

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 LUNGO SAVENA LOTTO 3

PROGETTO DEFINITIVO

DOCUMENTAZIONE GENERALE

GEOLOGIA PARTE GENERALE

RELAZIONE GEOLOGICA-GEOMORFOLOGICA

IL GEOLOGO Dott. Enrico Maranini Ord. Geol. Emilia-Romagna N. 1056	IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE Ing. Fabio Serrau Ord. Ingg. Bologna n. 6007/A	IL DIRETTORE TECNICO 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.	-
111454	0000	PD	DG	GEO	GE000	00000	R	GEO	0001	-0	SCALA -

	ENGINEER COORDINATOR: Ing. Fabio Serrau Ord. Ingg. Bologna n. 6007/A	SUPPORTO SPECIALISTICO:	REVISIONE
			n. data
			0 MARZO 2022
REDATTO:		VERIFICATO:	

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

Sommario

1	INTRODUZIONE.....	3
2	DESCRIZIONE DELLE ATTIVITA' SVOLTE	4
2.1	RACCOLTA DEI DATI PREGRESSI	4
2.2	FOTOINTERPRETAZIONE.....	5
2.3	RILEVAMENTO	6
2.4	INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	6
2.4.1	Indagini bibliografiche pregresse	6
2.4.2	Indagini geognostiche (2016).....	7
2.5	ANALISI DELLE STRATIGRAFIE DEI SONDAGGI.....	7
3	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	8
4	INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE	10
5	STRATIGRAFIA.....	12
5.1	SINTEMA EMILIANO - ROMAGNOLO SUPERIORE (AES)	14
5.1.1	Subsistema di Ravenna (AES8).....	14
5.1.2	Sub-sistema di Villa Verucchio (AES7)	15
5.1.3	Sub-sistema di Bazzano (AES6).....	15
6	GEOMORFOLOGIA.....	16
6.1	INQUADRAMENTO GENERALE	16
6.2	IDROGRAFIA	16
6.3	PIANO CAVE.....	17
6.4	GEOMORFOLOGIA DELL' AREA DI INTERVENTO	19
7	ANALISI DELLA CARTOGRAFIA PRODOTTA DAGLI ENTI.....	20
7.1	PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI)	20
7.2	PIANO TERRITORIALE METROPOLITANO (PTM).....	21
7.3	PIANI STRUTTURALI COMUNALI (Psc).....	22
7.4	PIANO DI COORDINAMENTO GESTIONE RISCHI ALLUVIONI (PGRA).....	23
8	ALTRI ELEMENTI.....	24
8.1	SUBSIDENZA	24
8.2	CENNI DI CARATTERE GIACIMENTOLOGICO	26
8.3	FENOMENI GEOLOGICI PARTICOLARI	28
8.4	SINKOLE	29
9	VINCOLI E PERICOLOSITÀ IDRAULICA DELL' AREA DI INTERVENTO	31
10	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO GENERALE.....	31
10.1	IDROGEOLOGIA DELL' AREA DI STUDIO	35
11	CARTOGRAFIA TEMATICA.....	36
11.1	PLANIMETRIA GEOLOGICA CON PROFILO GEOLOGICO LONGITUDINALE	36
11.2	PLANIMETRIA GEOMORFOLOGICA.....	37
11.3	PLANIMETRIA DEI VINCOLI DA P.A.I. E DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA DA P.G.R.A.	37
12	ELEMENTI DI SISMICA GENERALE	38

12.1	SISMICITÀ STORICA	38
12.2	SISMICITÀ RECENTE	45
12.3	FAGLIE CAPACI	47
12.4	STRUTTURE SISMOGENETICHE	49
12.5	CLASSIFICAZIONE SISMICA	50
12.6	CLASSIFICAZIONE SISMICA DELL'AREA DI STUDIO	52
12.7	LIQUEFAZIONE	53
13	DESCRIZIONE GEOLOGICA-GEOMORFOLOGICA DEL TRACCIATO.....	54
14	PRINCIPALI ASPETTI GEOLOGICI DI INTERESSE INGEGNERISTICO.....	55

1 INTRODUZIONE

La presente relazione riguarda la porzione di territorio che ricade nella piana alluvionale appenninica tra Bologna Borgo Panigale e Bologna San Lazzaro, nell'ambito del progetto definitivo per il potenziamento del sistema autostradale e tangenziale di Bologna, con particolare riferimento all'intervento di completamento della rete viaria di adduzione "Lungo Savena Lotto 3".

Nella Fig. 1 è indicata l'ubicazione dell'area di intervento. Complessivamente il collegamento viario ha uno sviluppo di ca. 2100 m, nella cui parte centrale trova spazio il futuro Viadotto Mattei, avente lunghezza pari a 368 m: tale principale opera è costituita da sette campate di ampiezza variabile.

Lo scopo del lavoro consiste nell'illustrare gli elementi geologici e geomorfologici utili a focalizzare i principali aspetti progettuali riconducibili alla natura ed alle caratteristiche dei terreni interessati dall'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 delle planimetrie geologiche e geomorfologiche in scala 1:5000 e del profilo geologico longitudinale in scala 1:5000/500 sono stati ricavati essenzialmente dall'analisi critica dei dati bibliografici e dall'esame di tutte le stratigrafie disponibili (pozzi, indagini pregresse e sondaggi appositamente realizzati).

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

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

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/catalogCTA/>);
 - 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.– Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po (ex Autorità di Bacino Reno), direttiva alluvioni II° ciclo di gestione (2021-2027) (adozione I° aggiorn. 20/12/2021);
- Piano Infraregionale delle Attività Estrattive P.I.A.E. (11/2013) - Città Metropolitana, Bologna (approvaz. 31/03/2014) e versioni precedenti;
- Piano Comunale Attività Estrattive P.A.E. Comune di Bologna (2020, approvazione DC/PRO/2021/64) e versioni precedenti;

