai fini di ottenere un affinamento della modellazione del sottosuolo è stata realizzata una apposita campagna di indagini geognostiche (indagini in sito e prove di laboratorio) così sintetizzata:

- Ø n. 9 sondaggi geognostici verticali (sigla IP-Sx) eseguiti a carotaggio continuo, spinti a profondità massima di 30m, con esecuzione di prove SPT, prove di permeabilità Lefranc, prelievo di campioni indisturbati, rimaneggiati ed ambientali, prelievo di campioni d'acqua da piezometro; i sondaggi sono stati completati mediante installazione di tubi piezometrici e/o celle casagrande;
- Ø n. 7 pozzetti esplorativi superficiali, spinti a profondità massima di 2,8m, con esecuzione di prove di densità e di carico su piastra, prelievo di campioni rimaneggiati (anche di grosso volume) ed ambientali;

- Ø n. 5 prospezioni sismiche di superficie MASW;
- Ø n. 5 prospezioni sismiche passive HVSR;
- Ø Prove geotecniche di laboratorio eseguite sui campioni prelevati dalle verticali di indagine; si tratta di prove di caratterizzazione fisica (granulometrie e limiti) e prove meccaniche (triassiali, tagli);
- Ø Analisi chimiche di acqua da piezometro per la determinazione del tenore in solfati e cloruri;
- Ø Prove chimiche ambientali (analisi chimiche di laboratorio) eseguite su campioni di terreno prelevati dalle verticali di indagine.

Le indagini geognostiche sono state eseguite, come previsto dalla norma vigente, sulla base di un progetto redatto in maniera multidisciplinare dalle seguenti figure:

- § Geologo responsabile dell'ufficio geologia (GEO) per la componente geologica
- § Ingegnere responsabile dell'ufficio opere all'aperto (APE) per gli aspetti geotecnici
- § Ingegnere responsabile dell'ufficio idraulica (IDR) per quanto riguarda l'idrologia
- § Ingegnere responsabile del monitoraggio ambientale (MAM) per quanto attiene alla caratterizzazione chimica e chimico-fisica delle acque e delle terre da scavo.

2.5 ANALISI DELLE STRATIGRAFIE DEI SONDAGGI

Nella fase di interpretazione stratigrafica sono stati attribuiti vari gradi di attendibilità ai dati dei sondaggi geognostici ed in generale delle verticali esaminate; infatti, oltre alle indagini geognostiche appositamente eseguite per il progetto in oggetto, sono stati ritenuti maggiormente attendibili i sondaggi di cui sono disponibili le descrizioni stratigrafiche e la documentazione fotografica delle cassette catalogatrici, seguiti dai sondaggi di cui sono disponibili le sole descrizioni stratigrafiche, senza l'ausilio della documentazione fotografica; meno attendibili, ma comunque utili per la ricostruzione stratigrafica d'insieme, le verticali con descrizione stratigrafica sommaria (es. pozzi per acqua).

3 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area oggetto di intervento interessa una porzione della pianura bolognese, che borda le propaggini collinari dell'Appennino Settentrionale; essa è quindi trasversale alla fasce di pertinenza fluviali, delimitate a ovest dal Fiume Reno e a est dal Torrente Savena che hanno direzione grossomodo nord-nordest.



Fig. 2 – Inquadramento geografico dell'area di intervento (da RER modif.)

Le opere previste dal progetto interferiscono con un territorio già fortemente antropizzato, in particolare sono presenti:

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

I territori ubicati a nord di Bologna ed interessati dagli interventi oggetto del presente studio appartengono ai comuni di Sala Bolognese, Calderara di Reno, Castel Maggiore.

4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE

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

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

Il riempimento del bacino marino ed il passaggio alla sedimentazione continentale non avvengono in maniera continua e progressiva, ma sono il risultato di eventi tettonico - sedimentari "parossistici", separati nel tempo da periodi di forte subsidenza bacinale e movimenti ridotti delle strutture compressive. Questo fatto è testimoniato dalle numerose superfici di discontinuità stratigrafica riconosciute e cartografate sul Margine Appenninico Padano (Fig. 3 tratta dalle note illustrative alla carta sismotettonica della regione Emilia - Romagna, scala 1.250.000).

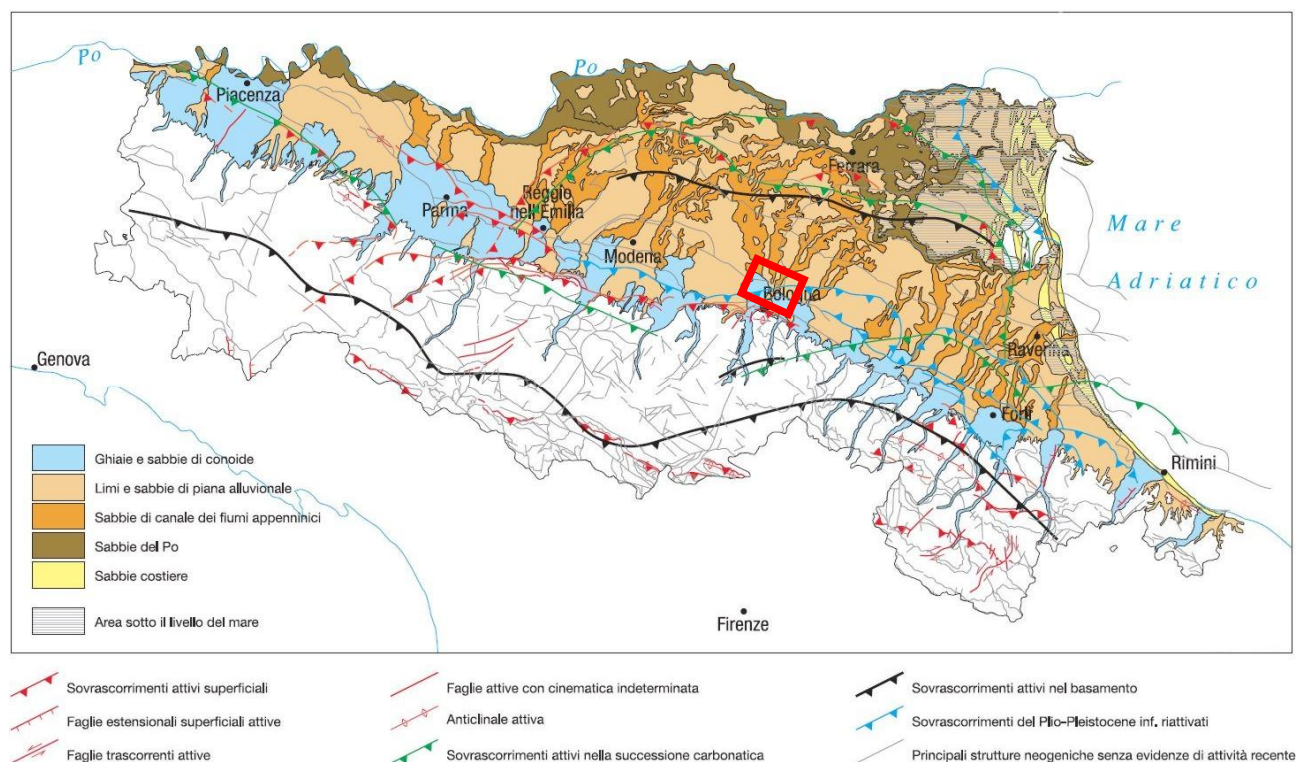


Fig. 3 - Schema strutturale della pianura emiliano – romagnola (da Note illustrative alla carta sismotettonica della regione Emilia-Romagna, scala 1.250.000). In rosso l'area di interesse.

In base alla geometria delle superfici di discontinuità affioranti sul margine appenninico e tenendo conto della loro prosecuzione in profondità nella zona di pianura (dati sismici e di pozzo), è stato possibile definire il quadro stratigrafico riportato Fig. 4.

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

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

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

PRINCIPALI UNITA' STRATIGRAFICHE					ETA' (milioni di anni)	SCALA CRONOSTRATIGRAFICA (milioni di anni)	UNITA' IDROSTRATIGRAFICHE			
AFFIORANTI					SEPOLTE		GRUPPO ACQUIFERO	COMPLESSO ACQUIFERO		
QUATERNARIO CONTINENTALE					ALLUVIONI / QUATERNARIO MARINO E SABBIE DI ASTI					
DILUVIUM p.p.		TERRE ROSSE, DILUVIUM, ALLUVIUM, TERRAZZI E ALLUVIONI		UNITA' DI CA' DI SOLA	SUPER SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO	SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE SUPERIORE - OLOCENE	A	A ₀
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO								SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	A ₂			
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE		PLEISTOCENE MEDIO
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	B ₁
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				B ₂
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	B ₃
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				B ₄
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	C ₁
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				C ₂
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	C ₃
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				C ₄
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	C ₅
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				C ₆
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	C ₇
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				C ₈
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	C ₉
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				C ₁₀
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	C ₁₁
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				C ₁₂
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	C ₁₃
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				C ₁₄
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	C ₁₅
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				C ₁₆
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	C ₁₇
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				C ₁₈
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	C ₁₉
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				C ₂₀
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	C ₂₁
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				C ₂₂
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	C ₂₃
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				C ₂₄
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	C ₂₅
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				C ₂₆
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	C ₂₇
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				C ₂₈
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	C ₂₉
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				C ₃₀
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	C ₃₁
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				C ₃₂
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	C ₃₃
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				C ₃₄
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	C ₃₅
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				C ₃₆
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	C ₃₇
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				C ₃₈
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	C ₃₉
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				C ₄₀
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	C ₄₁
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				C ₄₂
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	C ₄₃
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				C ₄₄
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	C ₄₅
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				C ₄₆
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	C ₄₇
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				C ₄₈
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	C ₄₉
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				C ₅₀
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	C ₅₁
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				C ₅₂
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	C ₅₃
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				C ₅₄
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	C ₅₅
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				C ₅₆
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	C ₅₇
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				C ₅₈
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	C ₅₉
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				C ₆₀
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	C ₆₁
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				C ₆₂
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	C ₆₃
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				C ₆₄
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	C ₆₅
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				C ₆₆
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	C ₆₇
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				C ₆₈
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	C ₆₉
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				C ₇₀
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	C ₇₁
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				C ₇₂
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	C ₇₃
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				C ₇₄
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	C ₇₅
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				C ₇₆
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	C ₇₇
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				C ₇₈
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	C ₇₉
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				C ₈₀
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	C ₈₁
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				C ₈₂
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	C ₈₃
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				C ₈₄
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	C ₈₅
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				C ₈₆
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	C ₈₇
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				C ₈₈
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	C ₈₉
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				C ₉₀
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	C ₉₁
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				C ₉₂
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	C ₉₃
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO		SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO				C ₉₄
FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE		FORMAZIONE DI OLIVATELLO					SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	PLEISTOCENE MEDIO	

Fig. 4 - Inquadramento geologico - stratigrafico dell'area di studio

5 STRATIGRAFIA

Il progetto di cartografia geologica d'Italia in scala 1:50.000 (Progetto CARG) stabilisce che la classificazione stratigrafica dei depositi quaternari di pianura, a fini cartografici, debba basarsi sulla litologia relativa a ciascun ambiente deposizionale e sulla presenza di discontinuità o interruzioni della sedimentazione (limiti inconformi) che separano i corpi geologici di età diverse. Ciò consente di caratterizzare i sedimenti di pianura sia sulla base della loro composizione granulometrica (ghiaie, sabbie, alternanza di sabbie e limi, ecc.), sia in funzione dell'ambiente in cui si sono deposte (alluvionale di canale, deltizio di area interdistributrice, ecc). Si possono così distinguere fra loro litologie in prima approssimazione simili, ma con geometrie e relazioni laterali e verticali dei corpi geologici molto diverse, in base al contesto sedimentario in cui si sono originate.

I medesimi depositi sono anche oggetto della classificazione fondata sui limiti stratigrafici inconformi (U.B.S.U., Salvador, 1987) che prevede la distinzione di unità stratigrafiche delimitate da superfici di discontinuità definite sintemi e subsintemi. Queste unità sono particolarmente efficaci per descrivere il territorio in base alla sua storia geologica, all'età dei suoi sedimenti e alla peculiare ciclicità degli eventi che l'hanno trasformato, tipici dell'epoca quaternaria. Lo schema più esaustivo per la rappresentazione di queste unità è quello di tipo crono stratigrafico che riporta in ascissa la distribuzione geografica delle unità ed in ordinata il tempo in cui tali unità si sono deposte. Nello schema crono stratigrafico di Fig. 5 si possono osservare le litologie e le età delle principali unità stratigrafiche utilizzate per i depositi quaternari di pianura dell'Emilia-Romagna (settore orientale e costiero).

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

L'intervento oggetto del presente studio ricade nel Sintema emiliano - romagnolo Superiore (AES), che è caratterizzato al suo interno dall'alternanza ciclica, su spessori dell'ordine di 20-40m, di pacchi di materiale fine (limi ed argille, con subordinate sabbie di piana inondabile) con depositi in cui la componente grossolana (ghiaie e sabbie di canale fluviale) è prevalente o comunque abbondante.

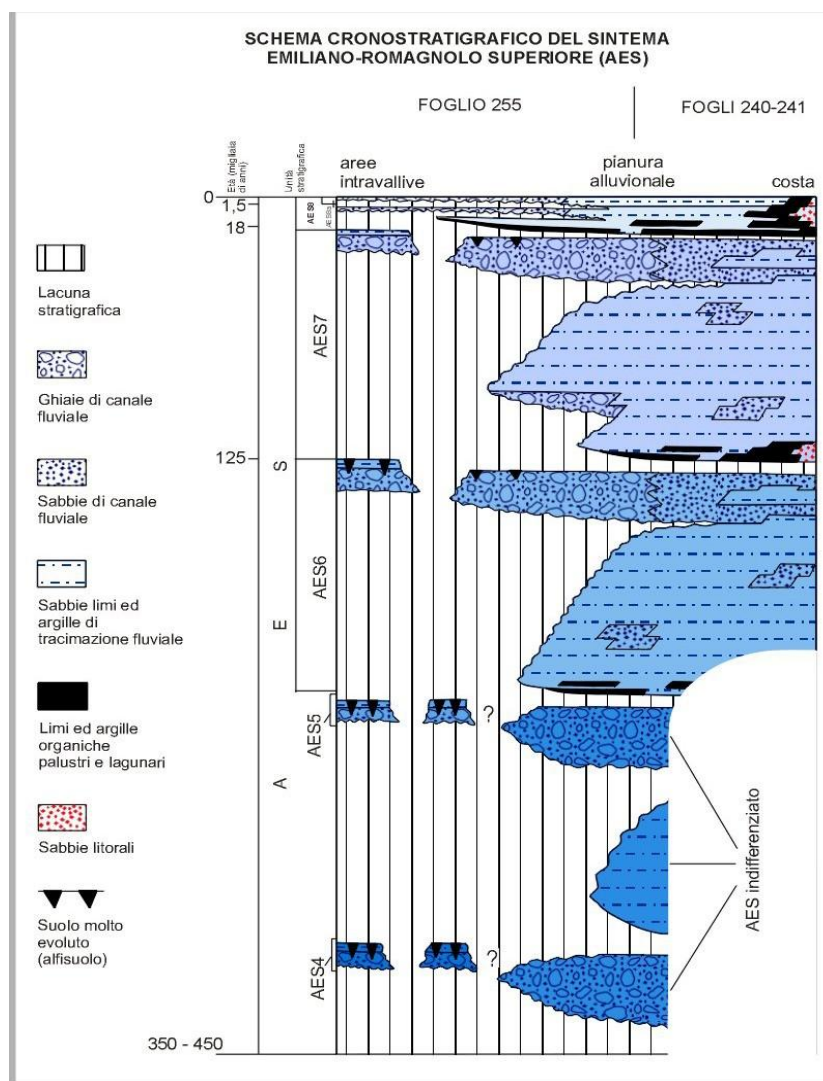


Fig. 5 - Schema del modello stratigrafico adottato per il settore orientale e costiero della pianura emiliano – romagnola.

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

Per la stesura della planimetria geologica e della sezione geologica è stata effettuata una analisi critica dei dati di rilevamento del "CARG" (comprese le sezioni geologiche-idrogeologiche interpretative) integrandoli e verificandoli con le risultanze delle indagini geognostiche disponibili.

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

Con particolare riferimento al limite inferiore dell'Unità di Modena AES8a, esso viene definito dal "CARG" come una superficie di erosione fluviale correlata ad un suolo non calcareo (o scarsamente calcareo)

contenente resti di epoca romana (datazione archeologica), pertanto la differenziazione su base pedologica ed archeologica con il sottostante Subsistema AES8 non ha, in generale, un riscontro di tipo litotecnico. Inoltre lo spessore indicato nei documenti "CARG" per l'Unità di Modena è di alcuni metri (sempre inferiore a 10m), condizione che rende insussistente una correlazione diretta con le variazioni delle caratteristiche litotecniche riscontrabili a profondità maggiori. Per questi motivi non si è ritenuto opportuno evidenziare tale differenziazione nell'ambito dei profili geologici redatti, preferendo riportare una distinzione tra corpi a diversa granulometria, aspetto che assume molta rilevanza dal punto di vista geotecnico. Negli stessi elaborati è invece riportata una possibile interpretazione riguardo ai limiti tra i subsistemi AES8, AES7 ed AES6 (ove le profondità di indagine ne consentano la discriminazione), ipotizzando il loro andamento sulla base dei dati contenuti nelle sezioni "CARG" ricadenti nelle vicinanze dei tratti di intervento: ove possibile tali limiti sono stati adattati sulla base delle risultanze dei carotaggi di progetto, con particolare riferimento ai livelli torbosi/carboniosi, considerati, in letteratura, un buon "marker" ai fini della differenziazione di tali unità.

Si evidenzia inoltre che:

- nei carotaggi si attraversano orizzonti simili al "marker", disposti a livelli stratigrafici differenti;
- nelle sezioni "CARG" prese in considerazione il limite tra AES8 ed AES7 viene riportato anche all'interno di un medesimo corpo prevalentemente granulare e avente un andamento a profondità piuttosto varie, in quanto i limiti tra subsistemi rappresentano una superficie di discontinuità deposizionale/temporale.

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

5.1 DEPOSITI ALLUVIONALI IN EVOLUZIONE (B1)

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

Età: Attuale

5.2 SITEMA EMILIANO - ROMAGNOLO SUPERIORE (AES):

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

5.2.1 Subsistema di Ravenna (AES8)

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

Età: Pleistocene sup.-Olocene

5.2.1.1 Unità di Modena (AES8a)

Nei settori intravallivi comprende ghiaie prevalenti organizzate in due ordini di terrazzi alluvionali. Negli sbocchi vallivi e nella piana alluvionale è rappresentato da sabbie, limi e argille con ghiaie subordinate. Limite superiore sempre affiorante (coincidente col piano topografico), individuato da un suolo calcareo di colore bruno-olivastro e bruno-grigiastro privo di reperti archeologici romani o più antichi. Limite inferiore identificato da una superficie di erosione fluviale nelle aree intravallive e dal contatto netto sul suolo non calcareo o scarsamente calcareo contenente, nelle aree di pianura, reperti dal Neolitico al Romano.

Spessore massimo di alcuni metri (<10 metri).

Età: post-romana (IV÷VI sec. d.C. - attuale)

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

Con particolare riferimento al limite inferiore dell'Unità di Modena AES8a, esso viene definito dal CARG come una superficie di erosione fluviale correlata ad un suolo non calcareo, o scarsamente calcareo, contenente resti di epoca romana (datazione archeologica): in virtù di tale circostanza, la differenziazione su base pedologica ed archeologica con il sottostante Subsistema AES8 non ha, in generale, un riscontro di tipo litotecnico. Inoltre lo spessore indicato nei documenti "CARG" per l'Unità di Modena è sempre inferiore a 10 m, condizione che, come già riferito in precedenza, rende insussistente una correlazione diretta con le variazioni delle caratteristiche litotecniche riscontrabili a profondità maggiori. Per questi motivi non si è ritenuto opportuno evidenziare tale differenziazione nell'ambito della sezione geologica redatta, dove si è preferito riportare una distinzione tra corpi a diversa granulometria, aspetto che assume un'importante rilevanza dal punto di vista geotecnico.

5.2.2 Subsistema di Villa Verucchio (AES7)

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

Età: Pleistocene sup.

Nell'ambito dei profili geologici realizzati per la tratta A, B e C è stato ipotizzato in profondità il limite tra AES7 ed il sovrastante AES8 (limite derivato dalle sezioni CARG ed adattato, laddove evidente, in funzione delle risultanze dei carotaggi di progetto).

5.2.3 Subsistema di Bazzano (AES6)

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

Età: Pleistocene medio.

Nell'ambito del profilo geologico realizzato per la tratta A è stato ipotizzato in profondità il limite tra AES6 ed il sovrastante AES7 (limite derivato dalle sezioni CARG).

6 GEOMORFOLOGIA

6.1 INQUADRAMENTO GENERALE

L'interventi oggetto del presente studio ricadono in una fascia di territorio definita "di cerniera" tra il "margine appenninico-padano" - unità morfologica corrispondente alla zona a cavallo tra il limite morfologico Appennino-Pianura Padana, costituita dalle colline del basso Appennino e dalla fascia pedemontana della Pianura Padana - e la Pianura Padana in senso stretto. Questa fascia di territorio, ad assetto subpianeggiante, comprende le conoidi dei principali corsi d'acqua che provengono dal versante appenninico (Fig. 6). Si tratta di superfici a pendenza decrescente verso nord/nord-est, derivate dall'erosione delle litologie competenti (flysch calcareo-marnosi e ofioliti) affioranti nel settore appenninico Emiliano.