- SIT – Servizio Informativo Territoriale della Provincia di Bologna (<http://cartografia.cittametropolitana.bo.it/ptcptav>) (<http://sitmappe.comune.bologna.it/pucviewer>)
- Piano Territoriale Metropolitan 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 (P.S.C.) del Comune di Castenaso e Regolamento Urbanistico Edilizio (R.U.E.) (aggiorn. 08/05/2013) in vigore dal 25 febbraio 2009 - relazione di Piano e cartografie, tra cui le Tavole "Tutela e Vincoli di natura storico culturale, paesaggistica e ambientale" e "Tutela e vincoli relativi alla sicurezza e alla vulnerabilità del territorio";
- Archivi TECNE-ASPI: dati geognostici pregressi ricadenti nelle adiacenze del tratto di interesse;
- Progetto esecutivo di potenziamento del sistema autostradale e tangenziale (2004);
- Progetto esecutivo del prolungamento della Complanare di Bologna tra Borgo S. Lazzaro ed Osteria Grande;
- Progetto esecutivo di ampliamento alla quarta corsia tra Bologna San Lazzaro e la diramazione per Ravenna;
- Progetto definitivo dell'ampliamento alla terza corsia della A13 tra Ferrara e Bologna e studi per il progetto esecutivo;
- Progetto definitivo ed esecutivo per la realizzazione del People Mover di Bologna (indagini di Fase 1 del 2009-2010 e di Fase 2 del 2010);
- Progetto definitivo ed esecutivo del Passante di Bologna.

2.2 FOTOINTERPRETAZIONE

Per ottenere un migliore riconoscimento delle forme del territorio a grande scala (altrimenti non rilevabili date le deboli variazioni altimetriche dell'area e la presenza di insediamenti antropici) si è fatto ricorso all'interpretazione di foto aeree; 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°106; fotogrammi dal N°0167÷0170
- strisciata N°107; fotogrammi dal N°0094÷0098
- strisciata N°108; fotogrammi dal N°0070÷0073

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 (scala 1:5000); 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 alla tratta in oggetto, di verificare e contestualizzare le forme individuate per mezzo della fotointerpretazione e di osservare gli elementi geomorfici a media scala, non 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 ex cava 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 aree nelle quali risultano presenti rilevati artificiali, principalmente quelli relativi alle infrastrutture lineari, le aree depresse in generale o gli scavi, specie quelli realizzati nel corso delle attività estrattive. Per identificare i perimetri originari al fine di stabilirne l'eventuale tipo di riempimento, il lavoro di è avvalso soprattutto dei dati presso gli enti pubblici, sovrapponendoli alla geomorfologia rilevata. A questo proposito è risultato utile per le verifiche geomorfologiche in sito la consultazione e il confronto con le due edizioni delle carte topografiche a disposizione:

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

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 utili recuperate sono state riportate negli elaborati cartografici in scala 1:5000 in funzione della loro ubicazione plano-altimetrica e con simbologia differente in relazione alla tipologia di indagine. Le risultanze delle indagini sono state raccolte in appositi elaborati allegati al presente progetto.

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

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

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

2.4.2 Indagini geognostiche (2016)

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

- § n. 3 sondaggi geognostici verticali (sigla S1-xx) eseguiti a carotaggio continuo, spinti a profondità massima di 50m, con esecuzione di prove in foro tipo SPT, prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati; i sondaggi sono stati completati mediante installazione di tubi piezometrici e di tubi in PVC per Down Hole;
- § n. 4 pozzetti esplorativi superficiali (sigla TPxx) spinti a profondità massima di 3,75m da p.c., con esecuzione di prove di carico su piastra, prove di densità e prelievo di campioni rimaneggiati;
- § n. 2 prove sismiche HVSR a stazione singola in corrispondenza dei sondaggi S1-Pz e S3-DH;
- § n. 5 prove penetrometriche con punta elettrica e piezocono (sigla DCPTUx e CPTUX), spinte a profondità variabili fra 11.5m e 35.5m circa; durante l'esecuzione delle verticali DCPTU sono state effettuate alcune prove di dissipazione;
- § n. 1 prospezione sismica in foro di tipo Down Hole;
- § 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).

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

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

- § Geologo dell'ufficio geologia (GEO) per la componente geologica
- § Ingegnere dell'ufficio opere all'aperto (APE) per gli aspetti geotecnici
- § Ingegnere dell'ufficio idraulica (IDR) per quanto riguarda l'idrologia
- § Ingegnere 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 risulta quindi trasversale alle fasce di pertinenza fluviali, delimitate a ovest dal Fiume Reno e a est dal Torrente Savena che hanno direzione grossomodo nord-nordest. La città di Bologna è ubicata sul raccordo morfologico tra le due unità fisiografiche citate (vedi Fig. 2).

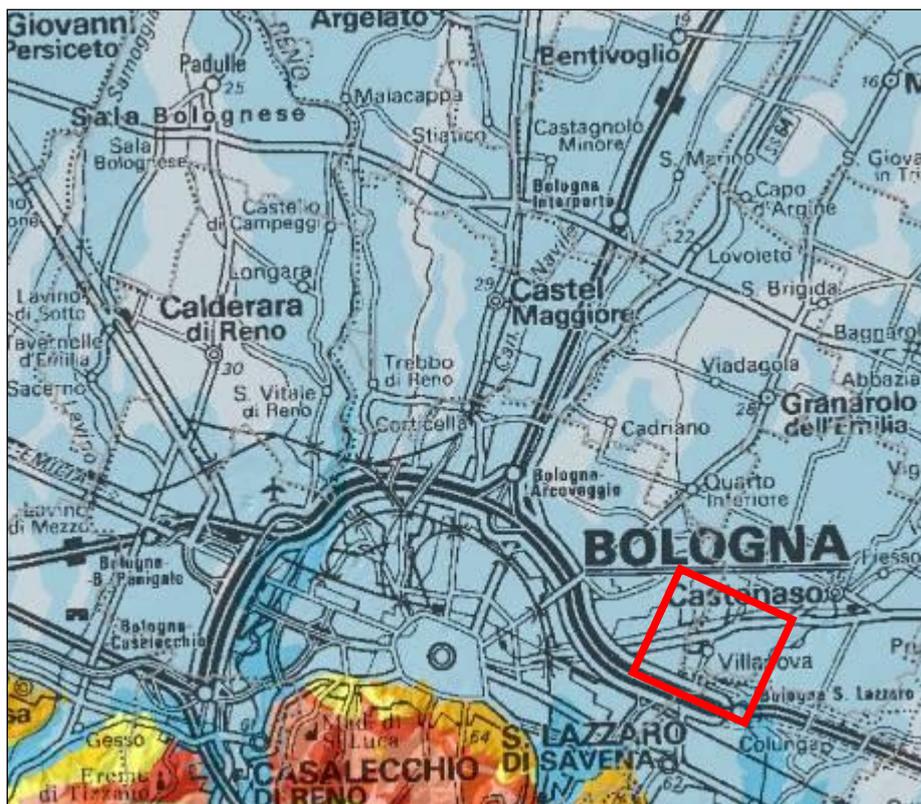


Fig. 2 – Inquadramento geografico dell'area di intervento (da RER modif.)

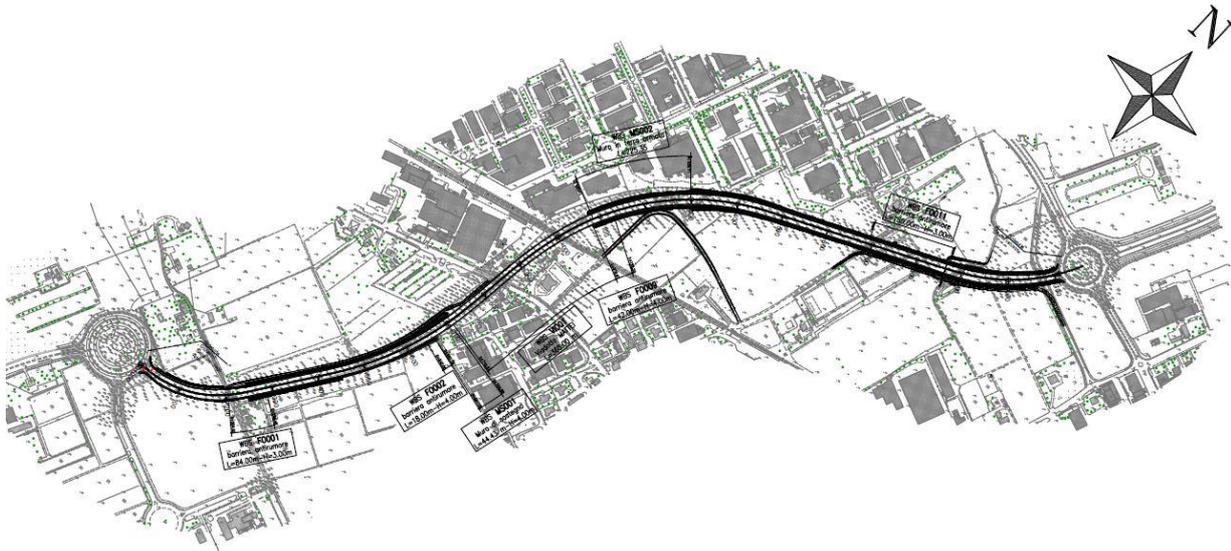


Fig. 2 – Planimetria dell'area di intervento.

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

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

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 adagiati su un substrato di argille marine di ambiente costiero sino 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. Tale evento è testimoniato dalle numerose superfici di discontinuità stratigrafica riconosciute e cartografate in corrispondenza del margine appenninico padano (si veda la 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 (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 in Fig. 4.

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

1. Supersistema del Pliocene medio-superiore;
2. Supersistema del Quaternario Marino;
3. Supersistema del Quaternario Continentale (Emiliano - Romagnolo).

Tale 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	TERRE ROSSE, DILUVIUM, ALLUVIUM, TERRAZZI E ALLUVIONI	SUPER SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO	SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE	~0.12	PLEISTOCENE SUPERIORE - OLOCENE	A	A ₀
	DILUVIUM p.p.			UNITA' DI BORGO PANIGALE			A ₁
	FORMAZIONE FLUVIO - LAGUSTRE			ORIZZONTE DI FOSSOLO			A ₂
	FORMAZIONE DI OLMATELLO			UNITA' ALLUVIONALE INFERIORE			A ₃
	UNITA' DI VILLA DEL BOSCO						A ₄
UNITA' DI CA' DI SOLA	SUPER SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO	ALLUVIONI / QUATERNARIO MARINO E SABBIE DI ASTI	~0.35-0.45	PLEISTOCENE MEDIO	B	B ₁	
UNITA' DI CA' DI SOLA	SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO INFERIORE		B ₂				
			B ₃				
			B ₄				
QUATERNARIO MARINO	MILAZZIANO SABBIE di CASTELVETRO p.p. SABBIE GIALLE di IMOLA p.p.	SUPER SISTEMA DEL QUATERNARIO MARINO	SUBSISTEMA QUATERNARIO MARINO 3	~0.65	PLEISTOCENE INFERIORE	C	C ₁
	MILAZZIANO e CALABRIANO p.p. SABBIE di CASTELVETRO p.p. SABBIE GIALLE di IMOLA p.p.			~0.8			C ₂
	CALABRIANO p.p. SABBIE di MONTERICCO FORMAZIONE di TERRA del SOLE p.p.			~1.0			C ₃
	CALABRIANO p.p. FORMAZIONE di CASTELL'ARQUATO p.p.			~1.72			C ₄
				~2.2			C ₅
P ₂	FORMAZIONE di CASTELL'ARQUATO p.p.	SUPER SISTEMA DEL PLIOCENE MEDIO-SUPERIORE	PLIOCENE MEDIO SUPERIORE	~3.3-3.6	PLIOCENE MEDIO - SUPERIORE		
			PLIOCENE INFERIORE	~3.9			PLIOCENE INFERIORE MIOCENE
							ACQUITARDO BASALE

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 basata sui limiti stratigrafici inconformi (U.B.S.U., Salvador, 1987) che prevede la distinzione di unità stratigrafiche delimitate da superfici di discontinuità definite sintemi e sub-sintemi. Tali unità sono particolarmente efficaci per descrivere il territorio in base alla sua storia geologica, all'età dei suoi sedimenti e alla peculiare ciclicità degli eventi che l'hanno trasformato, tipici dell'epoca quaternaria. Lo schema più esaustivo per la rappresentazione di queste unità è quello di tipo cronostatigrafico che riporta in ascissa la distribuzione geografica delle unità ed in ordinata il tempo in cui tali unità si sono deposte. Nello schema cronostatigrafico 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 Supersistema Emiliano Romagnolo è l'Unità stratigrafica che comprende l'insieme dei depositi quaternari di origine continentale affioranti al margine appenninico padano e sepolti nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola. All'interno del Supersistema sono stati distinti il Sistema emiliano-romagnolo Superiore (AES) ed il sottostante Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI).