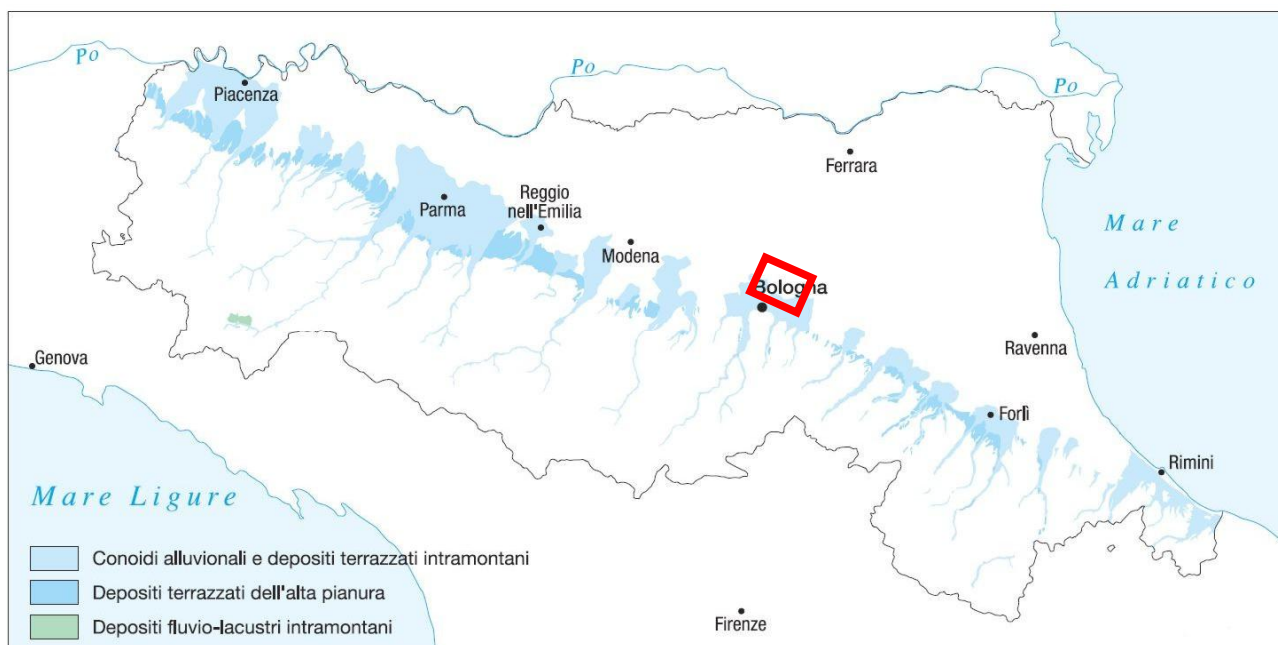


Fig. 6 - Inquadramento geomorfologico della pianura emiliano – romagnola (da Note illustrative alla carta sismotettonica della regione Emilia-Romagna, scala 1.250.000). In rosso l'area di interesse.

La pianura alluvionale bolognese si è infatti originata dalla sovrapposizione di eventi alluvionali in direzione prevalente circa nord-sud; il territorio bolognese è caratterizzato da valori di altitudine (quote in m s.l.m.) che tendenzialmente diminuiscono verso nord e aumentano invece da ovest verso est. Più in dettaglio l'area di intervento è caratterizzata da un andamento piano - altimetrico compreso tra i 25 e i 34m s.l.m. c.a.

6.2 IDROGRAFIA

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

La rete idrografica dell'area di progetto è caratterizzata principalmente dal percorso interregionale del Fiume Reno, che nasce in Toscana e ha un deflusso generale in direzione nord con un cambio repentino in direzione est.

Il Fiume Reno sottostante un bacino idrografico di circa 6000 km² di questi poco meno della metà occupano l'area montana; ha una lunghezza complessiva, dalla sorgente più distante alla foce presso Comacchio, di



Fig. 7 – Estratto planimetrico PIAE 2002 in cui ricadono i tratti di intervento e relativa legenda.

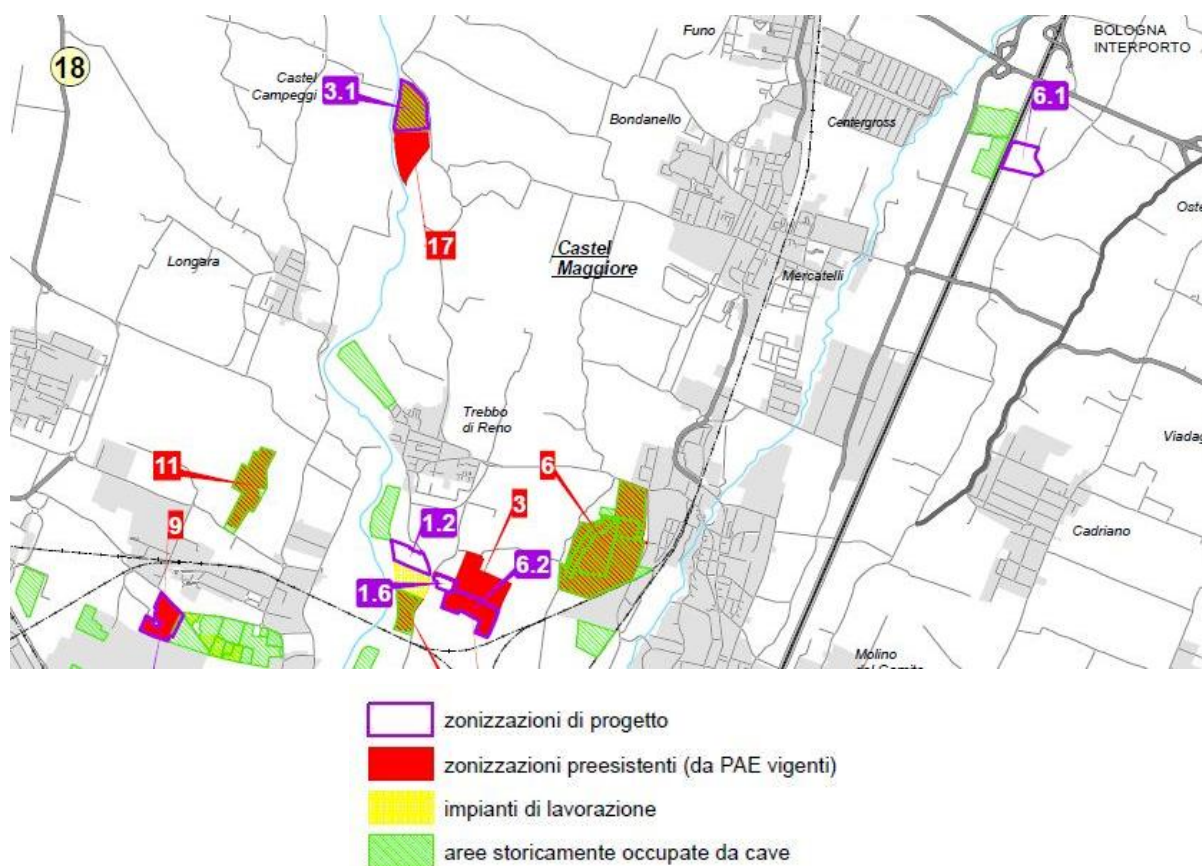


Fig. 8 - Estratto planimetrico PIAE 2013 in cui ricadono i tratti di intervento e relativa legenda.



Fig. 9 - Estratto planimetrico PAE 2020 in cui ricadono i tratti di intervento (In colore verde le ex cave di argilla).

6.3.2 Fotointerpretazione

I principali macroelementi naturali individuati nell'area di interesse mediante l'analisi delle foto aeree sono i seguenti:

- Ø Terrazzi alluvionali;
- Ø Depositi detritici in alveo.

Entrambi questi elementi sono legati a dinamiche geomorfologiche riguardanti punti sottoposti a maggiore erosione spondale e alla successiva deposizione detritica.

I principali macroelementi antropici individuati mediante l'analisi delle foto aeree sono:

- Ø Arginature con finalità idrauliche specie lungo il tragitto del Fiume Reno;
- Ø Depressioni antropiche (residui di scavi, residui della lavorazione degli inerti);
- Ø Aree di Cava (terrazzi morfologici residuali di origine antropiche, scarpate morfologiche);
- Ø Rilevati antropici stradali e ferroviari principali;
- Ø Aree urbanizzate.

6.3.3 Descrizione dell'area

Il principale macroelemento naturale è il Fiume Reno. Il tracciato dell'alveo nel tratto di attraversamento (Tratta B) è di tipo non confinato, con una sinuosità piuttosto evidente; si evidenzia che il grado di sinuosità aumenta se riferito all'alveo di magra e con esso la capacità erosiva della corrente specie sulle scarpate fluviali. Come già accennato in precedenza, in epoca storica le dinamiche geomorfologiche del F. Reno hanno dato origine a numerosi eventi alluvionali e a impaludamenti significativi: per contenere la portata di tali fenomeni sono stati costruiti quindi con finalità idrauliche gli Argini artificiali. Essi sono attualmente ancora ben individuabili, anche se in alcuni tratti l'urbanizzazione incipiente li ha quasi obliterati.

Il progetto della cosiddetta "Intermedia di Pianura" si sviluppa a nord della Tangenziale di Bologna e consiste in un insieme d'interventi finalizzati ad unire porzioni stradali esistenti nonché la modifica di alcuni

incroci con l'inserimento di rotatorie stradali.; in particolare, l'elemento di maggior rilievo è l'attraversamento dell'alveo del F. Reno (zona Trebbo).

6.3.3.1 TRATTA "A"

Il progetto prevede un potenziamento in sede e la realizzazione di alcune nuove rotatorie; il territorio oggetto di studio è pianeggiante e non presenta peculiarità geomorfologiche degne di nota.

6.3.3.2 TRATTA "B"

Nuovo asse stradale e rotatore

L'area di studio è quella rappresentata nelle Figg. 10a e 10b. Le opere previste si trovano a sud-ovest di Longara, in un'area pianeggiante caratterizzata da quote di circa 30 m s.l.m. L'idrografia è limitata al Fosso Scolo Bosolo e non si evidenziano dinamiche geomorfologiche particolari.

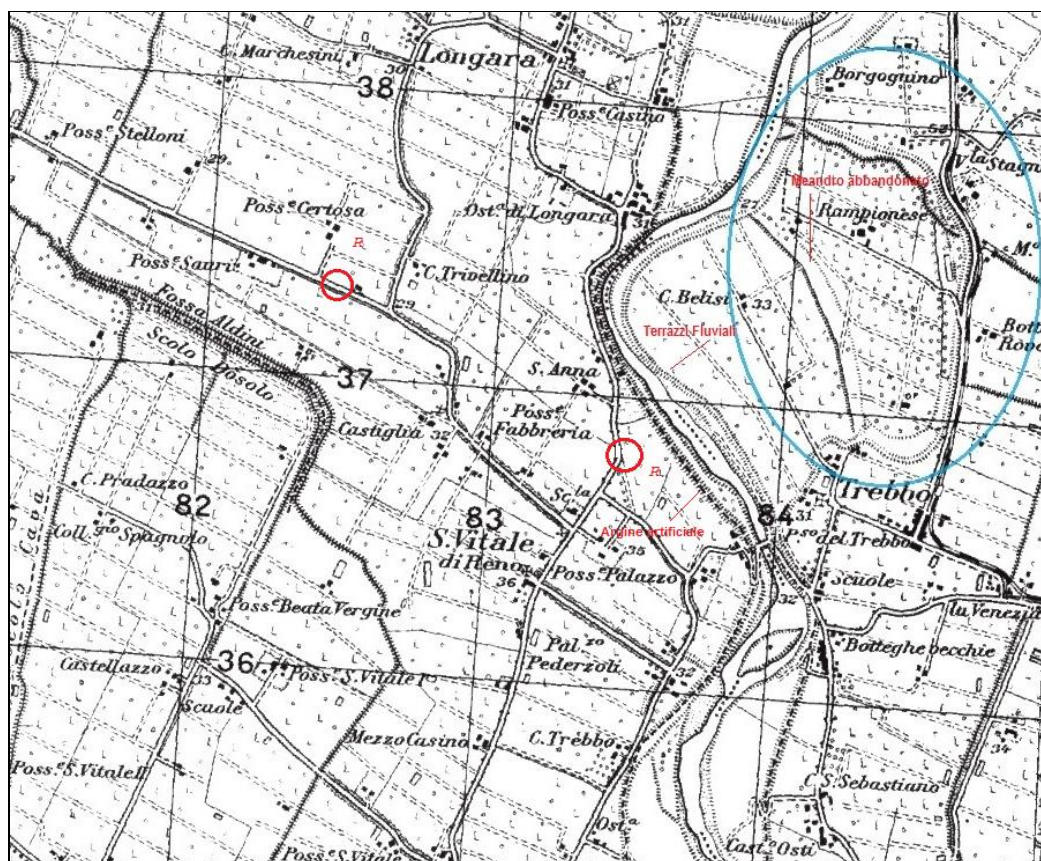


Fig. 10a – Tratto occidentale dell'Intermedia di Pianura dove è previsto l'attraversamento del F. Reno: il circolo azzurro individua il meandro abbandonato, cerchi rossi (R) indicano le nuove rotatorie stradali (da base topografica IGM modif.)

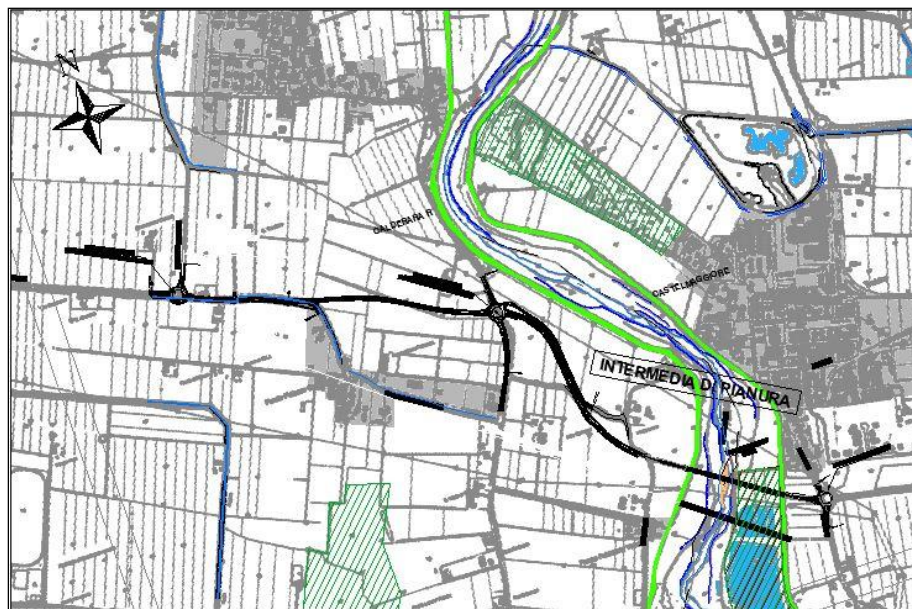


Fig. 10b - Tratto occidentale dell'Intermedia di Pianura (stralcio Carta geomorfologica). Al centro della foto è presente l'abitato di Trebbo e l'alveo del F. Reno, le righe verdi continue rappresentano gli argini idraulici (modif. da base topografica CTR 2013)



Foto 1 – Area della rotatoria stradale in progetto (R) di Via Guardarello/Via Stelloni Levante.



Foto 2 – Area della rotatoria stradale in progetto (R) di Via Longarola.

Attraversamento fiume Reno a Trebbo

L'analisi morfologica osservabile nella cartografia IGM (Fig.9) indica che le principali forme che caratterizzano il tratto in esame sono l'alveo di magra del Fiume Reno, un ordine di terrazzi fluviali, un meandro abbandonato (loc. Rampionese) e gli argini. La pianura circostante presenta un modesto grado di urbanizzazione; in particolare, per quanto riguarda le forme antropiche, la cartografia mostra la presenza dell'abitato di Trebbo e di alcune attività estrattive.

L'alveo del Reno è di tipo *non confinato* con andamento meandriforme, nonostante esistano argini artificiali sia in destra che in sinistra idrografica (Foto 3 e 4).



Foto 3 – Alveo del F. Reno in sinistra idrografica (panoramica verso valle): in primo piano la superficie del terrazzo fluviale privo di dinamiche recenti; a sinistra della foto del 2016 la parete interna dell'Argine idraulico (loc. Fondo Barca).



Foto 4 – Alveo del F. Reno in destra idrografica (panoramica verso monte): in primo piano la superficie del terrazzo fluviale privo di dinamiche recenti (loc. Trebbo); a sinistra della foto del 2016 la parete interna dell'Argine idraulico.

Inoltre sono evidenziabili i seguenti elementi geomorfologici attivi:

- fenomeni erosionali con franamento e scalzamento al piede delle scarpate fluviali (foto 5a,b e foto 6);
- fenomeni di deposizione in alveo di detriti alluvionali di spessore variabile (formazione di isole fluviali);
- fenomeni di deposizione detritica sui terrazzi fluviali misti a resti vegetali, tali depositi sono correlabili a piene straordinarie (loc. Fondo Barca).

Di seguito si riportano alcune recenti fotografie esplicative degli elementi geomorfologici ritenuti significativi per questo tratto di intervento:



a)



b)

Foto 5 – Scarpata fluviale in destra idrografica del F. Reno fotografata il 19/04/2018 in corrispondenza del futuro attraversamento: a) panoramica verso monte, b) panoramica verso valle.



Foto 6 – Scarpata fluviale in destra idrografica del F. Reno fotografata il 03/03/2021 in corrispondenza del nuovo attraversamento idraulico del Consorzio Bonifica Renana.



Foto 7 – Particolare risalente al 2016 di resti vegetali testimoni di un fenomeno deposizionale recente (loc. Fondo Barca).



Foto 8 – Alveo del F. Reno (panoramica verso valle): in primo piano la sommità dell'Argine idraulico; a sinistra della foto del 2016 si individua la pianura bolognese sede di attività agricole (loc. Fondo Barca).



Foto 9 – Territorio pianeggiante sede di attività agricole presso l'abitato di Trebbo (panoramica verso valle); in secondo piano nella foto del 2016 il profilo dell'Argine artificiale posto in destra idrografica.



Foto 10 - Alveo attuale del F. Reno (panoramica verso monte): al centro della foto del 2016 l'isola fluviale di recente formazione (loc. Trebbo).

A oggi la porzione di territorio afferente al Fiume Reno che sarà coinvolto nell'opera di attraversamento è attualmente interessata dai lavori di realizzazione del "Prolungamento del condotto di adduzione primaria dal Canale Emiliano-Romagnolo (C.E.R.) finalizzato all'alimentazione del sistema idrico dell'alta pianura bolognese, in sinistra del Fiume Reno", lavori commissionati dal Consorzio della Bonifica Renana (Foto 11).



Foto 11 – Lavori di realizzazione del nuovo condotto di adduzione del Consorzio della Bonifica Renana (foto del 03/03/2021).

Un ulteriore elemento geomorfologico importante da evidenziare nell'ambito del nuovo attraversamento sul Fiume Reno è l'interferenza con un'area soggetta in passato ad estrazione di ghiaia, a oggi completamente tombata (Cava Castello Osti, si vedano le figg. 7 e 8 e la planimetria geomorfologica allegata al presente progetto).

6.3.3.3 TRATTA "C"

Il progetto prevede un potenziamento in sede; il territorio oggetto di studio è pianeggiante e presenta, come peculiarità geomorfologica, un'antica direzione di scorrimento fluviale (paleoalveo) interferente con il prolungamento del sottovia ciclopedonale previsto al termine di questo tratto di intervento.

6.3.3.4 TRATTA "D1"

Le opere stradali previste (3 nuove rotatorie) ricadono in un'area pianeggiante con quote medie di circa 33 m s.l.m. e che risulta solcata da alcuni canali idraulici minori.

I dati geomorfologici disponibili presso il servizio geologico (cartografia geologica della pianura) mostrano la presenza di antichi ventagli di rotta non attivi (si veda la planimetria geomorfologica allegata al presente progetto). Questi elementi sono legati alle antiche dinamiche fluviali del Torrente Savena, cioè all'assetto precedente all'antropizzazione subita dal territorio.

Secondo il P.S.C. del Comune di Bologna la rotatoria RO015 prevista all'incrocio tra via Peglione e via Ferrarese (loc. Villa S. Anna in fig. 11) ricade morfologicamente in corrispondenza di un dosso fluviale e nelle immediate vicinanze del Torrente Savena Abbandonato, che qui non mostra dinamiche geomorfologiche attive e le cui sponde fluviali, di altezza 2÷3 m, sono state sagomate in relazione alla sopraelevazione del rilevato stradale della SS 64 (Foto 12).