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

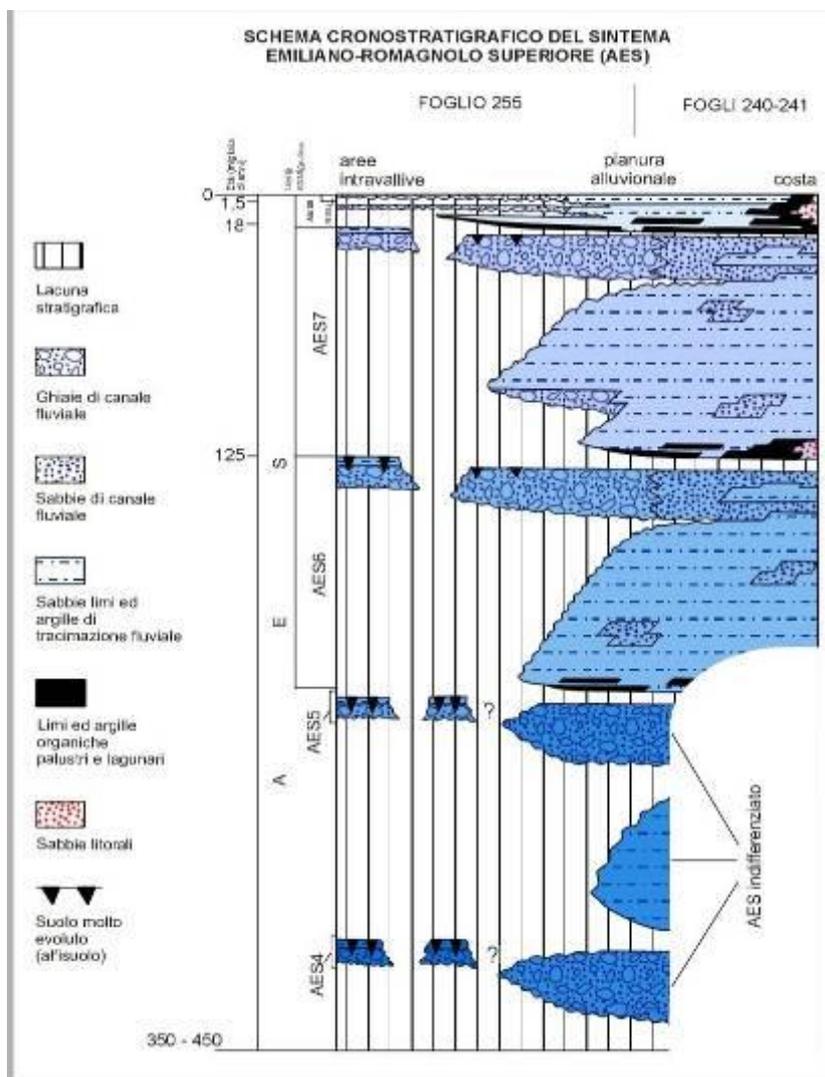


Fig. 5: Schema del modello stratigrafico adottato per il settore orientale e costiero della pianura emiliano – romagnola.

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 del profilo geologico longitudinale 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 specificatamente concepiti, su datazioni al carbonio 14, sulla presenza di resti archeologici e sul contenuto/tipo di pollini imprigionati nel sedimento.

Con particolare riferimento al limite inferiore dell'Unità di Modena AES8a, esso viene definito dal "CARG" come una superficie di erosione fluviale correlata ad un suolo non calcareo (o scarsamente calcareo) contenente resti di epoca romana (datazione archeologica), pertanto la differenziazione su base pedologica ed archeologica con il sottostante Subsintema AES8 non ha, in generale, un riscontro di tipo litotecnico. Inoltre

lo spessore indicato nei documenti "CARG" per l'Unità di Modena è di alcuni metri (sempre inferiore a 10m), 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 della sezione geologica redatta, preferendo riportare una distinzione tra corpi a diversa granulometria, aspetto che assume molta rilevanza dal punto di vista geotecnico. Nello stesso elaborato è invece riportata una possibile interpretazione riguardo ai limiti tra i subsistemi AES8, AES7 ed AES6, ipotizzando il loro andamento sulla base dei dati contenuti nelle sezioni "CARG" intersecanti la traccia – o a questa adiacenti - del profilo geologico elaborato: 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 SINTEMA EMILIANO - ROMAGNOLO SUPERIORE (AES)

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

5.1.1 Subsistema di Ravenna (AES8)

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

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

5.1.1.1 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; datazione archeologica)

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 Sub-sistema 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.

5.1.2 Sub-sistema 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'area in oggetto). 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 identificato 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 ca. 100m.

Età: Pleistocene sup.

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

5.1.3 Sub-sistema di Bazzano (AES6)

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

Età: Pleistocene medio.

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

6 GEOMORFOLOGIA

6.1 INQUADRAMENTO GENERALE

L'intervento in progetto ricade in una fascia di territorio definita "di cerniera" tra il "margine appenninico-padano" - unità morfologica corrispondente alla zona a cavallo tra il limite morfologico Appennino-Pianura Padana, 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 sub-pianeggiante, 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.

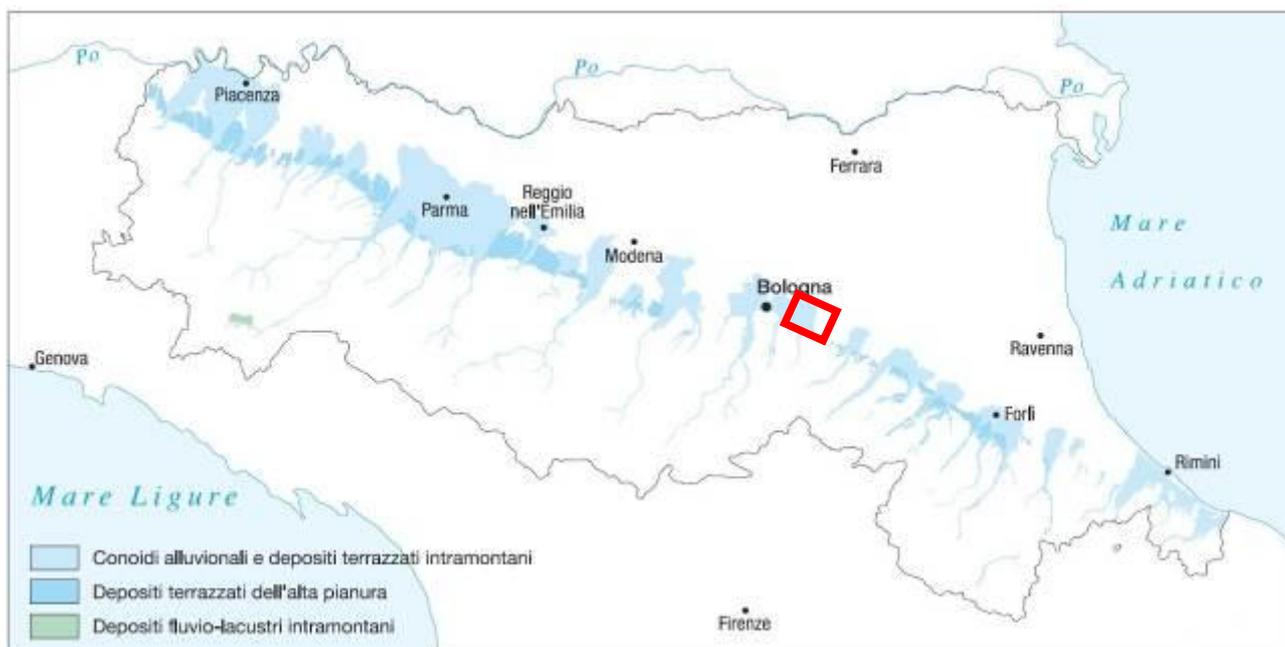


Fig. 6: - Inquadramento geomorfologico della pianura emiliano – romagnola (da Note illustrative alla carta sismotettonica della regione Emilia-Romagna, scala 1.250.000). In rosso l'area di interesse.

La pianura bolognese si è originata dalla sovrapposizione di eventi alluvionali a direzione prevalente all'incirca nord-sud. Tale territorio è caratterizzato da valori di altitudine che tendenzialmente diminuiscono verso nord e aumentano invece da ovest verso est.

Più in dettaglio l'area di intervento è caratterizzata da un andamento altimetrico compreso tra 44 e 50 m s.l.m.

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 è condizionata dalla presenza del torrente Savena, che scorre a sud del tracciato di progetto e rappresenta il corpo idrico principale dell'area in studio, costituendo, insieme al torrente Idice, anche il principale recapito delle acque di scolo del territorio comunale.

La portata del torrente è quanto mai variabile, come per tutti i corsi d'acqua appenninici; nel periodo estivo alla diminuzione della portata si aggiunge la derivazione di acqua per usi irrigui.

Il territorio è inoltre attraversato da canali artificiali, fra cui quello più noto è lo Scolo Zenetta, che svolge funzione di drenaggio urbano per il settore sud di Villanova, ha origine in prossimità del torrente Savena e, attraversato il territorio comunale in direzione SE/NO e il territorio comunale di Granarolo, si getta nel Savena abbandonato e poi nel Reno.

Il Piano Territoriale Paesaggistico Regionale (P.T.P.R.) del 1993 indica, relativamente allo scolo/canale Zenetta, una zona di rispetto di 150m dalle acque pubbliche (art. 17 di Tutela dei caratteri ambientali di laghi, bacini e corsoi d'acqua), fascia di rispetto che è stata riportata nell'ambito della cartografia "dei vincoli e della pericolosità" allegata al presente progetto).

Inoltre, nella documentazione del PSC del Comune di Castenaso viene indicata una inadeguatezza del tronco dello scolo Zenetta, dovuto al fatto che in origine il canale sito in tale comparto smaltiva le sole acque di drenaggio dei campi, mentre attualmente, a seguito delle intervenute urbanizzazioni, gli apporti idrici si sono molto incrementati; è stato comunque realizzato all'interno del comparto un manufatto ripartitore che suddivide gli apporti idrici tra la fognatura su Via Marescotti che adduce al torrente Savena ed il canale Zenetta. Il canale, attraversato l'intero abitato, prosegue per la campagna per circa 600 m e quindi si immette nel collettore diretto al depuratore di Corticella, all'altezza dell'incrocio con Via dell'Industria. In tale tratto avviene l'interferenza con l'infrastruttura in progetto.

Nel secondo dopoguerra, stando alle testimonianze verbali raccolte in sito, il complesso industriale appartenente alla Poligrafici Editoriale SpA possedeva un canale di scolo a cielo aperto e ad uso industriale che correva lungo il lato sud del rilevato ferroviario che da Bologna conduce a Portomaggiore e, sempre stando alle testimonianze verbali, l'area compresa fra la ferrovia e via Mattei era soggetta ad allagamenti in occasione di eventi meteorici significativi.

Il successivo collettamento delle acque ad uso industriale entro una rete di scarico dedicata ha migliorato sensibilmente le condizioni idrauliche locali, aumentando quindi l'efficienza del drenaggio operato dalla rete secondaria di fossi locali.

6.3 PIANO CAVE

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

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

Il PAE dettaglia i fabbisogni che il PIAE assegna al territorio comunale recependo direttamente i Poli estrattivi ed operando scelte di dettaglio con riferimento agli Ambiti estrattivi comunali (ovvero i giacimenti con potenzialità complessiva inferiore ai 500.000 m³). Definisce inoltre, attraverso la redazione di Norme Tecniche specifiche, le modalità di attuazione delle aree interessate dall'attività estrattiva ed individua quelle esaurite.

La Giunta del Comune di Bologna ha assunto l'integrazione alla proposta di piano comunale delle attività estrattive di Bologna (aprile 2020): il piano è costituito da una relazione tecnica descrittiva dello stato delle previsioni e dell'attività estrattiva nel territorio comunale, assieme ad un inquadramento geologico e idrogeologico di dettaglio per le aree oggetto di nuove previsioni e da una tavola dello stato di fatto (fig. 7d), che riporta la posizione e lo stato di cave attive, pianificate ed esaurite, ed anche la posizione degli impianti di prima lavorazione dell'estratto.

Nelle seguenti figure si riportano degli stralci planimetrici estratti da cartografie di Piano delle attività estrattive redatte in periodi diversi (fig. 7 PIAE 2002, fig. 8 PIAE 2013, fig. 9 PAE 2007); si precisa che il PAE 2020 non comprende arealmente l'ambito di intervento.