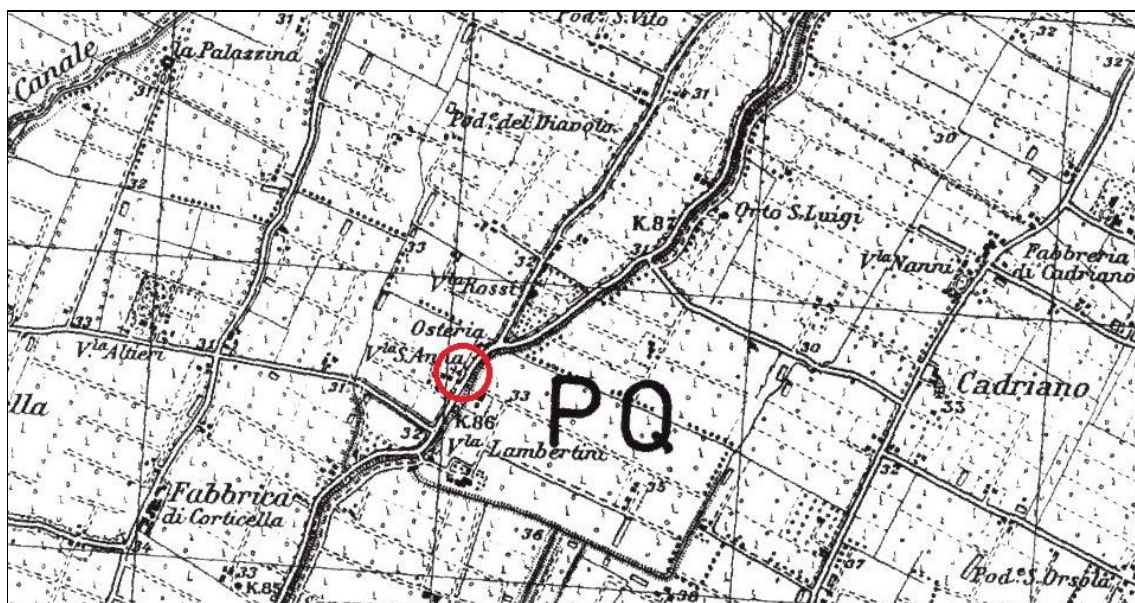


Fig. 11 - Carta topografica nella zona ad ovest di Cadriano, il circolo rosso indica la zona di realizzazione della rotatoria RO015 in vicinanza del Savena Abbandonato (da base topografica IGM modif.)

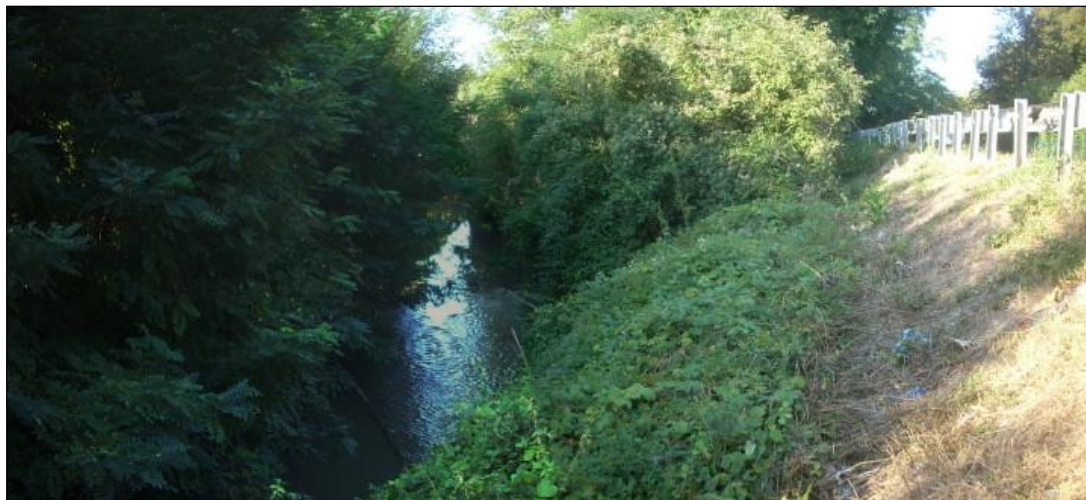


Foto 12 – Alveo di Savena abbandonato nei pressi della località V^{la} S. Anna.

7 ANALISI DELLA CARTOGRAFIA PRODOTTA DAGLI ENTI

La pianificazione territoriale è guidata dalle norme dei seguenti Piani vigenti: Piano di Assetto Idrogeologico (PAI), Piano di Coordinamento Gestione Rischi Alluvioni (PGRA), Piano Territoriale Metropolitano (PTM), Piano Strutturale (PSC) dei comuni di Bologna, Sala Bolognese (BO), Calderara di Reno (BO), Castel Maggiore (BO); nei paragrafi seguenti vengono descritti i dettagli dei piani.

7.1 PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI)

Venerdì 17 febbraio 2017 (con la pubblicazione nella G.U.R.I. n. 27 del 2 febbraio 2017) è entrato in vigore il D.M. 25 ottobre 2016 che disciplina l'attribuzione e il trasferimento della soppressa Autorità di bacino interregionale del fiume Reno alla Autorità di bacino distrettuale del Fiume Po, che subentra alla già autorità di bacino del fiume Po alla quale vengono annessi i Bacini interregionali del Reno, del Fissero-Tartaro-Canal Bianco, del Conca-Marecchia e i bacini regionali Romagnoli.

Il referente della pianificazione territoriale nei confronti della pericolosità idraulico-geologica per l'area di interesse rimane l'Autorità di Bacino del Reno, che ha stilato attraverso la stesura delle Norme, i cosiddetti Piani Stralcio di Assetto Idrogeologico relativi al bacino idrografico di riferimento. Essi rappresentano sostanzialmente il risultato della modellazione geologica e idraulica. I Piani Stralcio dell'Autorità di Bacino del Fiume Reno, sia per l'estensione geografica (Regione Toscana ed Emilia-Romagna) sia per i caratteri geomorfologici intrinseci, si compone di n°4 Piani Stralcio di Sottobacino la cui delimitazione è rappresentata nella figura seguente (Fig. 12):

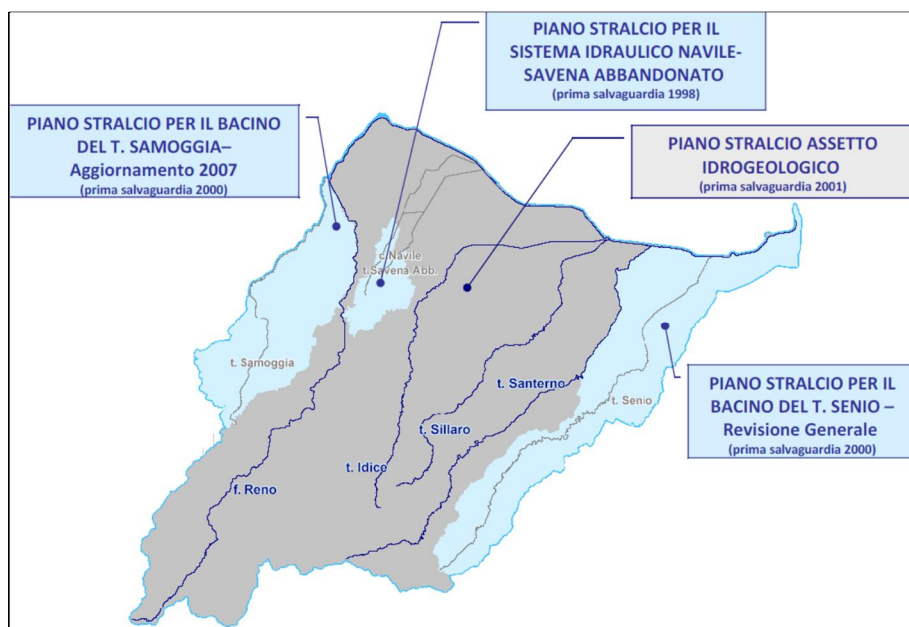


Fig. 12 - Piani stralci vigenti nel bacino del F. Reno (modif. da Relazione PGRA)

La “planimetria dei Vincoli e della pericolosità idraulica” allegata al presente progetto riporta i seguenti elementi di zonazione del suddetto piano:

- **Alvei Attivi:** insieme degli spazi normalmente occupati, con riferimento ad eventi di pioggia con tempi di ritorno di 5-10 anni, da masse d'acqua in quiete od in movimento, delle superfici che li

delimitano, del volume di terreno che circoscrive tali spazi e che interagisce meccanicamente od idraulicamente con le masse d'acqua contenute in essi e di ogni elemento che partecipa alla determinazione del regime idraulico delle masse d'acqua medesime.

- **Fasce di Pertinenza Fluviale:** insieme delle aree all'interno delle quali si possono far defluire con sicurezza le portate caratteristiche di un corso d'acqua, comprese quelle relative ad eventi estremi con tempo di ritorno (TR) fino a 200 anni, mediante opere di regimazione a basso impatto ambientale e interventi necessari a ridurre l'artificialità del corso d'acqua e a recuperare la funzione di corridoio ecologico; fanno inoltre parte della fascia di pertinenza fluviale i terrazzi idrologicamente connessi, le aree da salvaguardare e regolamentare per ridurre i rischi di inquinamento dei corsi d'acqua e/o di innesco di fenomeni di instabilità dei versanti.

7.2 PIANO TERRITORIALE METROPOLITANO (PTM)

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

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

Per quel che riguarda gli elementi di tutela, la "planimetria dei Vincoli e della pericolosità idraulica" allegata al presente progetto riporta quanto definito dal P.T.M. nel seguente modo:

- relativamente agli emungimenti della falda acquifera la normativa vigente identifica una **zona di tutela assoluta** ricadente in un'area circolare con raggio di 10 m da ogni singolo pozzo ed una **zona di rispetto** ricadente invece in un'area circolare con raggio di 200 m individuata geometricamente; appena a sud della Tratta di intervento "B" il PTM evidenzia la presenza del campo pozzi "San Vitale".
- **Aree per la realizzazione di interventi idraulici (casse di espansione).**

7.3 PIANI STRUTTURALI COMUNALI (PSC)

In riferimento ai Vincoli idraulici ("Risorse idriche e Assetto idrogeologico" da PSC di Bologna approvato 10/02/2020, "Tavola dei Vincoli" da PSC Castel Maggiore aggiorn. 02/2021, "Sistema dei Vincoli e delle Tutele" da PSC Sala Bolognese riadottato il 27/07/2018, "Classificazione del territorio e sistema delle tutele" da PSC Calderara di Reno approvato il 15/06/2017), si evidenziano i seguenti elementi (ripresi anche dai piani precedentemente menzionati):

- **Alvei attivi ed invasi dei bacini idrici:** gli alvei attivi sono gli spazi normalmente occupati da masse d'acqua in quiete o in movimento, comprensivi delle superfici che li delimitano, del volume di terreno che circoscrive tali spazi e che interagisce meccanicamente o idraulicamente con le masse d'acqua contenute in essi e di ogni elemento che partecipa alla determinazione del regime idraulico delle masse d'acqua medesime, con riferimento a eventi di pioggia con tempi di ritorno di 5-10 anni. Gli alvei attivi sono destinati al libero deflusso delle acque e alle opere di regimazione idraulica e di difesa del suolo.
- **Fasce di tutela fluviale:** comprendono le aree significative ai fini della tutela e valorizzazione dell'ambiente fluviale dal punto di vista vegetazionale e paesaggistico, e ai fini del mantenimento e recupero della funzione di corridoio ecologico, o ancora ai fini della riduzione dei rischi di inquinamento dei corsi d'acqua e/o di innesco di fenomeni di instabilità dei versanti; comprendono inoltre le aree all'interno delle quali si possono realizzare interventi finalizzati a ridurre l'artificialità del corso d'acqua. La finalità primaria delle fasce di tutela fluviale è quella di mantenere, recuperare e valorizzare le funzioni idrauliche, paesaggistiche ed ecologiche dei corsi d'acqua.

- **Fasce di pertinenza fluviale:** sono definite come aree latitanti i corsi d'acqua che, anche in relazione alle condizioni di connessione idrologica dei terrazzi, possono concorrere alla riduzione dei rischi di inquinamento dei corsi d'acqua e/o di innesco di fenomeni di instabilità dei versanti, al deflusso delle acque sotterranee, nonché alle funzioni di corridoio ecologico e di qualificazione paesaggistica; comprendono inoltre le aree all'interno delle quali si possono realizzare interventi finalizzati a ridurre l'artificialità del corso d'acqua. La finalità primaria delle fasce di pertinenza fluviale è quella di mantenere, recuperare e valorizzare le funzioni idrogeologiche, paesaggistiche ed ecologiche degli ambienti fluviali.
- **Aree ad alta probabilità di inondazione:** le aree ad alta probabilità di inondazione sono quelle passibili di inondazione e/o esposte alle azioni erosive dei corsi d'acqua per eventi di pioggia con tempi di ritorno inferiori o uguali a 50 anni. La finalità della tutela è quella di ridurre il rischio idraulico, salvaguardando nel contempo le funzioni idrauliche, paesaggistiche ed ecologiche dei corsi d'acqua.
- **Aree per la salvaguardia delle acque destinate al consumo umano:** sono le aree individuate intorno alle opere di captazione di acque ad uso potabile (pozzi e sorgenti d'acqua) come zona di tutela assoluta (area ricadente entro un raggio di 10 metri) e zona di rispetto, individuata secondo criterio geometrico (area ricadente entro un raggio di 200 metri). Le aree di salvaguardia concorrono alla protezione delle risorse idriche sotterranee.

La rete idrografica minore "Valliva" e di Bonifica (es. Consorzio di Bonifica Renana) è rappresentata dalla rete scolante minore e dalla rete di bonifica in pianura. Essa non è normata né dal piano territoriale metropolitano (PTM) né dal piano stralcio di assetto idrogeologico (PSAI) ma fa riferimento alle norme contenute nel piano strutturale comunale (PSC).

7.4 PIANO DI COORDINAMENTO GESTIONE RISCHI ALLUVIONI (PGRA)

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

Attualmente i "Piani di gestione del rischio di alluvioni" adottati a partire dal 17 dicembre 2015, sono stati approvati il 3 marzo 2016 dai Comitati Istituzionali delle Autorità di Bacino Nazionali.

L'area qui considerata ricade attualmente all'interno del "Distretto Idrografico del Fiume Po" dopo la soppressione dell'"Autorità di bacino interregionale del fiume Reno" avvenuta per legge alcuni anni fa (vedi Fig. 13).



Fig. 13 – Distretti idrografici 2018 (in colore rosa il distretto del Fiume Po).

Nell'ambito del Distretto idrografico del Fiume Po, l'Unità di gestione (unit of Management – UoM) in cui ricade l'area oggetto di intervento è la ITI021 Reno.

Le mappe della pericolosità individuate dall'Ente preposto prevedono n° 3 *scenari di pericolosità*; si tratta di aree geografiche distinte sulla frequenza delle alluvioni:

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

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

Si sottolinea che il PGRA, nell'ambito dell'area di studio, prevede elaborati cartografici inerenti sia il "Reticolo naturale principale e secondario" che il "Reticolo artificiale secondario di pianura".

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

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

8 ALTRI ELEMENTI

8.1 SUBSIDENZA

L'ARPA, in collaborazione con l'Università di Bologna, ha centralizzato dal 1997 le informazioni riguardanti la subsidenza. Il monitoraggio della subsidenza fino ad allora era avvenuto, a partire dagli anni '60, ad opera di vari Enti che hanno istituito e misurato, in epoche diverse, reti di livellazione in ambiti locali più o meno limitati. Tali iniziative, se efficaci a livello locale, mostravano i loro limiti se osservate in un contesto regionale evidenziando lacune e disomogeneità tali da rendere, in gran parte dei casi, difficoltosa la definizione organica e univoca del fenomeno.

Nel 1997-1998, a partire dal vasto patrimonio di capisaldi esistenti e sulla scorta delle esperienze precedenti è stata progettata e realizzata una rete regionale di monitoraggio della subsidenza costituita, in particolare, da una rete di livellazione geometrica di alta precisione con oltre 2300 capisaldi e una rete di circa 60 punti GPS.

La rete, nel suo complesso, è stata misurata per la prima volta nel 1999. Il rilievo della rete di livellazione ha permesso di attribuire ad ogni caposaldo, compresi quelli storici, una quota assoluta sul livello medio del mare riferita, in particolare, al caposaldo 5/162" sito nei pressi di Sasso Marconi (Appennino bolognese) e appartenente alla rete di livellazione di alta precisione dell'Istituto Geografico Militare Italiano (I.G.M.I.). Per tale caposaldo è stata adottata la quota determinata nel 1949 dall'Istituto stesso pari a 225.9222 m s.l.m.

E' stato così possibile realizzare la prima carta a isolinee di velocità di abbassamento del suolo relativa al periodo 1970/93-1999, che costituisce il primo tentativo di restituire un quadro complessivo dei movimenti verticali del suolo sull'intera area di pianura della regione, già nella fase di rilievo "zero" della Rete. Tale rappresentazione, tuttavia, risulta inevitabilmente lacunosa, relativamente o parzialmente aggiornata e, comunque, fortemente disomogenea data la diversa copertura spaziale e temporale dei dati storici. In virtù di questa disomogeneità, le velocità di movimento indicate sulla carta sono riferite a periodi diversi, a seconda delle linee di livellazione, compresi tra il periodo più lungo 1970-1999 e il periodo più breve 1993-1999.

Le misure sono state ripetute nel 2002 ma solo sulla rete GPS aggiornando così le conoscenze sui movimenti del suolo nel periodo 1999-2002 relativamente ai punti della rete stessa.

Nel 2005-07 ARPA ha realizzato l'aggiornamento delle conoscenze geometriche relative al fenomeno della subsidenza, tramite l'interazione di due tecniche:

- la livellazione geometrica di alta precisione di un sottoinsieme della rete regionale (circa il 50% delle linee di livellazione);
- l'analisi interferometrica di dati radar satellitari con tecnica PSInSARTM estesa all'intero territorio di pianura della regione, circa 11.000 km².

I risultati ottenuti, per la prima volta, forniscono un quadro sinottico di dettaglio del fenomeno della subsidenza a scala regionale.

L'utilizzo del metodo satellitare ha permesso di acquisire un'informazione molto più diffusa e capillare rispetto al rilievo terrestre: un numero di punti di ben due ordini di grandezza superiore al numero dei capisaldi di livellazione sui quali poteva contare la precedente cartografia.

Accedendo al sito online dell'ARPAE è possibile visionare ad una scala di maggior dettaglio i vari tratti di interesse, di cui si riportano di seguito alcuni stralci cartografici (con relative legende) relativi al periodo 2006-2011 ed al periodo 2011-2016:



Fig. 14 a - Isocinetiche e legenda relative al periodo 2006-2011 per la porzione di territorio afferente l'intervento della Tratta A.

In sintesi si può osservare che la subsidenza riferibile all'area di intervento della Tratta A per il periodo 2006-2011 risulta compresa tra -27.5 e -17.5mm/anno.



Fig. 14 b: Isocinetiche e legenda relative al periodo 2011-2016 per la porzione di territorio afferente l'intervento della Tratta A.

In sintesi si può osservare che la subsidenza riferibile all'area di intervento della Tratta A per il periodo 2011-2016 risulta compresa tra 0 e 5mm/anno.

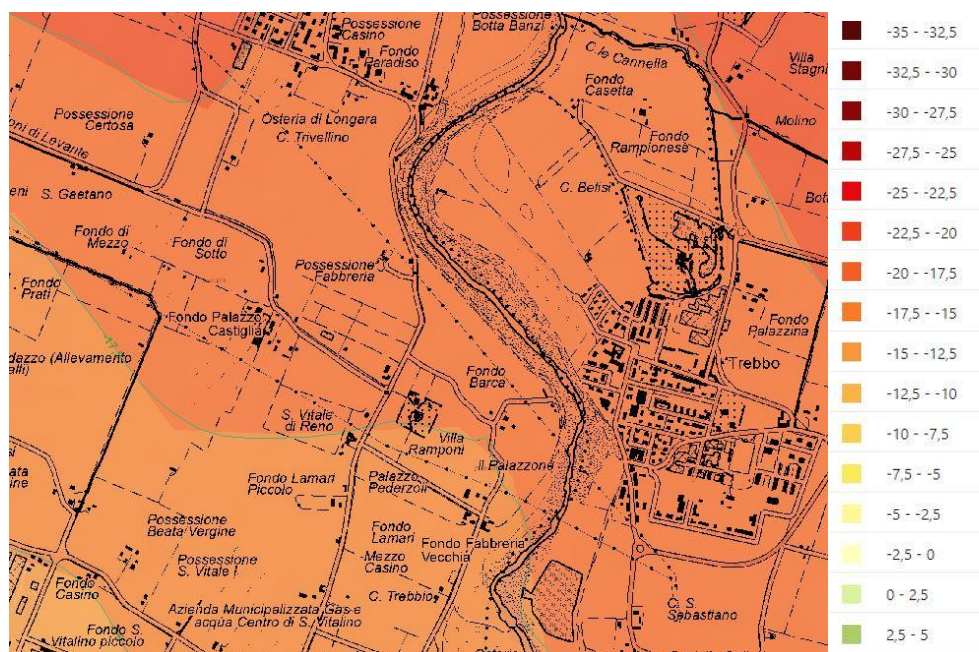


Fig. 15 a - Isocinetiche e legenda relative al periodo 2006-2011 per la porzione di territorio afferente l'intervento della Tratta B.

In sintesi si può osservare che la subsidenza riferibile all'area di intervento della Tratta B per il periodo 2006-2011 risulta compresa tra -20 e -17,5mm/anno.

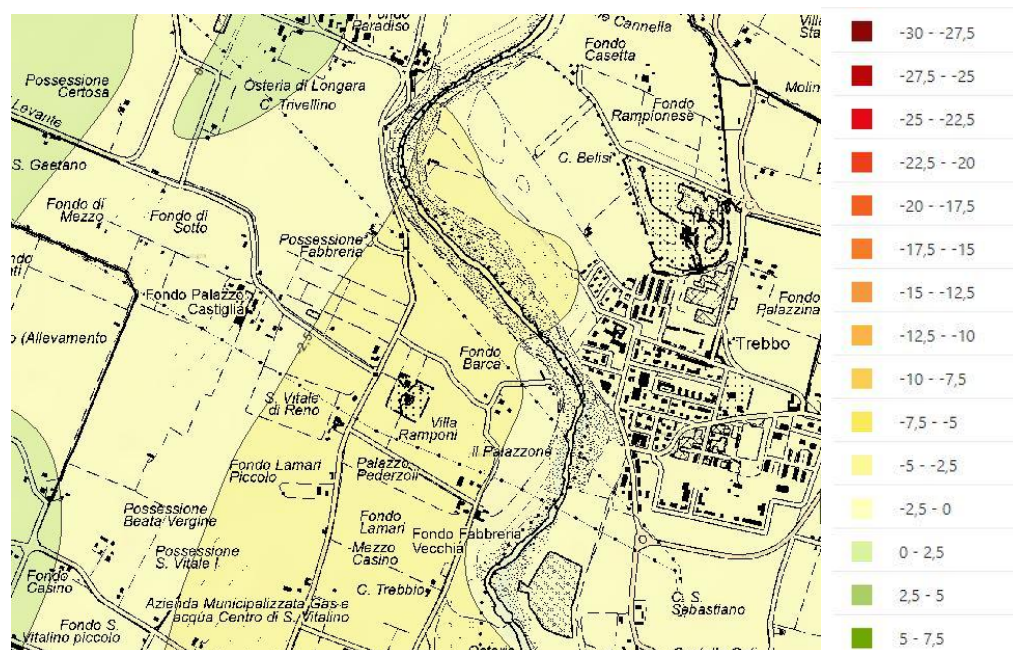


Fig. 15 b: Isocinetiche e legenda relative al periodo 2011-2016 per la porzione di territorio afferente l'intervento della Tratta B.

In sintesi si può osservare che la subsidenza riferibile all'area di intervento della Tratta B per il periodo 2011-2016 risulta compresa tra -5 e 0mm/anno.



Fig. 16 a - Isocinetiche e legenda relative al periodo 2006÷2011 per la porzione di territorio afferente l'intervento della Tratta C.

In sintesi si può osservare che la subsidenza riferibile all'area di intervento della Tratta C per il periodo 2006-2011 risulta compresa tra -22,5 e -17,5mm/anno.

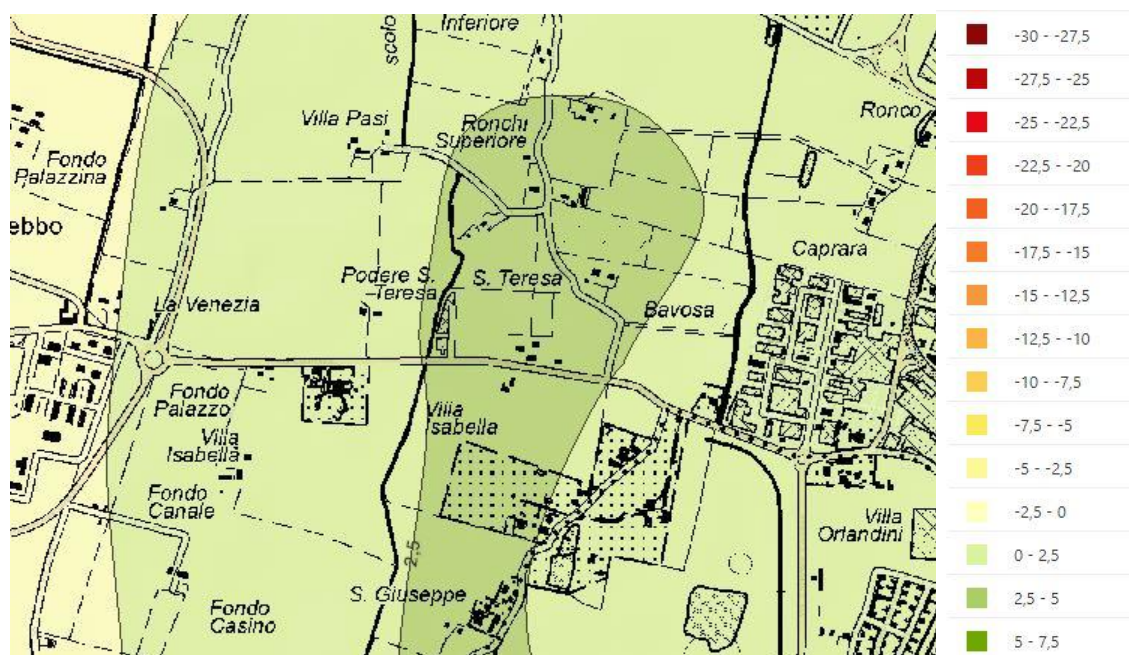


Fig. 16 b: Isocinetiche e legenda relative al periodo 2011÷2016 per la porzione di territorio afferente l'intervento della Tratta C.

In sintesi si può osservare che la subsidenza riferibile all'area di intervento della Tratta C per il periodo 2011÷2016 risulta compresa tra 0 e 5mm/anno.

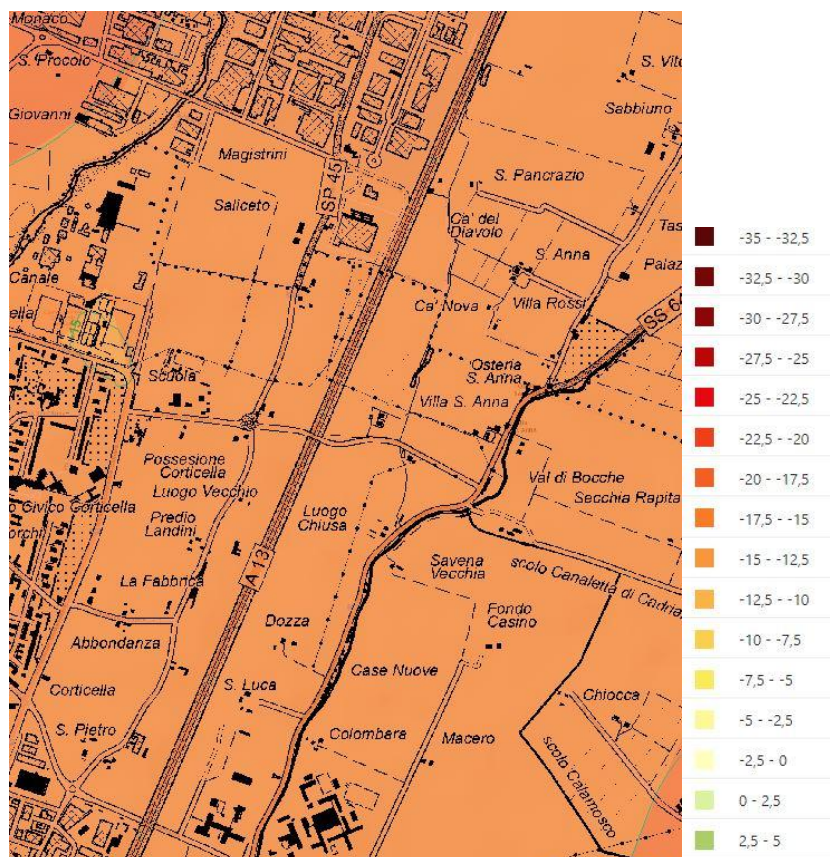


Fig. 17 a - Isocinetiche e legenda relative al periodo 2006-2011 per la porzione di territorio afferente l'intervento della Tratta D1.

In sintesi si può osservare che la subsidenza riferibile all'area di intervento della Tratta D1 per il periodo 2006-2011 risulta:

- compresa tra -17.5 e -15mm/anno per la nuova rotatoria RO014;
- compresa tra -17.5 e -15mm/anno per la nuova rotatoria RO015;
- compresa tra -17,5 e -15mm/anno per la nuova rotatoria RO016.

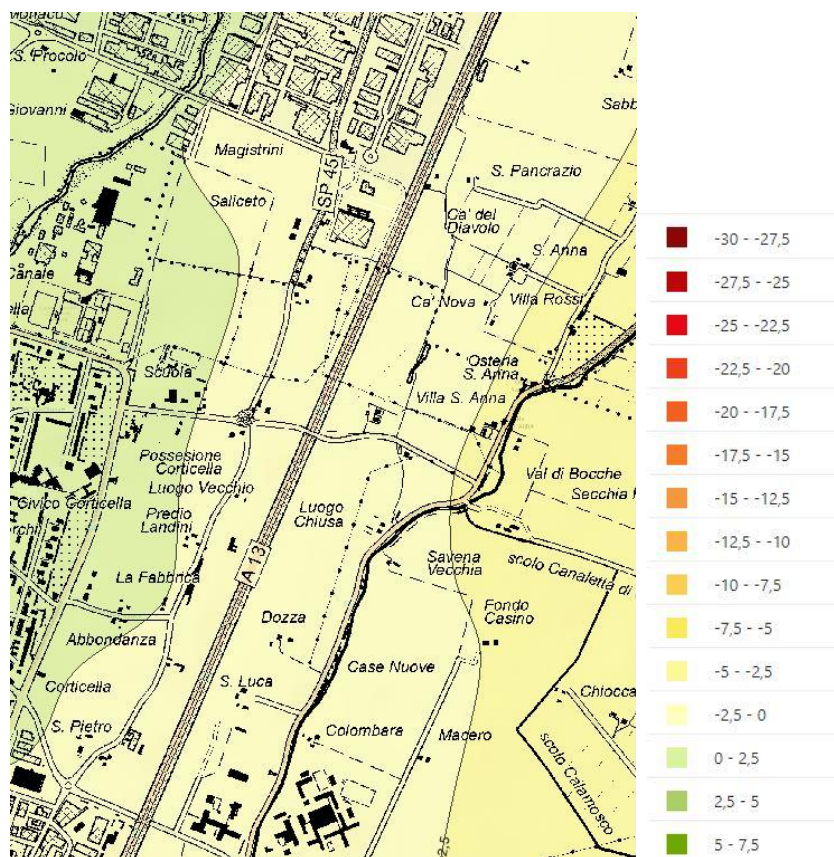


Fig. 17 b: Isocinetiche e legenda relative al periodo 2011÷2016 per la porzione di territorio afferente l'intervento della Tratta D1.

In sintesi si può osservare che la subsidenza riferibile all'area di intervento della Tratta D1 per il periodo 2011-2016 risulta:

- compresa tra -2.5 e 0mm/anno per la nuova rotatoria RO014;
- compresa tra -5 e -2.5mm/anno per la nuova rotatoria RO015;
- compresa tra 0 e 2.5mm/anno per la nuova rotatoria RO016.

Si può pertanto osservare, dalla comparazione tra gli studi effettuati in periodi differenti, che in Emilia Romagna l'abbassamento del terreno (che può avvenire per cause naturali o artificiali, principalmente legate all'estrazione di fluidi, acqua e idrocarburi, dal sottosuolo) ha visto negli ultimi anni una forte riduzione, come evidenziano i dati dell'ultimo rilievo disponibile relativo al periodo 2011÷2016.

Lo studio di ARPAE mostra che il 18% del territorio di pianura analizzato presenta una riduzione del fenomeno subsidente; nella parte restante la situazione resta stabile rispetto al precedente rilievo (2006÷2011).

8.2 CENNI DI CARATTERE GIACIMENTOLOGICO

In Emilia Romagna da decenni si estraggono gas naturale e petrolio in profondità, come si può evincere dall'osservazione delle Figg. 18a e 18b, tratte dal sito del Ministero dello Sviluppo Economico e aggiornate al Dicembre 2017.

Considerato che da letteratura risulta che sono stati registrati casi di rinvenimento di gas nelle sabbie a poca profondità, non si può escludere che vi siano accumuli di gas in livelli localizzati del sottosuolo ed interferenti con le opere di fondazione: tale evenienza è probabilmente legata alla presenza di considerevole materiale organico accumulatosi anche nei livelli più superficiali dei sedimenti.

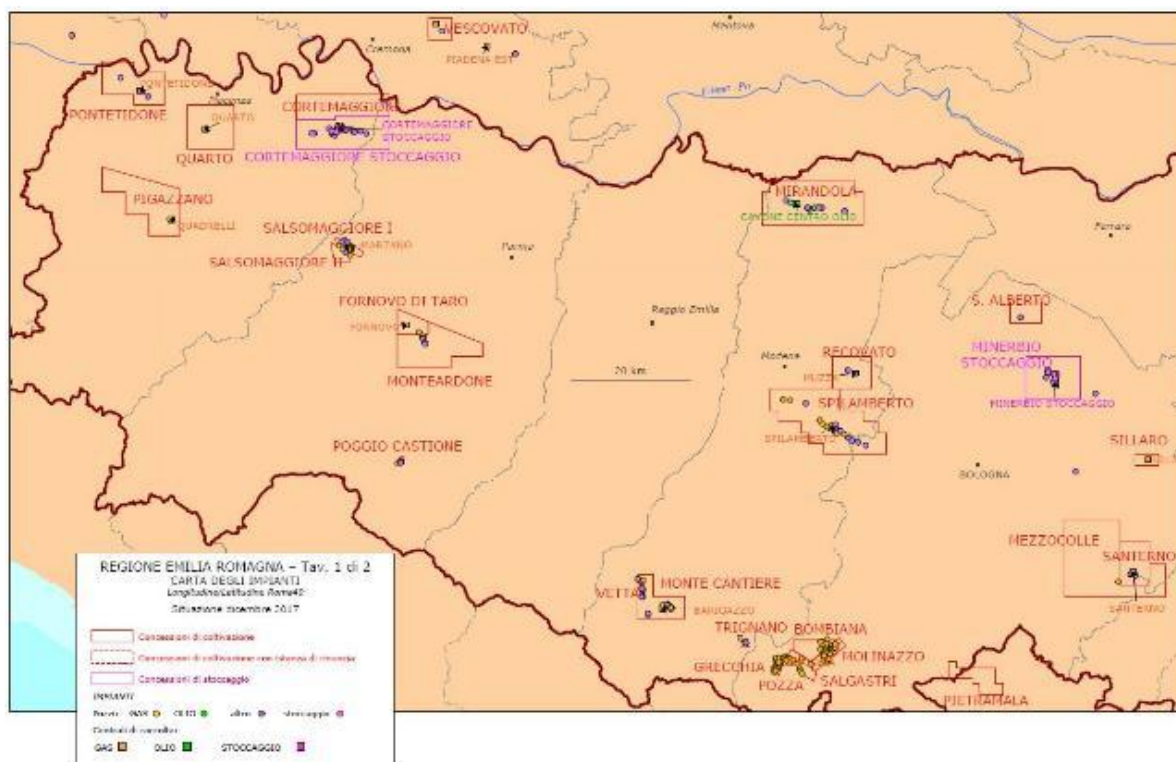


Fig. 18 a - Carta impianti olio-gas (<http://unmig.sviluppoeconomico.gov.it/dgrme/dgrme.asp>).

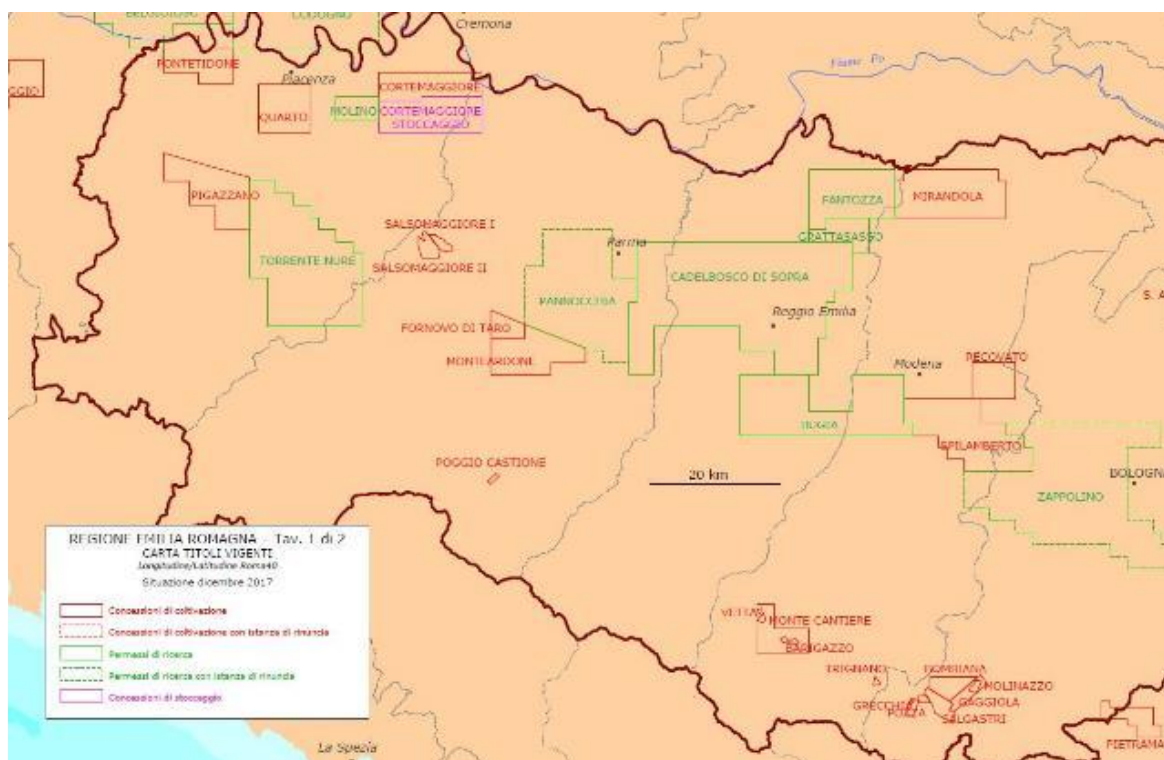


Fig. 18 b- Carta titoli minerari vigenti (<http://unmig.sviluppoeconomico.gov.it/dgrme/dgrme.asp>).

8.3 SINKOLE

Nella pianura emiliana, dal 1990 si è accentuata la comparsa di fenomeni localizzati di collasso del piano di campagna. Si tratta di cavità di dimensioni da decimetriche a metriche che si manifestano repentinamente a seguito del crollo di piccole cavità ipogee di dimensioni e geometrie varie, talora ubicate entro i primi 100-150 cm di profondità, altre volte comprese tra i 2 e i 3 m (Vettore et al., 2004). In letteratura, le cause circa la genesi di questi fenomeni vengono associate a:

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

Nell'area di interesse una recente pubblicazione ("I sinkhole in pianura padana", 2008) evidenzia fenomeni di questa natura poco più a nord-ovest dell'area di intervento Tratta A, nel comune di Sala Bolognese (fig. 19).



Fig. 19 - Ubicazione "sinkhole" area nord di Bologna; in verde i punti in cui si sono registrati fenomeni di sprofondamento ed in blu l'area di intervento.

9 CARTOGRAFIA TEMATICA

In questo capitolo si fa specifico riferimento ai documenti di sintesi a tema geologico-geomorfologico allegati al presente progetto inerenti le 4 Tratte; in particolare: "planimetria geologica" in scala 1:5.000 "con profilo geologico longitudinale" in scala 1:5000/500; "planimetria geomorfologica" in scala 1:5.000; "planimetria dei Vincoli e della Pericolosità idraulica" in scala 1:5.000.

9.1 GEOLOGIA

Sono state considerate le successioni stratigrafiche e le distinzioni granulometriche dei terreni superficiali; oltre a ciò, in planimetria sono stati riportati il reticolo idrografico, gli specchi d'acqua, i terreni di riporto antropico/rilevato stradali e ferroviari principali, gli ambiti di cava/trattamento inerti da PIAE 2013 e l'ubicazione delle indagini geognostiche.

E' stata inoltre riportata in planimetria geologica la granulometria dei terreni superficiali indicata nella cartografia CARG: si segnalano molto spesso discrepanze tra le risultanze dei primissimi metri delle stratigrafie di indagine e quanto segnalato superficialmente dal CARG; per questo motivo è sempre opportuno fare riferimento al profilo geologico longitudinale, che è stato redatto ex-novo sulla base di tutti i dati acquisiti.

Al fine di evidenziare le caratteristiche litologiche dei terreni afferenti all'area oggetto di studio è stato redatto, per le Tratte A, B e C, un profilo geologico longitudinale in scala 1:5000/500 nell'ambito del quale sono state distinte tre classi di terreni, suddivise in funzione della composizione granulometrica prevalente:

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

La litologia superficiale predominante è quella prettamente compressibile.

Un elemento tipico di questo ambiente di sedimentazione alluvionale è rappresentato dalla diffusa variabilità sia in senso verticale, dovuta al continuo succedersi degli eventi alluvionali. Pertanto, a causa della natura fortemente eterotopica dei contatti, la forma e l'estensione di corpi/lenti riportati in profilo longitudinale deve essere assunta come verisimile ma indicativa.