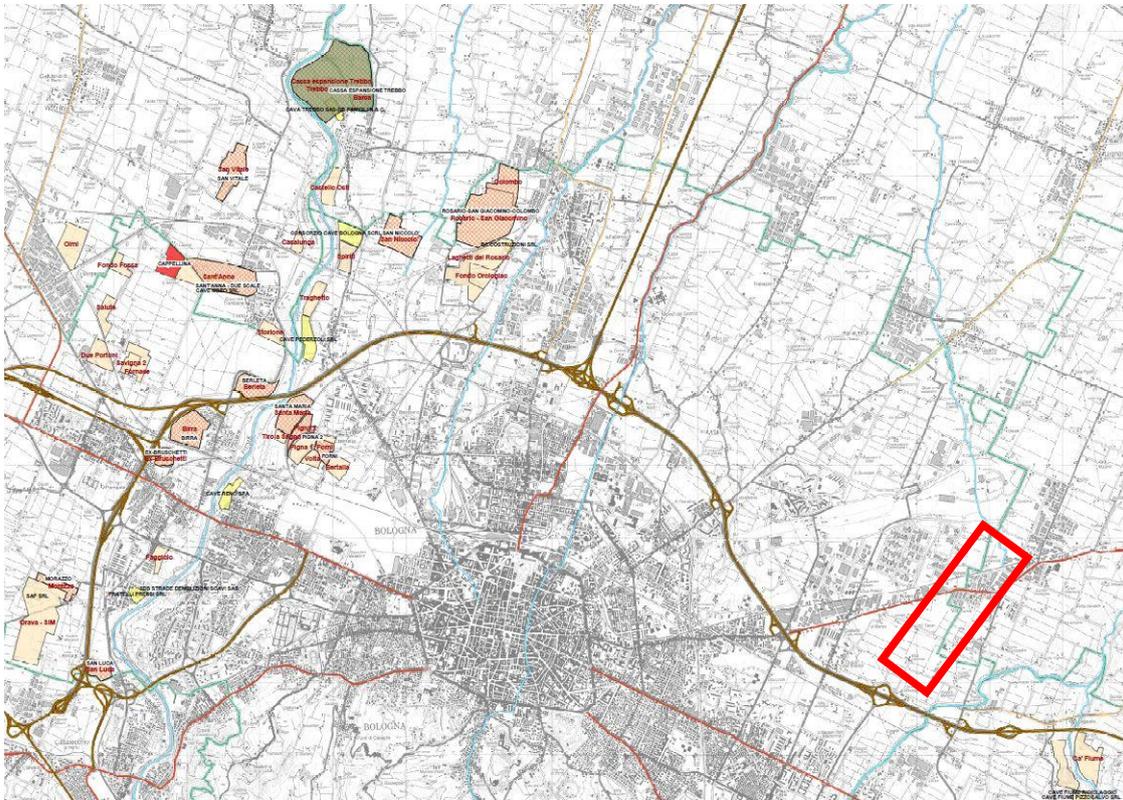


Fig.7 - Carta delle attività estrattive (da PIAE 2002 modif.). In rosso l'area di intervento.

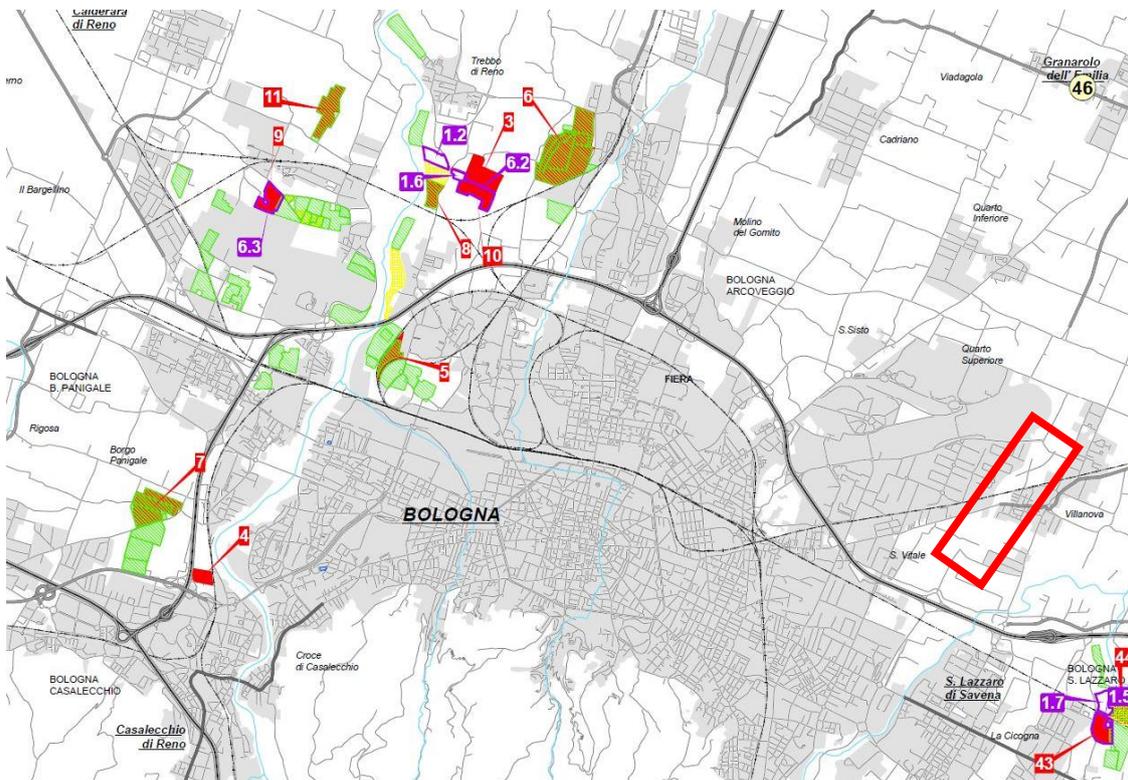


Fig.8 - Carta delle attività estrattive (da PIAE 2013 modif.). In rosso l'area di intervento.