Dal punto di vista progettuale è importante sottolineare la presenza di livelli e/o concrezioni torbose, evidenziate in profilo con apposita simbologia: per ottenere informazioni dettagliate circa i livelli ad alto contenuto di materiale organico è possibile fare riferimento a quanto riportato nelle singole stratigrafie.

Nel profilo geologico è contenuta una possibile interpretazione dei limiti tra i subsintemi AES8, AES7 ed AES6 (si rammenta che i subsintemi sono unità stratigrafiche delimitate da superfici di discontinuità - U.B.S.U.); il limite tra subsintemi è presunto ed è stato costruito tenendo in considerazione le sezioni CARG (con particolare riferimento alle sez. longitudinali n° 050 e 123, alle sez. trasversali n°45,122,121 per la Tratta A, alle sez. trasversali n°048, 118, 119, 120 per la Tratta B, alle sez. trasversali n°115, 116, 117 per la Tratta C), oltre che le risultanze dei carotaggi di progetto, con particolare riferimento ai livelli coesivi presenti al di sotto di livelli granulari, livelli compressibili che la letteratura considera un buon marker basale per queste unità. Le assunzioni CARG si sono basate a loro volta sull'analisi di carotaggi profondi specificatamente concepiti, su datazioni al carbonio 14 e sul contenuto/tipo di pollini imprigionati nel sedimento.

Da ultimo, anche lungo profilo, sono stati indicati i principali depositi antropici.

9.2 GEOMORFOLOGIA

Per quanto attiene alla cartografia geomorfologica, in legenda sono stati riportati i seguenti elementi:

- Ø Forme naturali dovute a processi fluviali, quali gli orli di terrazzo alluvionale, le erosioni di sponda, i depositi residui di terrazzo alluvionale, l'alveo fluviale-idrografia ed i depositi detritici mobilizzabili in alveo (entrambi legati a dinamiche geomorfologiche riguardanti punti sottoposti a maggiore erosione spondale e alla successiva deposizione detritica), gli antichi ventagli di esondazione o di rotta, l'antica direzione di scorrimento fluviale (paleoalvei) e i dossi fluviali (da P.S.C. Bologna);
- Ø Forme di origine antropica, quali le arginature con finalità idrauliche, le aree ed ambiti di cava, le scarpate e depressioni morfologiche, il reticolo idrografico coperto (da P.S.C. Bologna), gli specchi d'acqua, le aree urbanizzate (da Città metropolitana di Bologna) ed i riporti antropici/rilevati stradali/ferroviari principali.

9.3 VINCOLI E PERICOLOSITÀ' IDRAULICA

La Planimetrie dei Vincoli e della pericolosità idraulica è stata redatta, come detto, utilizzando dati cartografici disponibili on-line ed elaborati dagli Enti Pubblici competenti; nella fattispecie si tratta dell'Autorità di Bacino distrettuale del Fiume Po (ex. AdB Reno), della Città Metropolitana di Bologna (ex Provincia di Bologna) e dei Comuni. I dati consultati sono stati rispettivamente il Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico (PSAI), il Piano Coordinamento Gestione Rischi Alluvioni (PGRA), il Piano Territoriale Metropolitano (PTM) ed infine il Piano Strutturale Comunale (PSC).

In sintesi, sono stati riportati i risultati ottenuti dalla modellazione idraulica (Rischio Idraulico e Assetto Rete Idrografica) che ha discriminato i seguenti elementi:

- alveo attivo;
- fasce di pertinenza fluviale;
- fasce di tutela fluviale;
- aree per la realizzazione di interventi idraulici (nella fattispecie casse di espansione);
- zone di rispetto pozzi di emungimento acquedottistico.

Questi risultati sono stati implementati con gli scenari di Pericolosità idraulica del reticolo principale definiti nel PGRA:

- Alluvioni rare di estrema intensità: tempo di ritorno fino a 500 anni dall'evento (bassa probabilità) => pericolosità idraulica bassa (P1)
- Alluvioni poco frequenti: tempo di ritorno fra 100 e 200 anni (media probabilità) => pericolosità idraulica media (P2)
- Alluvioni frequenti: tempo di ritorno fra 20 e 50 anni (elevata probabilità) => pericolosità idraulica elevata (P3)

Relativamente agli elementi sopra menzionati, di seguito si riporta una sintesi per tratta di intervento:

- Tratta A: non risultano presenti vincoli di tipo idraulico; relativamente agli scenari di pericolosità alluvionale, l'intera tratta ricade in area a pericolosità da alluvioni elevata (P3), con specifico riferimento al reticolo naturale principale;
- Tratta B: l'intervento interseca il Fiume Reno e nell'intorno di questa intersezione il piano stralcio vigente (PAI) definisce Alveo attivo l'area contenuta tra gli argini artificiali; la pianura circostante è contraddistinta da ampie fasce di Pertinenza Fluviale che in destra idrografica inglobano il perimetro

urbano di Trebbio; si rammenta inoltre la presenza, poco più a sud della tratta, del campo pozzi HERA “San Vitale”. Nell'alveo attivo le alluvioni risultano frequenti (pericolosità elevata P3), così come l'area di pianura oltre argine in sinistra idrografica, mentre nell'area di pianura oltre argine in destra idrografica le alluvioni risultano poco frequenti (pericolosità media P2);

- Tratta C: l'intervento interferisce con la fascia di tutela fluviale dello Scolo Riolo; relativamente agli scenari di pericolosità alluvionale, l'intera tratta ricade in area a pericolosità da alluvioni media (P2);
- Tratta D1: le nuove rotatorie R014 ed R016 non interferiscono con areali a vincolo idraulico e ricadono in territori a pericolosità da alluvioni media (P2); la nuova rotatoria R015 lambisce il Torrente Savena Abbandonato, con il suo alveo attivo, relative fasce di tutela e fascia di pertinenza fluviale, mentre ricade in area a pericolosità da alluvioni media (P2).

10 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO GENERALE

Nel sottosuolo della Pianura Padana e sul relativo margine appenninico sono stati riconosciuti tre differenti Gruppi Acquiferi separati tra loro da barriere di permeabilità di estensione regionale - informalmente denominati “A”, “B” e “C” - costituenti le Unità Idrostratigrafiche fondamentali: al loro interno sono riconoscibili diverse unità idrostratigrafiche secondarie denominate “Complessi acquiferi” (vedi Fig. 20).

PRINCIPALI UNITA' STRATIGRAFICHE					ETA' (milioni di anni)	SCALA CRONOSTRATIGRAFICA (milioni di anni)	UNITA' IDROSTRATIGRAFICHE																					
AFFIORANTI			SEPOLTE				GRUPPO ACQUIFERO	COMPLESSO ACQUIFERO																				
QUATERNARIO CONTINENTALE	DILUVIUM p.p.	FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE	FORMAZIONE DI OLIVATELLO	UNITA' DI VILLA DEL BOSCO	UNITA' DI CA' DI SOLA	SUPERSISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO	SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE	UNITA' DI BORGO PANIGALE	ORIZZONTE DI FOSSOLO	ALLUVIONE INFERIORE	ALLUVIONI / QUATERNARIO MARINO E SABBIE DI ASTI	~0.12	PLEISTOCENE SUPERIORE - OLOCENE	0.125	A	A0												
																A1												
	A2																											
	A3																											
	A4																											
	B1																											
QUATERNARIO MARINO	MILAZZIANO SABBIE di CASTELVETRO p.p. SABBIE GIALLE di IMOLA p.p.	SUPERSISTEMA DEL QUATERNARIO MARINO	SUBSISTEMA QUATERNARIO MARINO 3'	SUBSISTEMA QUATERNARIO MARINO 3'	SISTEMA QUATERNARIO MARINO 2	SISTEMA QUATERNARIO MARINO 1	SUPERSISTEMA DEL PLIOCENE MEDIO-SUPERIORE	PLIOCENE MEDIO SUPERIORE	~0.35-0.45	~0.65	~0.8	~1.0	~2.2	PLEISTOCENE MEDIO	0.89	C	B2											
	B3																											
	B4																											
	C1																											
	C2																											
	C3																											
P2	CALABRIANO p.p. SABBIE di MONTERICCO FORMAZIONE di TERRA del SOLE p.p.	CALABRIANO p.p. FORMAZIONE di CASTELL'ARQUATO p.p.	~0.65	~0.8	~1.0	~2.2	~3.3-3.6	~3.9	PLEISTOCENE INFERIORE	1.72	PLIOCENE MEDIO - SUPERIORE	3.55	PLIOCENE INFERIORE MIOCENE	ACQUITARDO BASALE	C4	C5												
	FORMAZIONE di CASTELL'ARQUATO p.p.																~0.65	~0.8	~1.0	~2.2	~3.3-3.6	~3.9	PLEISTOCENE INFERIORE	1.72	PLIOCENE MEDIO - SUPERIORE	3.55	PLIOCENE INFERIORE MIOCENE	ACQUITARDO BASALE
	FORMAZIONE di CASTELL'ARQUATO p.p.																~0.65	~0.8	~1.0	~2.2	~3.3-3.6	~3.9	PLEISTOCENE INFERIORE	1.72	PLIOCENE MEDIO - SUPERIORE	3.55	PLIOCENE INFERIORE MIOCENE	ACQUITARDO BASALE

Fig. 20 - Inquadramento geologico - stratigrafico ed idrostratigrafico della pianura Emiliano - Romagnola e del Margine Appenninico Padano (da Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna)

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

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

In Fig. 21 viene riportata la distribuzione areale dei complessi idrogeologici e vengono rappresentate anche alcune suddivisioni interne delle conoidi alluvionali appenniniche, definite come zone in cui i depositi grossolani (ghiaie e sabbie) di canale fluviale sono amalgamati tra loro a formare dei corpi tabulari coalescenti:

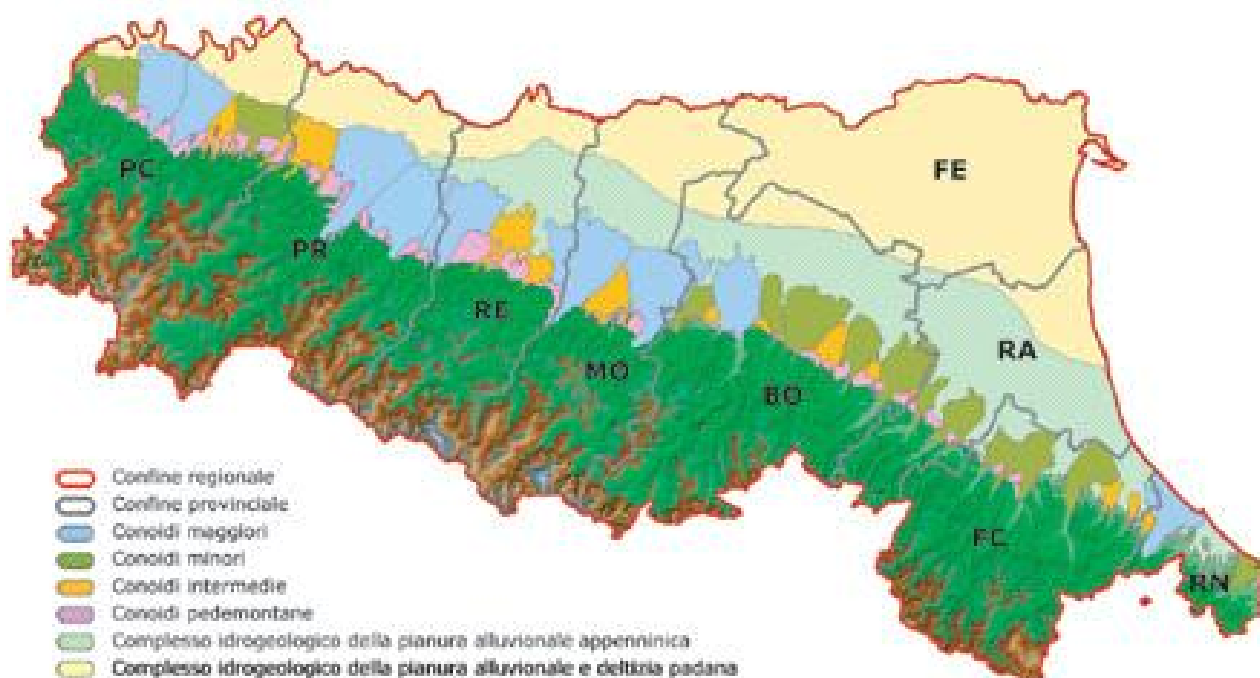


Fig. 21 - Distribuzione delle conoidi e dei complessi idrogeologici all'interno del gruppo acquifero A

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

La distribuzione di tali corpi sedimentari nel sottosuolo è schematicamente rappresentata nella sezione di Fig. 22 che attraversa tutta la pianura da sud a nord, ovvero dal margine appenninico - che separa gli acquiferi montani da quelli di pianura – sino al Fiume Po.

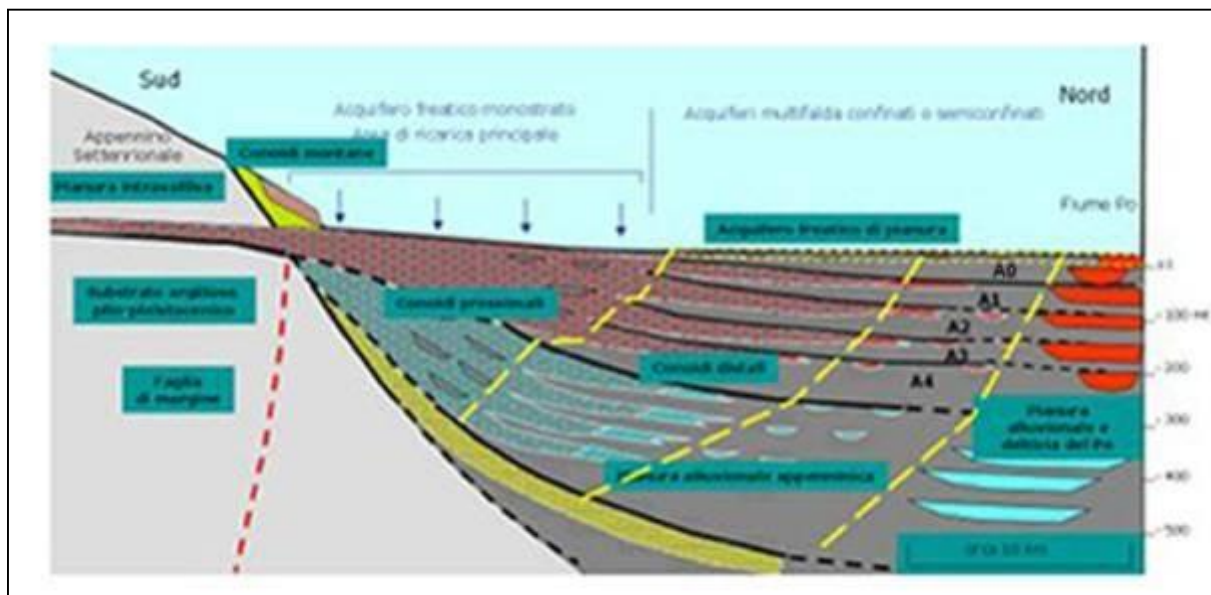


Fig. 22 – Schema della struttura dei Complessi Acquiferi della Pianura Emiliano-Romagnola.

Il Gruppo Acquifero “A”, nel quale la circolazione idrica è legata alla disposizione dei corpi permeabili ghiaioso-sabbiosi, è ulteriormente suddivisibile in cinque Complessi Acquiferi riferibili ad altrettante sequenze deposizionali elementari, identificati dall'alto verso il basso con le sigle da “A0” ad “A4” e corrispondenti ai più recenti subsistemi quaternari compresi, sempre dall'alto verso il basso, tra “AES8” ad “AES4” (Figg. 23 e 24).

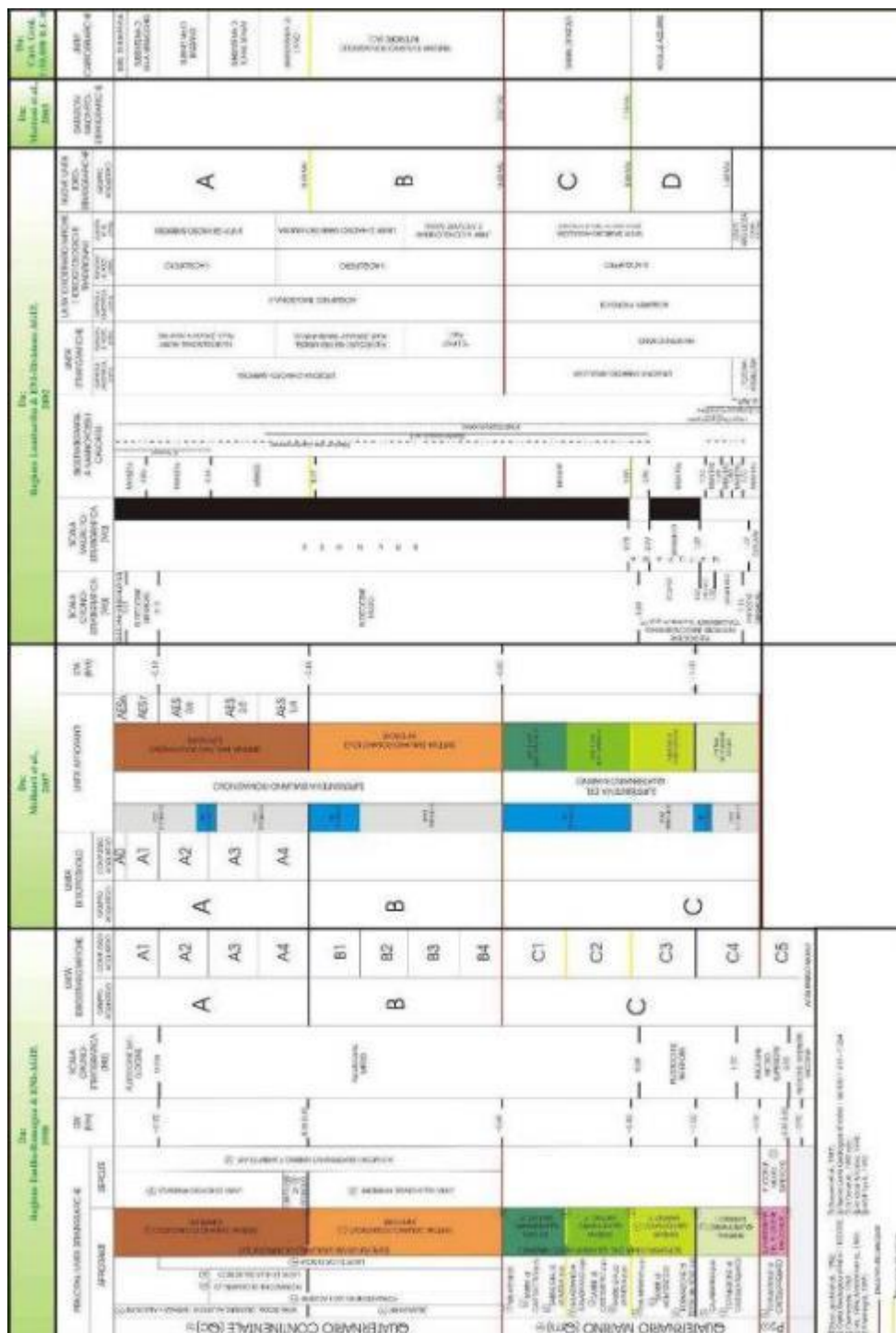


Fig. 23 - Quadro sinottico delle unità stratigrafiche del sottosuolo padano.

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

Fig. 24 - Corrispondenza tra Gruppo Acquifero e unità stratigrafiche.

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

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

10.1 IDROGEOLOGIA DELL'AREA DI STUDIO

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

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

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

Le falde più superficiali sono captate tramite i pozzi delle principali centrali acquedottistiche ("Campo pozzi San Vitale"), risentendo notevolmente degli emungimenti come, del resto avviene in tutto il territorio a causa della presenza di numerosi pozzi idrici di diverso utilizzo (potabile, agricolo ed industriale).

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

Per i dettagli relativi ai tematismi idrogeologici si rimanda agli specifici elaborati allegati al presente progetto.

11 ELEMENTI DI SISMICA GENERALE

Nel presente capitolo viene in primo luogo descritta la sismicità storica del territorio di interesse, quindi viene presentato un inquadramento dell'assetto normativo attualmente in vigore riguardo al rischio sismico. I dati esposti sono stati desunti dai seguenti documenti e/o siti internet:

- CPT15 Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 dal 1000 al 2005: (Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016. CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia: <https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>
- DBMI15 - Database Macrosismico Italiano 2015 (L'utilizzo, anche parziale, del database è consentito a condizione che la fonte sia sempre citata come segue: Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroscopic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia: <https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>
- Database ISIDE (Italian Seismic Instrumental and parametric Data-base) Sismicità recente dell'I.N.G.V. disponibile on-line all'indirizzo <http://cnt.rm.ingv.it/>
- Faglie capaci: catalogo delle faglie capaci ITHACA (ITaly HAZard from Capable faults) dell'Istituto Superiore per la Protezione e per la Ricerca Ambientale (ISPRA): <http://sgi2.isprambiente.it/mapviewer/>
- Strutture sismogenetiche: Database DISS3.2.1 (Database of Individual Seismogenic Sources) disponibile on-line all'indirizzo <http://diss.rm.ingv.it/diss/>
- Classificazione Sismica Nazionale: disponibile on-line all'indirizzo <http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/classificazione.wp>
- Classificazione sismica dei Comuni dell'Emilia Romagna (DGR n°1164 del 23/07/2018).

11.1 SISMICITÀ STORICA

Con riferimento all'analisi della sismica storica sono stati esaminati i dati riportati nel database DMI 2015, che contiene 86.071 M.D.P. (Macroscopic Data Points) relativi a 1.684 terremoti il cui epicentro ricade all'interno dell'area CPTI15 (Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2015); i dati sono riferiti a 15.416 località di cui 14.150 in territorio italiano. In particolare si riporta di seguito una tabella inerente alle intensità macrosismiche registrate dal 1000 al 2011 relativamente al Comune di Bologna (meglio rappresentato nell'area di interesse).

Per ogni terremoto indicato in tabella vengono riportati i valori di intensità al sito (I_s), l'area epicentrale, il numero di osservazioni (n_P) l'intensità epicentrale massima (I_o) e la magnitudo momento (M_w).

Inoltre vengono riportati i grafici (figg. 25, 26, 27, 28) rappresentativi dei terremoti storici dei comuni afferenti i diversi interventi: Bologna, Sala Bolognese (BO), Calderara di Reno (BO) e Castel Maggiore (BO); si specifica che in tali grafici non sono rappresentati i terremoti con I_s inferiore a 3 e quelli classificati NF, ossia "non avvertito".

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

Seismic history of Bologna

[44.494, 11.343]

Total number of earthquakes: 204

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

AUTOSTRADA A14 BOLOGNA – BARI - TARANTO
Tratto: Bologna Borgo Panigale – Bologna San Lazzaro
Potenziamento in sede del sistema Autostradale e Tangenziale di
Bologna
Interventi di completamento della rete viaria di adduzione
Intermedia di Pianura
Progetto definitivo

6	1779 06 02 07 30	Bolognese	3		
7	1779 06 04 07	Bolognese	12	7	5.22
6-7	1779 06 10 08 35	Bolognese	10		
7	1779 07 14 19 30	Bolognese	17		
5	1779 08 20 10 50	Bolognese	2	5	4.16
6	1779 11 23 18 30	Bolognese	14	5	4.7
6-7	1780 02 06 04	Bolognese	9	6-7	5.06
4	1780 09 22 13 45	Forlivese	3	4-5	3.93
4	1781 04 04 21 20	Faentino	96	9-10	6.12
3	1781 07 17 09 40	Faentino	46	8	5.61
4-5	1786 12 25 01	Riminense	90	8	5.66
6-7	1796 10 22 04	Emilia orientale	27	7	5.45
6	1801 10 08 07 52 53.00	Bolognese	6	6	4.9
F	1802 05 12 09 30	Valle dell'Oglio	94	8	5.6
4-5	1806 02 12	Reggiano	28	7	5.21
4	1810 12 25 00 45	Pianura emiliana	33	6	5.06
4	1811 07 15 22 44	Modenese-Reggiano	19	6-7	5.13
4-5	1813 09 21 07 45	Romagna	12	7	5.28
2	1818 12 09 18 55	Parmense	26	7	5.24
3	1828 04 11 22 25	Appennino umbro-marchigiano	22	5-6	4.93
4	1830 01 26 04 30	Alto Reno	11	5	4.53
3	1831 09 11 18 15	Pianura emiliana	25	7-8	5.48
4-5	1832 03 13 03 30	Reggiano	97	7-8	5.51
4	1834 02 14 13 15	Val di Taro-Lunigiana	112	9	5.96
3	1834 07 04 00 45	Val di Taro-Lunigiana	24	6-7	5.08
6	1834 10 04 19	Bolognese	12	6	4.71
3	1843 10 25 03 30	Mugello	17	6-7	5.03
NF	1846 08 14 12	Colline Pisane	121	9	6.04
5	1850 09 18 06 20	Modenese	7	5	4.16
3	1854 06 16 13 25	Imola	9	5	4.57
4	1861 10 16	Romagna	10	6-7	5.13
3-4	1864 03 15	Zocca	13	6-7	4.84
4	1864 12 11 17 40	Mugello	9	7	5.11
5-6	1869 06 25 13 58	Appennino bolognese	18	7-8	5.43
3	1869 12 13 02 53	Sassuolo	13	5	4.57
3	1870 10 30 18 34	Forlivese	41	8	5.61
F	1871 01 22 21 30	Pianura romagnola	8	6	4.95
3-4	1873 03 12 20 04	Appennino marchigiano	196	8	5.85
5	1873 06 29 03 58	Alpago Cansiglio	197	9-10	6.29
4-5	1873 09 17	Appennino tosco-ligure	64	6-7	5.26
4-5	1874 10 07	Imolese	60	7	4.96
4-5	1875 03 17 23 51	Costa romagnola	144	8	5.74
NF	1875 12 06	Gargano	97	8	5.86
5	1878 03 12 21 36	Bolognese	31	6	4.84
5	1878 04 05 09 46	Bolognese	6	6	4.63
4	1878 06 04 14 40	Bolognese	13	5	4.52
4	1878 11 09 17 48 50.00	Tossignano	8	5	4.53
5	1879 04 27 04 06	Appennino tosco-emiliano	20	7	5.03
6	1881 01 24 16 14	Bolognese	38	7	5.22
5	1881 01 25 07 06	Bolognese	18	5	4.59
6	1881 02 14 09 00 30.00	Appennino bolognese	21	6	4.77
3	1881 09 28	Cesena	24	6-7	4.71
4	1885 02 26 20 48	Pianura Padana	78	6	5.01

AUTOSTRADA A14 BOLOGNA – BARI - TARANTO
Tratto: Bologna Borgo Panigale – Bologna San Lazzaro
Potenziamento in sede del sistema Autostradale e Tangenziale di
Bologna
Interventi di completamento della rete viaria di adduzione
Intermedia di Pianura
Progetto definitivo

3	1885 12 29	Alpago Cansiglio	47	6	4.96
F	1887 02 23 05 21 50.00	Liguria occidentale	1511	9	6.27
NF	1887 11 14 05 48 05.00	Fiorentino	101	6	4.47
6	1889 03 08 02 57 04.00	Bolognese	38	5	4.53
3	1889 12 08	Gargano	122	7	5.47
NF	1890 03 26 20 10	Bellunese	48	6	4.82
3	1891 06 07 01 06 14.00	Valle d'Ilasi	403	8-9	5.87
NF	1891 08 01 13 32 22.00	Lugo	15	4-5	4.36
2-3	1892 08 09 07 58	Valle d'Alpone	160	6-7	4.91
NF	1892 12 29 13 47 48.00	Castel del Rio	36	5-6	4.37
2	1894 02 09 12 48 05.00	Valle d'Ilasi	116	6	4.74
3	1894 11 27 05 07	Bresciano	183	6	4.89
NF	1895 03 23	Comacchio	33	6	4.65
4	1895 05 18 19 55 12.00	Fiorentino	401	8	5.5
2-3	1895 08 07 19 49 32.00	Appennino tosco-emiliano	84	5	4.67
NF	1895 08 09 17 38 20.00	Adriatico centrale	103	6	5.11
NF	1896 07 08 01 51 28.00	Porretta Terme	17	5	4.37
3	1897 12 18 07 24 20.00	Alta Valtiberina	132	7	5.09
3	1898 01 16 13 10	Romagna settentrionale	110	6	4.59
4	1898 03 04 21 05	Parmense	313	7-8	5.37
3	1899 06 26 23 17 22.00	Valle del Bisenzio	138	7	5.02
3	1901 10 30 14 49 58.00	Garda occidentale	289	7-8	5.44
NF	1902 12 04 16 35 01.00	Lunigiana	36	5	4.35
3	1904 02 25 18 47 50.00	Reggiano	62	6	4.81
3	1904 06 10 11 15 28.00	Frignano	101	6	4.82
NF	1904 11 17 05 02	Pistoiese	204	7	5.1
3-4	1908 06 02 22 30	Frignano	18	4-5	4.5
6	1909 01 13 00 45	Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
3	1911 02 19 07 18 30.00	Forlivese	181	7	5.26
NF	1911 09 13 22 29 02.00	Chianti	115	7	5.08
3	1913 07 21 22 35	Appennino romagnolo	43	5-6	4.79
5	1914 10 27 09 22	Lucchesia	660	7	5.63
3	1915 01 13 06 52 43.00	Marsica	1041	11	7.08
5	1916 05 17 12 50	Riminese	132	8	5.82
5	1916 08 16 07 06 14.00	Riminese	257	8	5.82
2	1918 05 06 08 05	Reggiano	8	5-6	4.41
4-5	1918 11 10 15 12 28.00	Appennino forlivese	187	9	5.96
4-5	1919 06 29 15 06 13.00	Mugello	565	10	6.38
5	1920 09 07 05 55 40.00	Garfagnana	750	10	6.53
NF	1920 10 06 22 47	Mantovano	19	4-5	4.14
3	1922 05 24 21 17 25.00	Ferrarese	7	4	3.7
3-4	1926 01 01 18 04 03.00	Carniola interna	63	7-8	5.72
6	1929 04 10 05 44	Bolognese	87	6	5.05
4	1929 04 11 00 56	Bolognese	10	4	4.72
4	1929 04 12 00 32	Bolognese	7	4	4.82
5-6	1929 04 19 04 16	Bolognese	82	6-7	5.13
4	1929 04 19 22 40	Bolognese	12	5-6	4.54
5	1929 04 20 01 10	Bolognese	109	7	5.36
5	1929 04 22 08 26	Bolognese	41	6-7	5.1
5	1929 04 22 14 19	Bolognese	12	5-6	4.61
5	1929 04 28 19 40	Bolognese	20	6	4.73
5	1929 04 29 18 36	Bolognese	45	6	5.2
4	1929 05 01 21 13	Imolese	3	4	4.57

AUTOSTRADA A14 BOLOGNA – BARI - TARANTO
Tratto: Bologna Borgo Panigale – Bologna San Lazzaro
Potenziamento in sede del sistema Autostradale e Tangenziale di
Bologna
Interventi di completamento della rete viaria di adduzione
Intermedia di Pianura
Progetto definitivo

5	1929 05 11 19 23	Bolognese	64	6-7	5.29
2-3	1929 07 18 21 02	Mugello	56	6-7	4.96
3	1929 08 17 04 25	Bolognese	10	4-5	3.89
4	1930 10 24 00 52	Appennino tosco-emiliano	12	4	3.97
4	1930 10 26 07 14	Appennino tosco-emiliano	14	4	4.21
3	1930 10 26 07 31	Modenese	11	4	4.12
2	1930 10 30 07 13	Senigallia	268	8	5.83
3	1931 04 11 01 26	Faentino	19	4-5	4.81
3	1931 06 10 17 02	Modenese	14	4	4.59
NF	1931 12 15 03 23	Mugello	35	6	4.62
3	1935 06 05 11 48	Faentino	27	6	5.23
3	1936 10 18 03 10	Alpago Cansiglio	269	9	6.06
3	1939 10 15 14 05	Garfagnana	62	6-7	4.96
3-4	1951 05 15 22 54	Lodigiano	179	6-7	5.17
3	1956 04 26 03 00 03.00	Appennino bolognese	89	6	4.74
3	1960 10 29 00 08 39.00	Mugello	69	7	4.91
F	1963 07 19 05 46 01.50	Mar Ligure	412		5.95
3-4	1964 09 05 21 09	Appennino tosco-emiliano	22	5	4.35
NF	1967 12 09 03 09 56.00	Adriatico centrale	22		4.36
4	1967 12 30 04 19	Emilia Romagna orientale	40	6	5.05
4	1971 07 15 01 33 23.00	Parmense	228	8	5.51
3	1972 10 25 21 56 11.31	Appennino settentrionale	198	5	4.87
4-5	1976 05 06 20	Friuli	770	9-10	6.45
2-3	1976 09 11 16 35 02.44	Friuli	40	7-8	5.6
4-5	1976 09 15 09 21 19.01	Friuli	54	8-9	5.95
3	1977 09 16 23 48 07.64	Friuli	94	6-7	5.26
4	1978 12 05 15 39 04.00	Romagna	34	4-5	4.61
3	1978 12 25 22 53 41.00	Bassa modenese	28	5	4.39
3	1979 02 09 14 44	Bergamasco	73	6	4.78
3	1980 06 07 18 35 01.00	Garfagnana	102	6-7	4.64
3	1980 11 23 18 34 52.00	Irpina-Basilicata	1394	10	6.81
3	1980 12 23 12 01 06.00	Piacentino	69	6-7	4.57
4	1983 11 09 16 29 52.00	Parmense	850	6-7	5.04
NF	1984 04 29 05 02 59.00	Umbria settentrionale	709	7	5.62
2	1986 12 06 17 07 19.77	Ferrarese	604	6	4.43
4	1987 05 02 20 43 53.32	Reggiano	802	6	4.71
F	1987 07 11 01 46 52.02	Bassa Bolognese	15	5	4.2
4	1989 09 13 21 54 01.50	Prealpi Vicentine	779	6-7	4.85
2-3	1992 04 17 11 59 07.29	Appennino bolognese	56	4-5	4.11
4-5	1996 10 15 09 55 59.95	Pianura emiliana	135	7	5.38
3-4	1997 09 26 09 40 26.60	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5.97
4	1999 07 07 17 16 12.59	Frignano	32	5	4.67
NF	2000 05 06 22 07 03.78	Faentino	85	5	4.08
NF	2000 05 08 12 29 56.20	Faentino	126	5	4.67
NF	2000 05 10 16 52 11.60	Faentino	151	5-6	4.82
5	2003 09 14 21 42 53.18	Appennino bolognese	133	6	5.24
3	2004 11 24 22 59 38.55	Garda occidentale	176	7-8	4.99
NF	2005 07 15 15 17 18.00	Forlivese	173	4-5	4.29
4	2008 12 23 15 24 21.77	Parmense	291	6-7	5.36
3	2011 07 17 18 30 27.31	Pianura lombardo-veneta	73	5	4.79

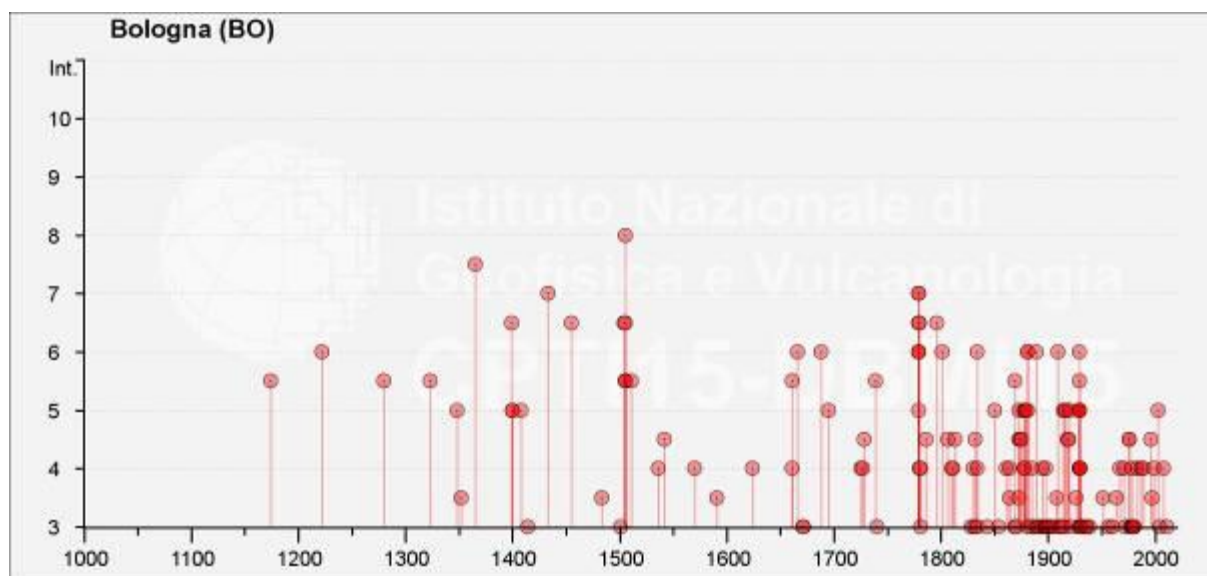


Fig. 25 - Intensità macrosismiche dal 1000 al 2005 nel Comune di Bologna

Le intensità sismiche massime osservate per il Comune di Bologna hanno raggiunto $I_s=8$ per l'evento del 1505. Le aree epicentrali sono collocate nell'area della pianura Emiliana-Romagnola o nel vicino Appennino Tosco-Emiliano.

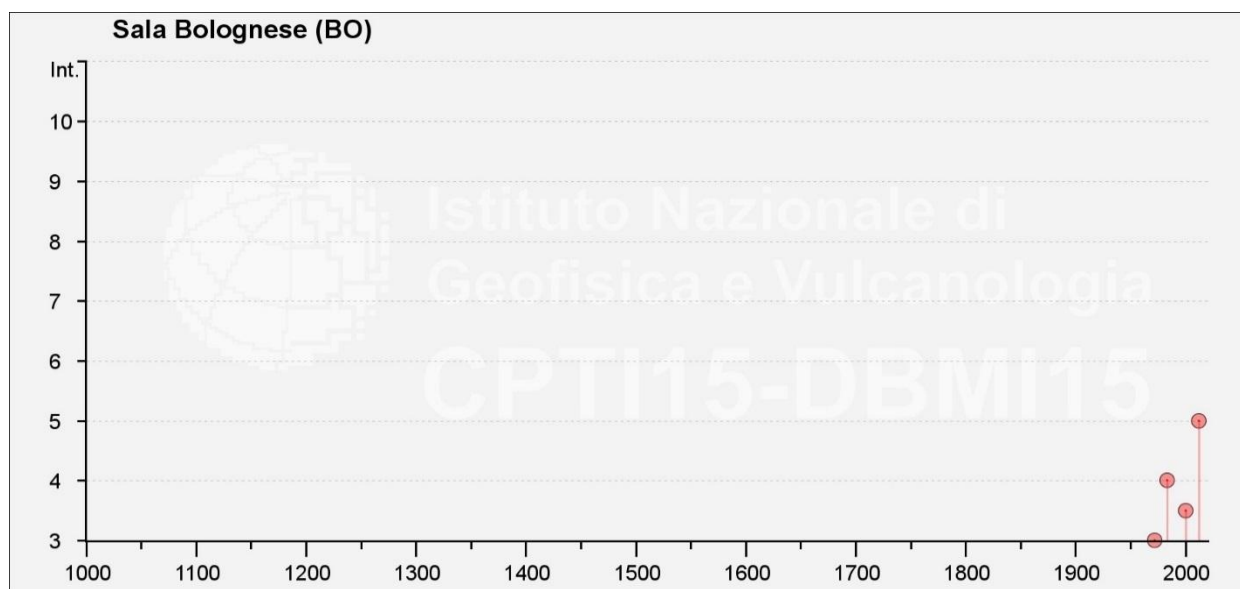


Fig. 26 - Intensità macrosismiche dal 1000 al 2005 nel Comune di Sala Bolognese (BO)

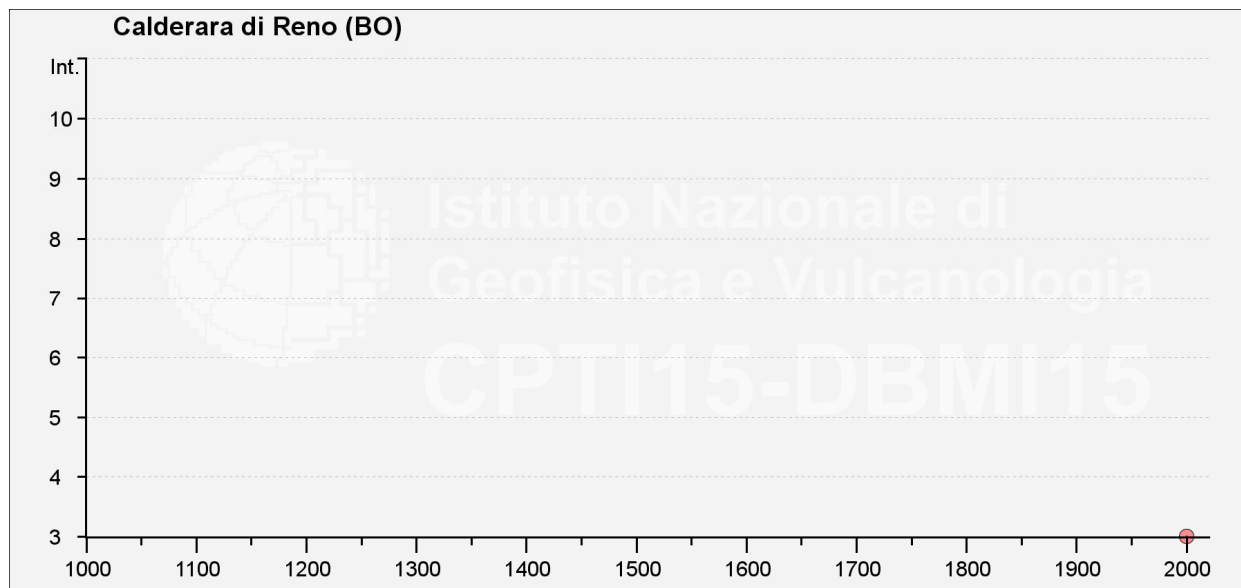


Fig. 27 - Intensità macrosismiche dal 1000 al 2005 nel Comune di Calderara di Reno (BO)