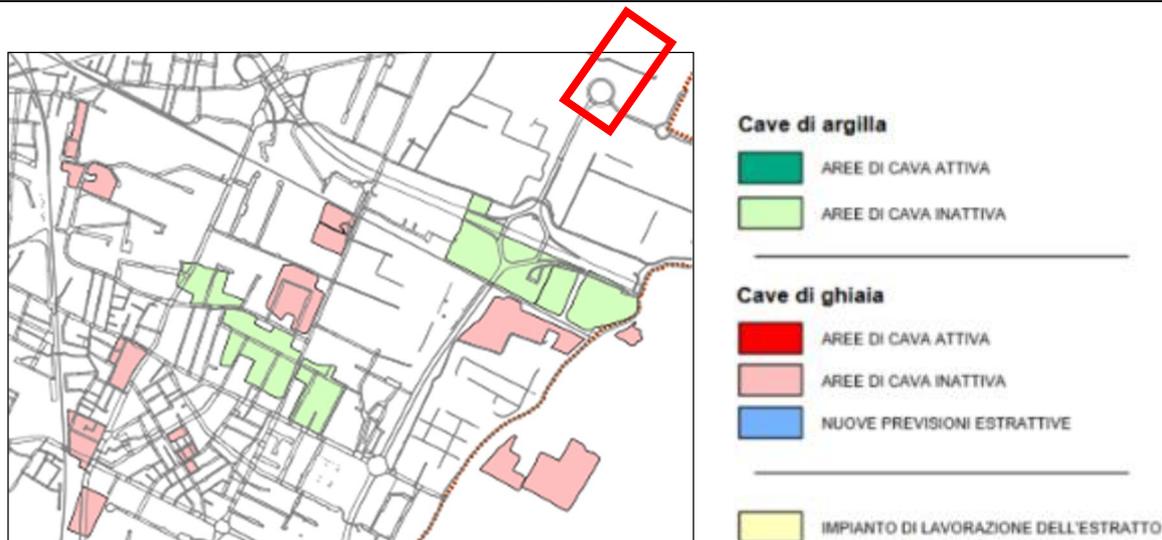


Fig.9 - Carta delle attività estrattive storiche a est-sud/est di Bologna (da PAE 2007 modif.). In rosso l'area di intervento.

Storicamente ed attualmente non risultano presenti aree riconducibili ad attività estrattive nell'ambito del presente intervento.

6.4 GEOMORFOLOGIA DELL'AREA DI INTERVENTO

Questo capitolo tratta la descrizione geomorfologica dei macroelementi individuati lungo il tracciato oggetto di studio, nonché la loro mutua interazione con l'opera in progetto.

L'area d'interesse è ubicata in una fascia di territorio che ricade all'interno degli ambiti amministrativi del comune di Bologna e del comune di Castenaso, nell'alta pianura Bolognese, sulla sinistra idrografica del torrente Idice. Il territorio, collocato lungo il fondovalle del torrente Savena, è sub-pianeggiante e degradante da sud verso nord. Per quanto concerne l'altimetria, il tratto di studio è compreso fra le quote di circa 50 m s.l.m. a sud e di circa 44 m s.l.m. a nord (debole immersione verso nord e nord-est con inclinazioni inferiori all'1%).

Gli agenti morfogenetici principali sono rappresentati dai corsi d'acqua e da interventi antropici che hanno influenzato notevolmente l'evoluzione della dinamica fluviale. Per quanto attiene ai processi naturali legati ai corsi d'acqua Savena e Idice, la sedimentazione prevale rispetto all'erosione. Le scarpate di terrazzo alluvionale si riducono rispetto all'area pedecollinare e compaiono le arginature (sia naturali sia artificiali) lungo i corsi d'acqua che, specie nei tratti più a nord, possono scorrere anche a quote più elevate rispetto alla circostante pianura, risultando pensili.

Gli elementi geomorfologici riscontrabili sono ascrivibili ad ambienti di deposizione alluvionale di conoide, di piana alluvionale e, localmente, di terrazzo alluvionale.

L'acquisizione dei dati morfologici di pianura (avvenuta prevalentemente dagli strumenti di pianificazione urbanistica e territoriale a scala locale (Piano Strutturale Comunale PSC) e di area vasta (Piano Territoriale Metropolitan PTM) ha consentito la redazione di una Planimetria Geomorfologica in scala 1:5000, contenente gli elementi geomorfologici salienti, quali ad esempio l'estensione della conoide del Savena, lo sviluppo di un dosso fluviale connesso all'attività deposizionale del torrente stesso, nonché il reticolo idrografico con scolicanali, la presenza di uno specchio d'acqua artificiale e di una vecchia area di macero.

7 ANALISI DELLA CARTOGRAFIA PRODOTTA DAGLI ENTI

La pianificazione territoriale nelle aree degli interventi è guidata dalle norme dei seguenti Piani vigenti:

- Piano di Assetto Idrogeologico (PAI)
- Piano Territoriale Metropolitan (PTM) attualmente in carico alla Città Metropolitana di Bologna
- Piano Strutturale (PSC) dei comuni interessato (Bologna e Castenaso).
- Piano di Coordinamento Gestione Rischi Alluvioni (PGRA)

7.1 PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI)

Il 17 febbraio 2017 è entrato in vigore il decreto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare n. 294 del 25 ottobre 2016 in materia di Autorità di Bacino Distrettuali, che disciplina l'attribuzione e il trasferimento della soppressa "Autorità di Bacino Interregionale del Fiume Reno" alla "Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po, alla quale vengono annessi la preesistente "Autorità di Bacino del Fiume Po" e i Bacini interregionali del Reno, del Fissero-Tartaro-Canal Bianco, del Conca-Marecchia e i Bacini Regionali Romagnoli (vedi Fig. 10).



Fig.10 – Distretti idrografici 2018 (in colore rosa il distretto del Fiume Po).

Il referente della pianificazione territoriale nei confronti della pericolosità idraulico-geologica per l'area di interesse rimane l'"Autorità di Bacino del Fiume Reno", che ha messo a punto i cosiddetti "Piani Stralcio di Assetto Idrogeologico" relativi al bacino idrografico di riferimento. Essi rappresentano, sostanzialmente, il risultato della modellazione geologica e idraulica.

Il Piano Stralcio dell'ex Autorità di Bacino del Fiume Reno si compone di n. 4 Piani Stralcio di Sottobacino la cui delimitazione è rappresentata nella seguente Fig. 11.