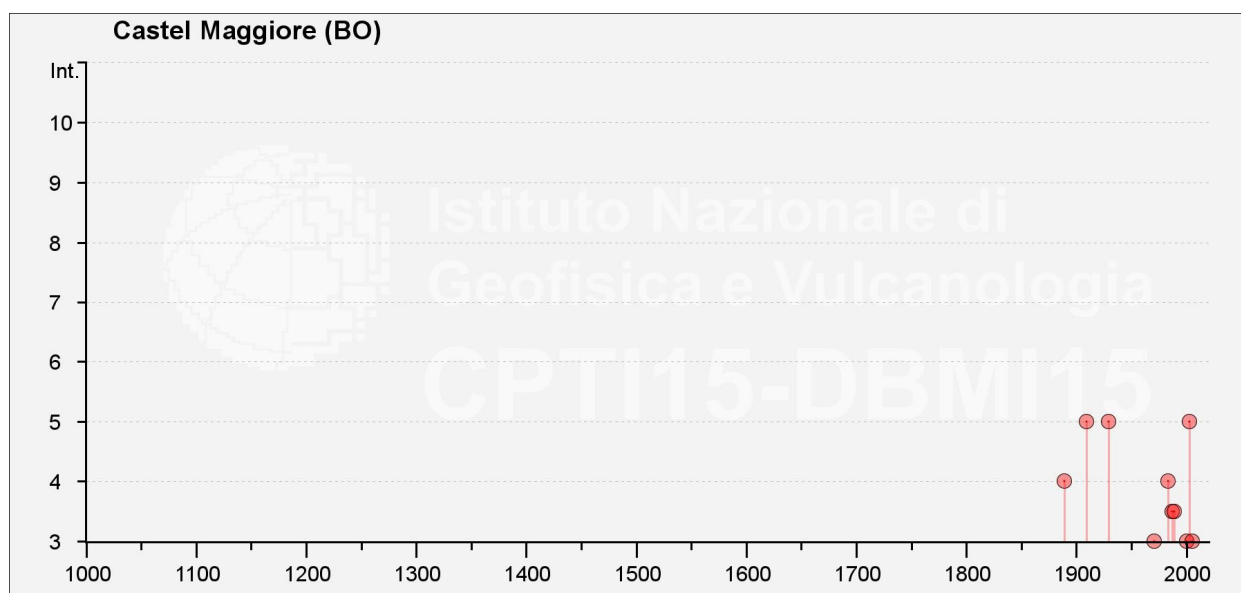


Fig. 28 - Intensità macrosismiche dal 1000 al 2005 nel Comune di Castel Maggiore (BO)

11.2 SISMICITÀ RECENTE (DAL 1985 AL 2021)

Per quanto concerne i sismi che hanno interessato l'area di Bologna dal 01 gennaio 1985 al 15 novembre 2021, i dati sono stati recuperati dal database ISIDE dell'INGV considerando un'area di raggio 50 km (che include le aree epicentrali dei terremoti più intensi di cui al paragrafo precedente) dal Comune di Bologna.

In generale le profondità sono per la maggior parte entro i 10 km e le magnitudini più rappresentate variano tra 1.0 e 2.0.

Nella seguente immagine sono evidenziati i terremoti avvenuti dal 1985 ad oggi nelle aree più prossime alle aree di intervento (Fig. 29).

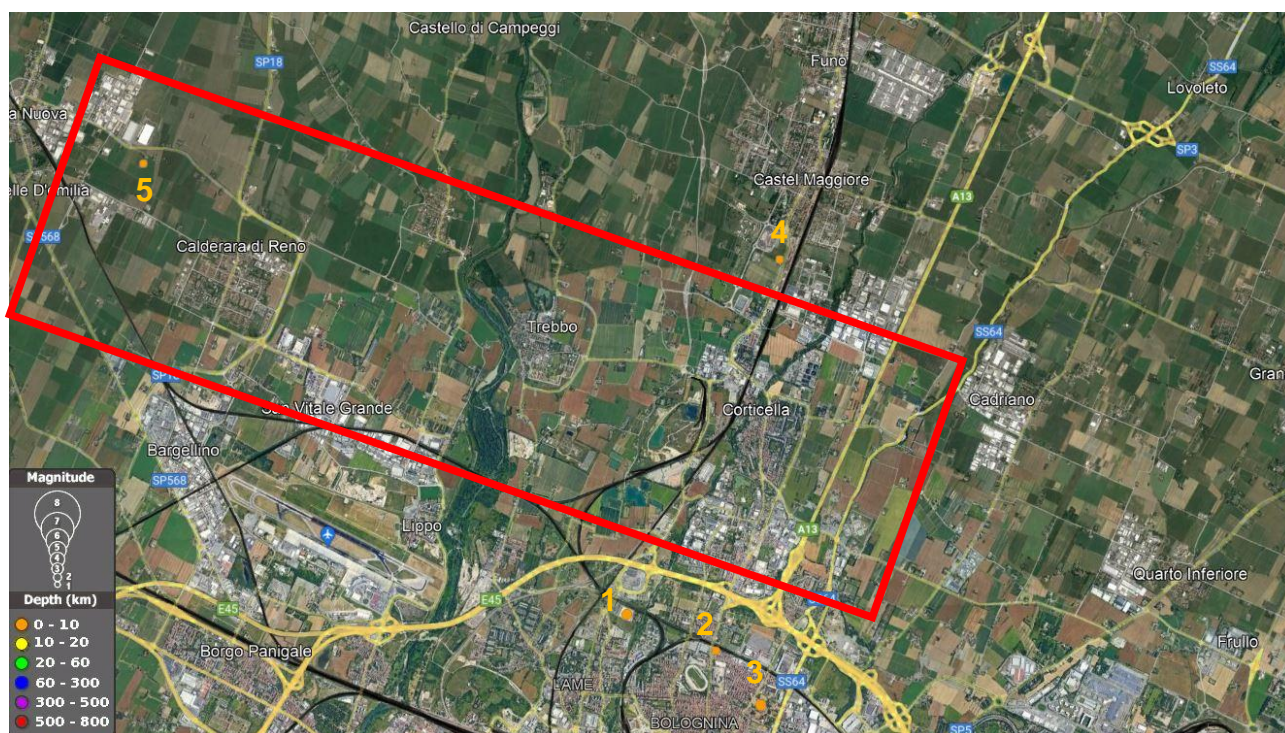


Fig. 29 – Database ISIDE - periodo 1985-2021 (in rosso l'area di intervento complessiva).

I 5 eventi segnalati più prossimi all'area di intervento complessiva hanno le seguenti caratteristiche:

ID	Magnitudo	Profondità (km)	Data (UTC)
1	3.1	5	10/09/1986
2	2.9	5	15/09/1986
3	3.0	5	15/09/1986
4	2.1	10	28/03/1996
5	2.2	10	25/01/2004

11.3 FAGLIE CAPACI

Il termine “faglie capaci” viene utilizzato per descrivere le faglie “sismiche” con indizi di attività negli ultimi 40.000 anni e pertanto potenzialmente “capaci” di produrre deformazioni in superficie.

L’attivazione di faglie capaci è in grado di produrre fenomeni di neoformazione (ecosismi) che possono formarsi in superficie nelle aree epicentrali, in concomitanza con eventi sismici di intensità elevata, in genere \geq VIII-IX grado della scala ESI 2007.

La presenza di faglie capaci nel territorio oggetto di studio è stata verificata consultando il catalogo delle faglie capaci “ITHACA Italy Hazard from Capable faults”, disponibile “on-line” all’indirizzo:

<http://sqi2.isprambiente.it/mapviewer/>

Il “database” del “Progetto ITHACA” raccoglie tutte le informazioni disponibili riguardo alle strutture tettoniche attive in Italia, con particolare attenzione ai processi deformativi che potrebbero generare rischi naturali. La fonte del dato del “Progetto ITHACA” è la “Neotectonic Map of Italy” a scala 1:500.000.

Nella seguente Fig. 30 si riporta uno stralcio planimetrico della distribuzione delle faglie capaci desunta dal “Progetto ITHACA” relativamente all’area di intervento complessiva:

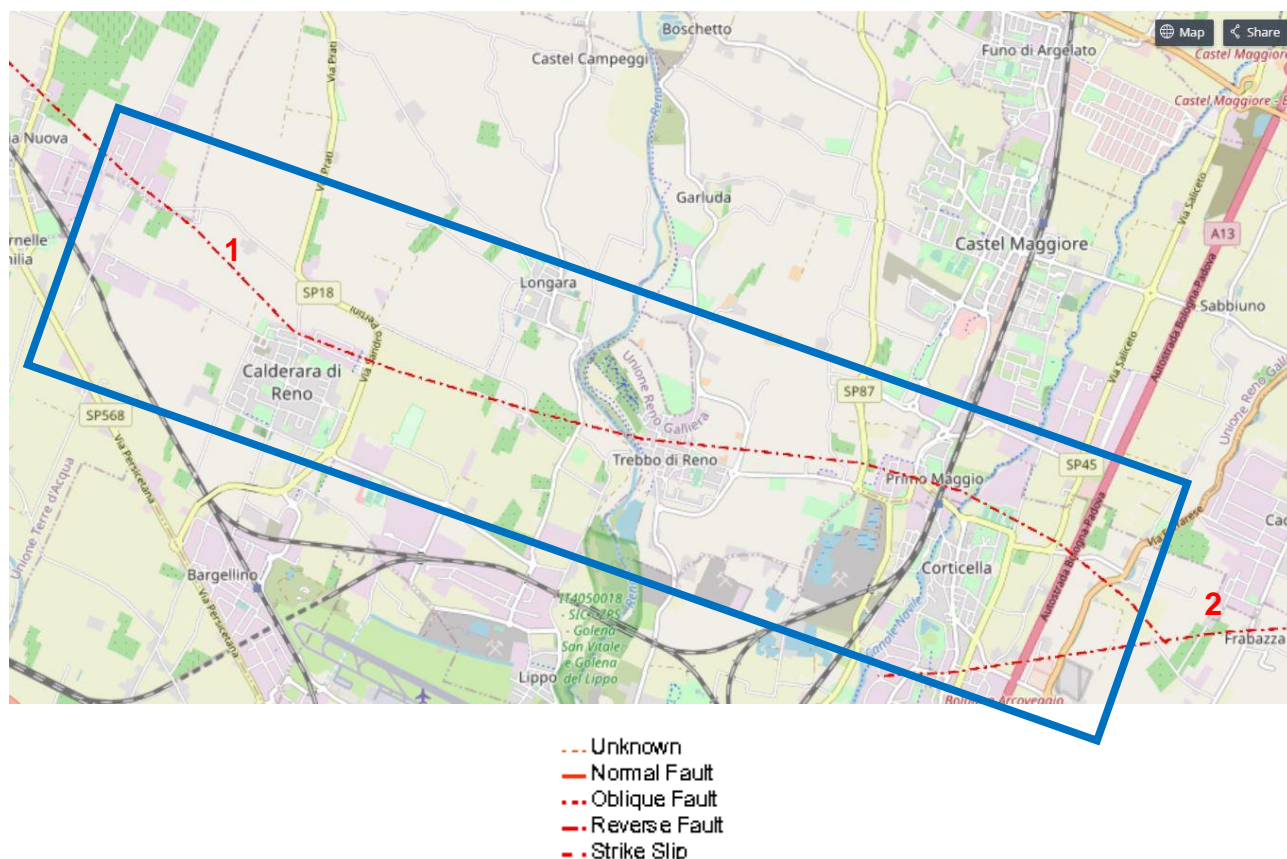


Fig. 30 - Distribuzione faglie capaci "Progetto ITHACA" (in blu l'area di intervento complessiva)

Dalla figura 30 si evince la presenza di una faglia capace quasi in sovrapposizione alle Tratta A, B, C e D1 dell'Intermedia di Pianura; una ulteriore faglia capace è segnalata a sud degli interventi della Tratta D1.

Di seguito si riassumono le loro principali caratteristiche:

	1	2
FAULT NAME	Corticella - Modena	Castenaso - Bologna
FAULT CODE	90512	90608
MACROZONE	3	3
REGION NAME	Emilia Romagna	Emilia Romagna
SYSTEM NAME	Modena arc	Bologna - Ravenna thrust system
KINEMATICS	Reverse	Reverse
RANK	Primary	Primary
AVERAGE STRIKE	115	85
DIP	Undefined	Undefined
LENGTH (Km)	14.9	8.7
DEPTH (Km)	-	-
ACTIVITY RELIABILITY	Low reliability	Low reliability
STUDY QUALITY	LOW	LOW
MAX KNOWN MAGNITUDE	6.4	6.1

11.4 STRUTTURE SISMOGENETICHE

Benché le moderne investigazioni della sismotettonica regionale siano iniziate più di 30 anni fa, la conoscenza delle sorgenti sismogenetiche è ancora incerta. Questo dipende soprattutto dal fatto che l'attività tettonica è collegata a movimenti di sistemi di faglie cieche, le cui caratteristiche (es. lunghezza del singolo segmento, entità del rigetto ecc.) non possono essere definite solamente attraverso la classica analisi geomorfologica ma derivano dall'applicazione di algoritmi che permettono di configurare la geometria della sorgente dai dati derivanti dalla distribuzione dei terremoti storici e dalla loro intensità.

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

Nella seguente Fig. 31 sono evidenziate in color marrone le fasce sismogenetiche prossime all'area di interesse, definite quali proiezione in superficie dei sistemi di strutture profonde ritenute attive, caratterizzabili da un punto di vista geometrico e parametrico in maniera coerente con le sorgenti sismogenetiche incluse al loro interno (poligoni contornati in arancione chiaro), mentre in rosso chiaro sono indicati i sistemi di faglia.

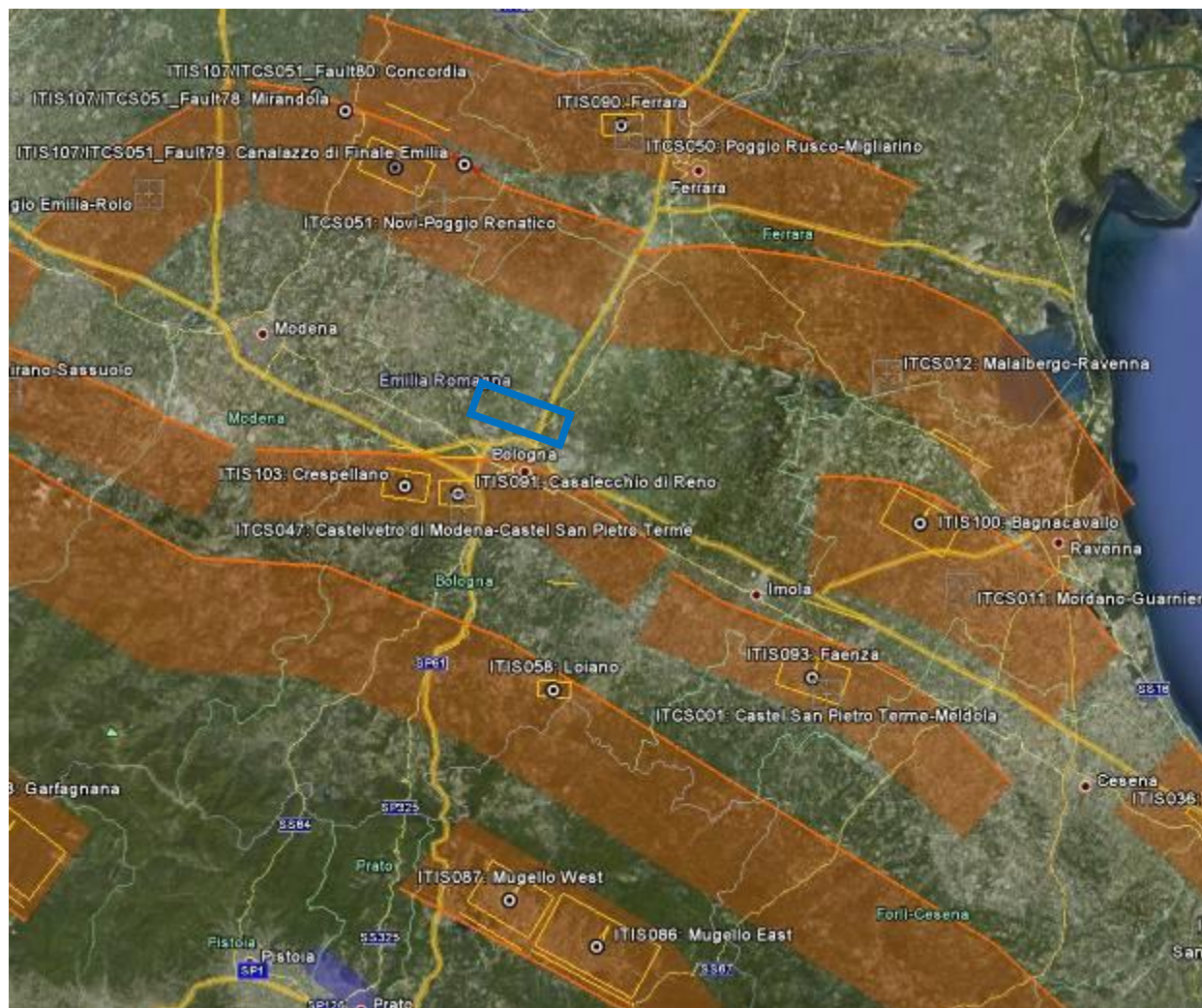


Fig. 31 - Mappa delle aree sismogenetiche di interesse - Database DISS3 (contornata in blu l'area di intervento).

La codifica utilizzata nel database per identificare le strutture include 4 caratteri e 3 numeri:

1. i primi due caratteri si riferiscono al Paese considerato (IT per Italia):
2. gli altri due caratteri identificano il tipo di dati:
 - IS per Individual Seismogenic Source
 - CS per Composite Seismogenic Source
 - DS per Debated Seismogenic Source

Con riferimento al "Database of Individual Seismogenic Sources - DISS 3", si osserva che il tracciato in progetto ricade appena a nord di un'area sismogenetica composita denominata ITCS047 Castelvetro di Modena-Castel San Pietro Terme, contenente le sorgenti individuali ITIS103 "Crespellano" e ITIS091 "Casalecchio di Reno".

11.5 CLASSIFICAZIONE SISMICA

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

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

L'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri OPCM 3274/2003 ha rappresentato una prima risposta alla necessità di aggiornare gli strumenti normativi per la riduzione del rischio sismico. Con tale strumento si sono stabiliti i criteri per l'individuazione delle zone sismiche introducendo la nuova classificazione sismica dei comuni italiani (successivamente integrati e aggiornati dall'OPCM 3519/2006) ed abbandonando così la precedente terminologia di "categorie sismiche".

L'intero territorio nazionale è stato così suddiviso in quattro zone sismiche sulla base di un differente valore dell'accelerazione di picco "ag" su terreno a comportamento rigido, derivante da studi predisposti dall'INGV-DPC. Uno dei cambiamenti fondamentali apportati dalla normativa è stata l'introduzione della zona 4, condizione che ha portato a definire come sismico l'intero territorio italiano attraverso l'eliminazione delle aree cosiddette "non classificate". In presenza di zona 4, è facoltà delle Regioni prescrivere o meno l'obbligo della progettazione antisismica.

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

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

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

Qualunque sia stata la scelta operata dalla Regione, a ciascuna zona o sottozona è attribuito un valore di pericolosità di base, espressa in termini di accelerazione massima su suolo rigido ("ag").

Allo stato attuale, tale valore di pericolosità di base non ha diretta influenza sulla progettazione: infatti, con l'entrata in vigore delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008 e s.m.i.) la stima dei

parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto (accelerazione del moto del suolo, intensità al sito, spettro di sito) avviene direttamente per il sito in esame, utilizzando le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (riportato nelle stesse NTC), indipendentemente dai contestuali limiti amministrativi.

L'allegato A di tali norme prevede inoltre che l'azione sismica di riferimento per la progettazione venga definita sulla base dei valori di pericolosità sismica proposti dall'INGV, utilizzati per determinare la forma dello spettro di risposta elastico di riferimento. L'approccio "sito dipendente" della stessa normativa permette di riferirsi, per ogni manufatto, ad un'accelerazione di riferimento propria in relazione sia alle coordinate geografiche dell'area di progetto, sia alla vita nominale dell'opera stessa.

Di seguito si riporta uno stralcio della mappa di "Classificazione Sismica" pubblicata dalla Protezione Civile ad Aprile 2021 (Fig. 32):

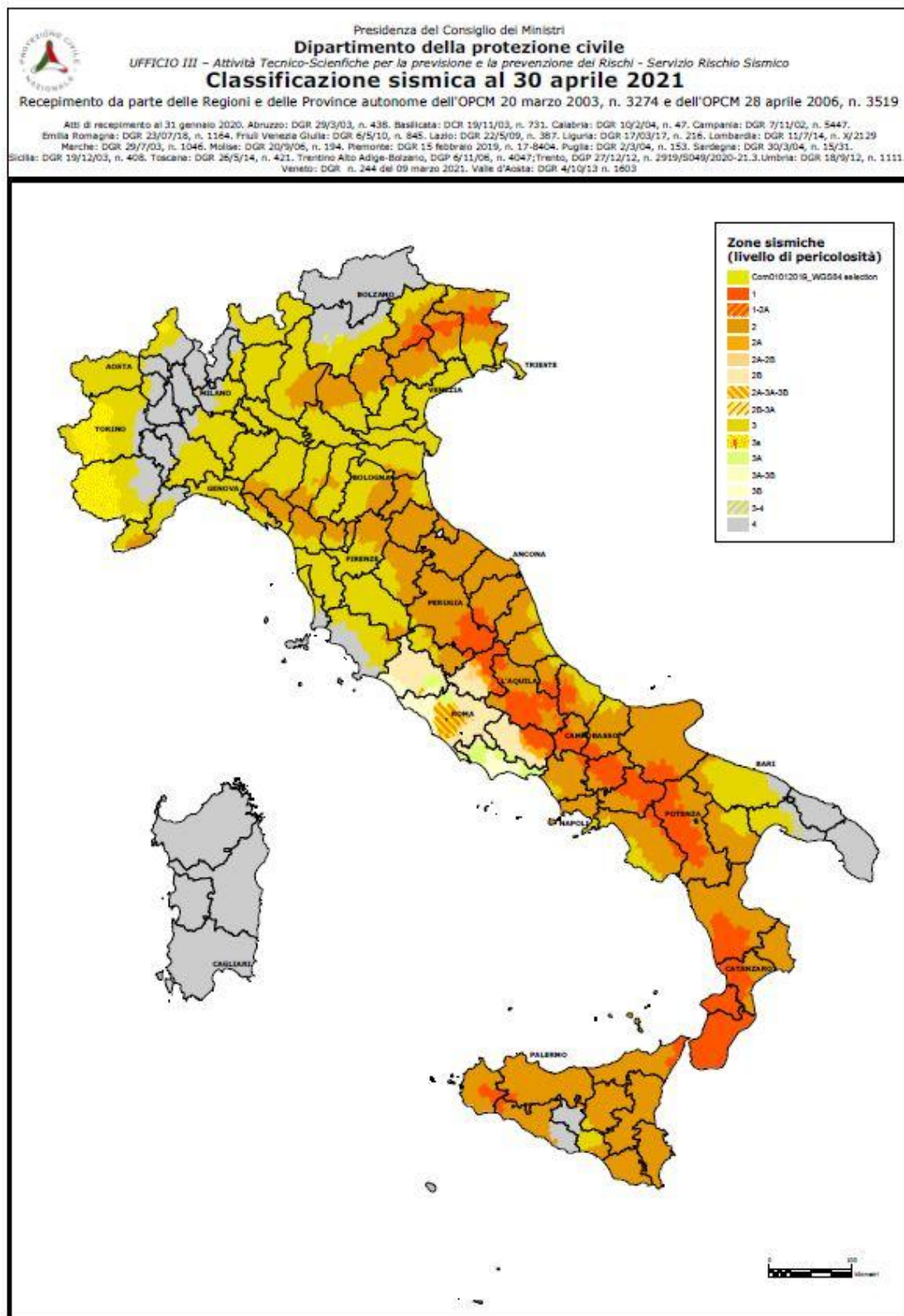


Fig. 32 - Classificazione Sismica ad aprile 2021 (Fonte: Protezione Civile).

11.6 CLASSIFICAZIONE SISMICA DELL'AREA DI STUDIO

La classificazione sismica dell'Emilia-Romagna del 2003 (Ordinanza del PCM n. 3274 / 2003, Allegato 1, punto 3 "prima applicazione") è stata superata dall'aggiornamento del 2018 con la DGR n°1164 del 23/07/2018 "Aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei comuni dell'Emilia-Romagna" (vedi Fig. 33):

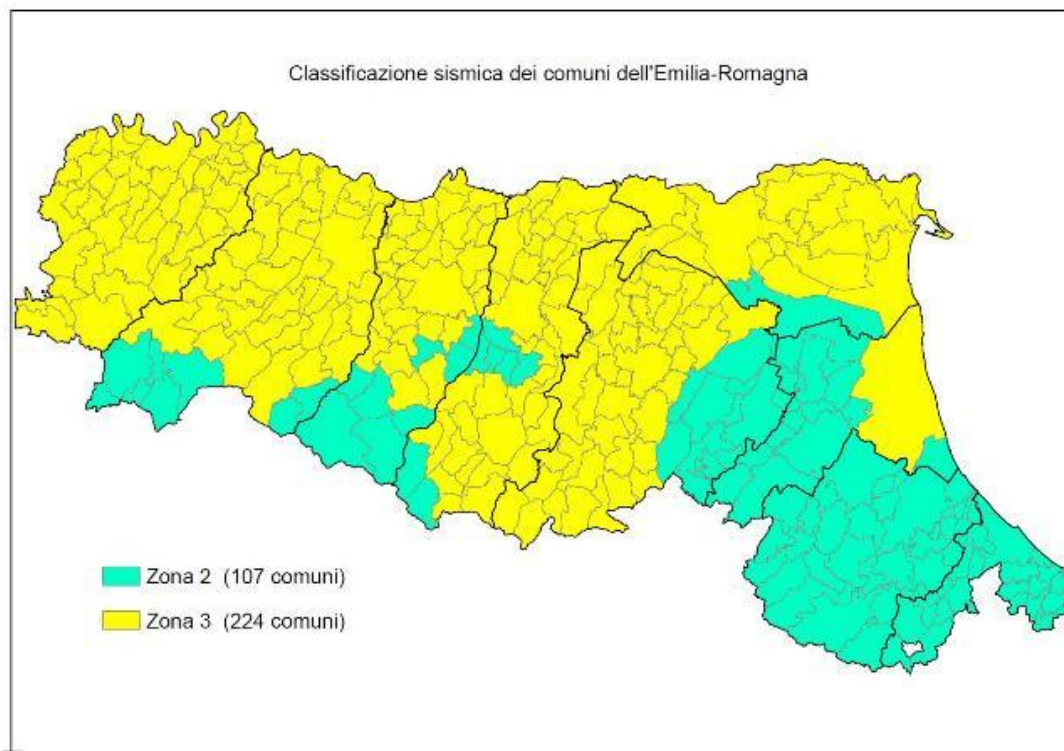


Fig. 33 - "Aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei comuni dell'Emilia-Romagna" – DGR n° 1164 del 23/07/2018

In conformità alla suddetta normativa, i comuni interessati dagli interventi di completamento ricadono nella seguente zona sismica:

Regione	Provincia	Codice Istat	Comune	Classificazione Aprile 2021
Emilia Romagna	Bologna	8037006	Bologna	3
Emilia Romagna	Bologna	8037050	Sala Bolognese	3
Emilia Romagna	Bologna	8037009	Calderara di Reno	3
Emilia Romagna	Bologna	8037019	Castel Maggiore	3

La definizione dell'accelerazione di riferimento non è oggetto della presente relazione.

11.7 LIQUEFAZIONE

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

Le principali manifestazioni della liquefazione sono:

- Presenza di crateri e/o vulcanelli;
- Fuoriuscite di acqua e sabbia;
- Importanti oscillazioni e/o rotture del terreno;
- Abbassamenti e sollevamenti del terreno;
- Movimenti orizzontali del terreno ("lateral spreading");
- Movimento di masse fluide su pendii naturali o artificiali.

Nel 1993 è stato realizzato il "Nuovo catalogo nazionale dei processi di liquefazione avvenuti in occasione dei terremoti storici in Italia" (Galli et alii.), in cui sono state definite le aree suscettibili di liquefazione nel territorio nazionale.

Gli eventi sismici del Maggio 2012 (magnitudo 5.9) hanno causato vistosi episodi di liquefazione in alcune aree del settore occidentale della provincia di Ferrara - localizzate in corrispondenza del paleoalveo del Fiume Reno - e, in minor misura, in alcune aree della provincia di Modena localizzate lungo rami abbandonati del Fiume Panaro. La Regione Emilia-Romagna ha pertanto introdotto aggiornamenti normativi e tecnici ed istituito, insieme al Dipartimento della Protezione Civile, un gruppo di lavoro interdisciplinare – denominato "Gruppo di lavoro Liquefazione" - per programmare ed avviare indagini geotecniche e geofisiche di approfondimento sul tema, al fine di individuare le aree in cui si ritiene necessario verificare la presenza di condizioni predisponenti alla liquefazione.

Infatti l'esperienza ha dimostrato che la liquefazione avviene quando sono presenti simultaneamente condizioni che riguardano la "predisposizione" del terreno al verificarsi del fenomeno ("fattori predisponenti") e condizioni dipendenti dalle caratteristiche dell'azione sismica ("fattori scatenanti").

Le condizioni predisponenti del terreno sono:

- profondità dello strato potenzialmente liquefacibile $< 15-20$ m dal p.c.
- profondità della falda < 5 m
- densità relativa $D_r < 60\%$
- diametro medio $0.02 \text{ mm} < D_{50} < 2 \text{ mm}$
- frazione di fini (diametro $< 0.005 \text{ mm}$) $< 15\%$

Le condizioni scatenanti che riguardano le caratteristiche dell'azione sismica sono:

- magnitudo > 5.5
- $PGA > 0.15 \text{ g}$
- durata $> 15-20 \text{ sec}$

In generale, i siti naturali e antropici a più alto rischio di liquefazione sono: letti di fiume antichi e recenti, paludi, pianure di esondazione, spiagge, zone dunari e interdunari, terreni di bonifica, argini.

Eventuali valutazioni specifiche sulla liquefazione inerente il progetto possono essere sviluppati nell'ambito della relazione geotecnica allegata al presente progetto, alla quale si rimanda.

12 DESCRIZIONE DEL TRACCIATO

Nell'ambito del presente capitolo si descrivono, procedendo da Ovest ad Est (dalla Tratta A alla Tratta D1), i principali elementi geologici-geomorfologici riscontrabili.

I litotipi distinti nei profili geologici allegati sono i seguenti tre (identificati in funzione della composizione granulometrica prevalente):

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

Tali “macrocategorie” sono rappresentative del modello geologico del sottosuolo della pianura bolognese, poiché la composizione granulometrica dei terreni varia notevolmente, non consentendo la definizione di categorie più specifiche che potrebbero generare una moltitudine di partizioni poco significative. Nonostante queste semplificazioni, a causa della natura fortemente eterotopica dei depositi cartografati, la forma e l'estensione delle lenti di materiale riportate in sezione geologica deve essere assunta come verosimile ma non come l'unica possibile.

L'intero tracciato si sviluppa sui terreni afferenti al subsistema di Ravenna (AES8) ed all'Unità di Modena (AES8a) che è contenuta in AES8 con limiti non conformi e che ne costituisce il tetto stratigrafico.

A profondità nell'ordine dei 15-20m dal piano campagna si ipotizza il passaggio ai depositi del Subsistema di Villa Verucchio (AES7), che a loro volta risultano sovrapposti al Subsistema di Bazzano (AES6).

La descrizione dettagliata della litostratigrafia dei terreni attraversati è contenuta nelle stratigrafie dei sondaggi e dei pozzetti raccolte negli appositi elaborati allegati al presente progetto.

12.1 TRATTA A

I terreni presenti nel primo sottosuolo appartengono alla classe granulometrica prevalentemente coesiva, cioè a depositi costituiti principalmente da argille e limi; si tratta perciò di terreni compressibili all'interno dei quali è frequente il ritrovamento di materiale organico e di residui carboniosi (in particolare il sondaggio IP-S2 ha intercettato torbe ed argille torbose tra 16,80m e 23,90m da p.c.). Sporadicamente sono presenti lenti sabbiose.

A profondità maggiori (oltre i 20m) i pozzi RER ed i sondaggi appositamente realizzati per la progettazione hanno evidenziato la presenza di un orizzonte continuo più grossolano (sabbie con ghiaia/ghiaiose e ghiaie prevalenti) dello spessore minimo di c.a. 10 m.

Nei pressi della nuova rotatoria RO001, il pozzetto PZ-IP11 eseguito nel 2016 ha evidenziato la presenza di argilla limosa per almeno 4m, mentre nei pressi della nuova rotatoria R4 il pozzetto PZ-IP15 eseguito nel 2016 ha evidenziato la presenza di 3m di limo argilloso seguito da argilla sabbiosa; in questo ambito di intervento il recente sondaggio IP-S5 ha evidenziato la presenza di c.a. 25m di terreno coesivo (presente un sottile livello di torba a c.a. 21m) seguito da ghiaia limoso-sabbiosa e sabbia fino a 30m.

12.2 TRATTA B

I terreni del primo sottosuolo sono prevalentemente compressibili, passanti in profondità a terreni sabbiosi (lenti), cui seguono terreni granulari, anche se si sottolinea che la verticale di indagine IP1 ha attraversato un livello di argilla debolmente limosa dello spessore di 4-5m c.a. presente all'interno del materiale granulare.

In corrispondenza del nuovo viadotto sul Fiume Reno, i sondaggi appositamente realizzati (IP3, IP4, IP5 ed IP6) e quelli reperiti dal Consorzio della Bonifica Renana ed eseguiti nel 2009 (S1, S2, S3 ed S4) hanno

individuato prevalenti depositi coesivi (con intercalate locali lenti sabbiose) per uno spessore dell'ordine di 17-20m c.a. a cui segue un cospicuo orizzonte prevalentemente ghiaioso con contenuto variabile di sabbia fino ad almeno 40 m di profondità (si tratta di depositi correlabili all'attività deposizionale del Fiume Reno); si precisa che all'interno del sopra citato corpo granulare sono presenti sporadiche lenti sabbiose e limoso-argillose e che nei pressi del limite inferiore delle argille sovrastanti è stata rinvenuta torba in tutti i sondaggi di progettazione (IP3, IP4, IP5 ed IP6).

Nella porzione di territorio afferente la nuova opera di scavalco sono evidenziabili i seguenti elementi geomorfologici attivi:

- fenomeni erosionali con franamento e scalzamento al piede delle scarpate fluviali;
- fenomeni di deposizione in alveo di detriti alluvionali di spessore variabile (formazione di isole fluviali);
- fenomeni di deposizione detritica sui terrazzi fluviali misti a resti vegetali, tali depositi sono correlabili a piene straordinarie (loc. Fondo Barca).

Si evidenzia infine che in sponda idrografica destra la nuova opera interferisce con un cospicuo materiale coesivo di riempimento di una ex cava di ghiaia, per uno spessore ipotizzabile di almeno 4-5m.

12.3 TRATTA C

Le indagini appositamente realizzate (sondaggi IP-S7, IP-S8 ed IP-S9), indicano la presenza di depositi prevalentemente limoso-argillosi per uno spessore di 23-25m c.a. e contenenti anche spessori cospicui di torba ed argilla torbosa (c.a. 5m in IP-S9); più in profondità sia IP-S7 che IP-S9 hanno rinvenuto ghiaia sabbioso-limosa con ciottoli per almeno 5m.

Si evidenzia infine la presenza di un'antica direzione di scorrimento fluviale (paleoalveo) interferente con il prolungamento del sottovia ciclopedonale previsto al termine di questo tratto di intervento.

12.4 TRATTA D1

Dal punto di vista litologico sia la nuova rotatoria RO014 che la RO015 verranno realizzati in terreni coesivi di tipo limo sabbioso (si veda rispettivamente il pozzetto IP-PZ6 ed il pozzetto IP-PZ7), mentre la nuova rotatoria RO016 verrà realizzata in terreni ascrivibili a riporto antropico (si veda il pozzetto PZ-20PE); si precisa che l'area ove verrà realizzata quest'ultima rotatoria ricade nell'ambito riconducibile ad ex cave di argilla.

Nell'areale della Tratta D1 si evidenzia infine la presenza di antichi ventagli di esondazione o di rotta (da Geoportale RER).

13 PRINCIPALI ASPETTI GEOLOGICI DI INTERESSE INGEGNERISTICO

Si evidenziano qui le problematiche di natura geologica identificabili nell'area interessata dal progetto, anche nell'ottica di consentire la verifica della compatibilità dell'opera così come prescritto dalle NTC 2018 e dalla sua Circolare attuativa n. 7 del 21/01/2019.

La determinazione della pericolosità è concepita in letteratura con diverse declinazioni, che comprendono sia quelle statistiche afferenti soprattutto al governo del territorio (pertinenza degli Enti pubblici) sia quelle euristiche e deterministiche finalizzate soprattutto alla progettazione di opere specifiche (pertinenza del Progettista).

Premesso che la pericolosità definita dagli enti pubblici deve essere considerata con attenzione e deve indurre il progettista a concentrare le proprie verifiche negli ambiti maggiormente critici, qui di seguito si definisce in maniera univoca la pericolosità geologica attinente alla realizzazione dell'intervento in oggetto. In particolare, si fa riferimento a quanto suggerito in § 6.12.1 del DM 14/01/2008 e s.m.i.:

“Gli studi devono caratterizzare la zona d'interesse in termini di pericolosità geologica intrinseca, per processi geodinamici interni ed esterni e devono consentire d'individuare gli eventuali limiti imposti al progetto”.

In altre parole, la pericolosità a cui si riferisce la relazione geologica deve essere intesa come la descrizione dell'insieme di quegli elementi che vincolano il progetto, ovvero gli aspetti geologici non ordinari ai quali le opere progettate devono far fronte.

In ragione di quanto sopra, di seguito si riassumono i principali elementi geologici di interesse ingegneristico desunti dagli studi geologici, geostrutturali, geomorfologici, ed idrogeologici sviluppati per il presente progetto e integrati con informazioni desumibili dagli studi sismo-tettonici e dalle cartografie di pericolosità redatte dagli enti preposti al governo del territorio.

Questi elementi consentiranno all'ingegnere progettista di valutare la compatibilità delle opere progettate con la componente geologica (analisi del sistema opera-sottosuolo), in aderenza a quanto previsto dall'Art. 26 del DPR n. 207 / 2010 e s.m.i.

In particolare, le criticità geologiche che hanno maggiore influenza per la progettazione delle opere in oggetto sono quelle descritte nel seguito.

- Sussiste una marcata variabilità granulometrica, oltre che in senso verticale, anche in senso orizzontale, pertanto i terreni interessati dal progetto manifestano una spiccata eteropia tra materiali fini e grossolani.
- Sussiste la presenza, lungo tutto il tracciato, di depositi compressibili – soprattutto di natura torbosa – anche di rilevante spessore ubicati a differenti profondità, condizione che rende necessaria un'attenta verifica dei cedimenti non solo delle nuove opere ma anche di quelle preesistenti, in quanto queste ultime potrebbero risentire di una variazione inopportuna dell'attuale stato tensionale a seguito delle previste lavorazioni.
- Sono presenti depositi antropici, di vario spessore, caratterizzati da scadenti caratteristiche geotecniche: in particolare, il nuovo viadotto sul Fiume Reno, previsto all'interno della Tratta B, andrà ad interferire con un terreno coesivo connesso al ritombamento di una cava di ghiaia dismessa.
- Sempre in corrispondenza del nuovo attraversamento del Fiume Reno, le scarpate del corso d'acqua presentano fenomeni erosivi attivi con franamenti anche per scalzamento al piede.
- E' possibile, per quanto improbabile, la presenza di sacche di gas in livelli localizzati ed in emergenza dalla superficie.
- Le litologie a prevalente componente sabbiosa sono potenzialmente soggette, quando sature, a fenomeni di liquefazione che potrebbero verificarsi in occasione di eventi sismici di particolare intensità.

- L'eventuale variazione del regime di sfruttamento degli acquiferi (diminuzione dei pompaggi) potrebbe ridurre ulteriormente le soggiacenze;
- Secondo gli elementi riportati nel P.A.I. l'intervento di Tratta B interseca un "Alveo Attivo" (Fiume Reno) e le sue ampie "Fasce di Pertinenza Fluviale".
- Poco più a sud della Tratta B è presente il campo pozzi Hera "San Vitale".
- L'intervento di Tratta C interferisce con la fascia di tutela fluviale dello Scolo Riolo.
- Relativamente alla pericolosità idraulica - con particolare riferimento alla cartografia redatta nell'ambito del P.G.R.A "Reticolo naturale principale" - si segnala che:
 - Ø la Tratta A ricade interamente in area a pericolosità da alluvioni elevata "P3";
 - Ø la Tratta B attraversa aree a pericolosità da alluvioni elevata "P3" in corrispondenza dell'alveo attivo del Fiume Reno e nella zona di pianura sita oltre l'argine in sinistra idrografica, mentre intercetta aree a pericolosità da alluvioni media "P2" nella zona di pianura sita oltre l'argine in destra idrografica;
 - Ø la Tratta C ricade interamente in area a pericolosità da alluvioni media "P2";
 - Ø i tre interventi di Tratta D1 ricadono in area a pericolosità da alluvioni media "P2".
- Secondo l'INGV sono presenti due strutture tettoniche, di cui una pressochè sovrapposta agli interventi di tutte e quattro le tratte, identificate come "faglie capaci", ossia faglie "sismiche" con indizi di attività negli ultimi 40.000 anni, potenzialmente in grado di produrre deformazioni in superficie.
- Nel territorio comunale di Sala Bolognese, poco più a nord dell'area di progetto, è segnalata la presenza di fenomeni di "sinkhole"