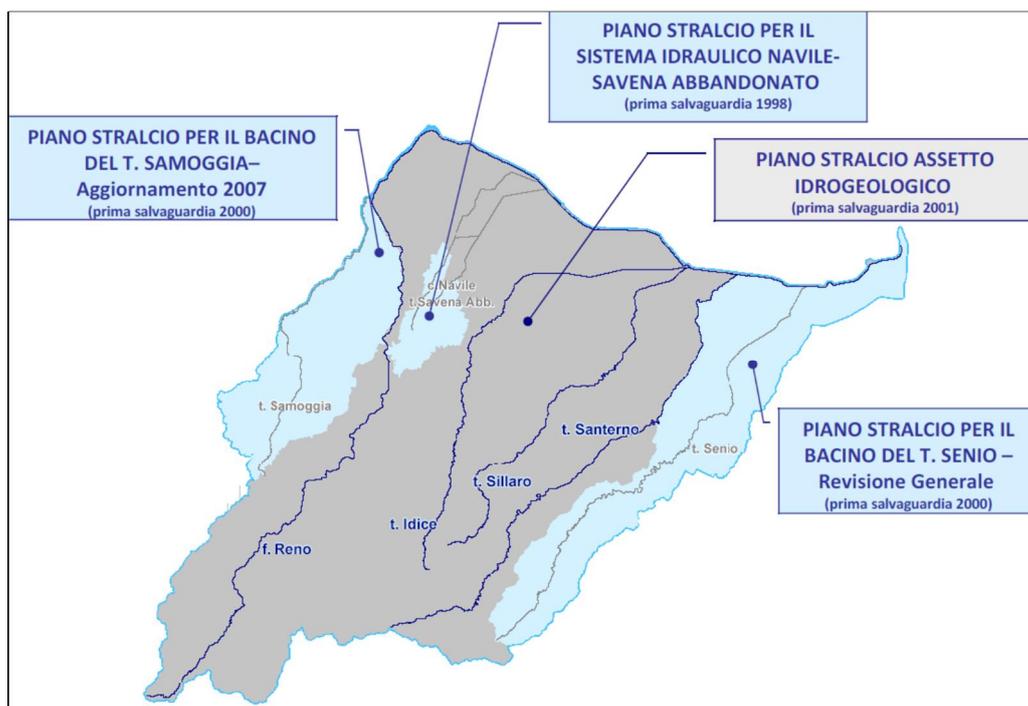


Fig.11 - Piani stralci vigenti nel bacino del F. Reno (modif. da Relazione PGRA)

Relativamente al suddetto piano, gli elementi principali per l'areale di interesse sono i seguenti:

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

7.2 PIANO TERRITORIALE METROPOLITANO (PTM)

Il Piano Territoriale Metropolitan è un nuovo strumento 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.

I vincoli che attengono alla "Tutela delle acque superficiali e sotterranee" indicano, a sud-ovest dell'area di progetto ed esternamente ad essa, una "Area di ricarica della falda di tipo B, caratterizzata da ricarica indiretta della falda: generalmente presenti tra la zona A e la pianura, idrogeologicamente identificabili come sistema debolmente compartimentato in cui alla falda freatica superficiale segue una falda semiconfinata in collegamento per drenanza verticale".

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 (scala 1:25.000)" in cui sono riportati in particolare gli scenari PSAI e PGRA.

7.3 PIANI STRUTTURALI COMUNALI (PSC)

In riferimento al PSC del Comune di Castenaso (in vigore dal 25 febbraio 2009, aggiorn. 08/05/2013) ed al PSC del Comune di Bologna (approvaz. 10/02/2020), si evidenziano i seguenti elementi (ripresi anche dai piani sopra menzionati):

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

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

Il PSC del Comune di Castenaso (elaborato "Tutela e Vincoli di natura storico culturale, paesaggistica e ambientale") individua nell'area di progetto un *Alveo Attivo* in corrispondenza del reticolo idrografico minore,

più precisamente lo scolo Zenetta, che interferisce con l'asse stradale di progetto alla progressiva km 1+900 c.a.

7.4 PIANO DI COORDINAMENTO GESTIONE RISCHI ALLUVIONI (PGRA)

La Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione del rischio di alluvioni, recepita nell'ordinamento italiano con il Decreto Legislativo 23 febbraio 2010 n. 49, in analogia a quanto predispone la Direttiva 2000/60/CE in materia di qualità delle acque, 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.

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

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

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

Relativamente a tale problematica, l'ARPA dell'Emilia Romagna (ARPAE), in collaborazione con l'Università di Bologna, a partire dal 1997 ha centralizzato l'insieme delle informazioni disponibili. Infatti sino ad allora lo studio della subsidenza era avvenuto, a partire dagli anni '60, ad opera di vari Enti che avevano istituito e gestito, in epoche diverse, apposite reti di livellazione in ambiti territoriali più o meno limitati. Tali iniziative, se efficaci a livello locale, mostravano invece i loro limiti se inserite in un contesto regionale, evidenziando lacune e disomogeneità tali da rendere spesso difficoltosa la definizione organica e univoca del fenomeno.

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

La rete, nel suo complesso, è stata misurata per la prima volta nel 1999. Il rilievo eseguito attraverso la 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 e appartenente alla rete di misurazioni 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÷1999, che costituisce il primo tentativo di restituire un quadro complessivo dei movimenti verticali del suolo sull'intera area di pianura della regione. Tale rappresentazione, tuttavia, è risultata inevitabilmente lacunosa, sia per l'aggiornamento dei dati sia per la spiccata disomogeneità, quest'ultima dovuta alla diversa copertura spaziale e temporale dei dati stessi. In virtù di tale carenza, le velocità di movimento acquisite sono state riferite a periodi diversi a seconda delle linee di livellazione, è cioè al periodo più lungo 1970÷1999 e a quello più breve 1993÷1999.

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

Nel biennio 2005÷2007, ARPAE ha realizzato l'aggiornamento delle conoscenze geometriche relative al fenomeno della subsidenza, tramite l'interazione delle seguenti 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 (ca. 11.000 km²).

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

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

Accedendo al sito on-line dell'ARPAE è possibile visionare ad una scala di maggior dettaglio le isocinetiche e relativa legenda riferibili al periodo 2006-2011, con particolare riferimento all'areale del tracciato in esame (fig. 12):

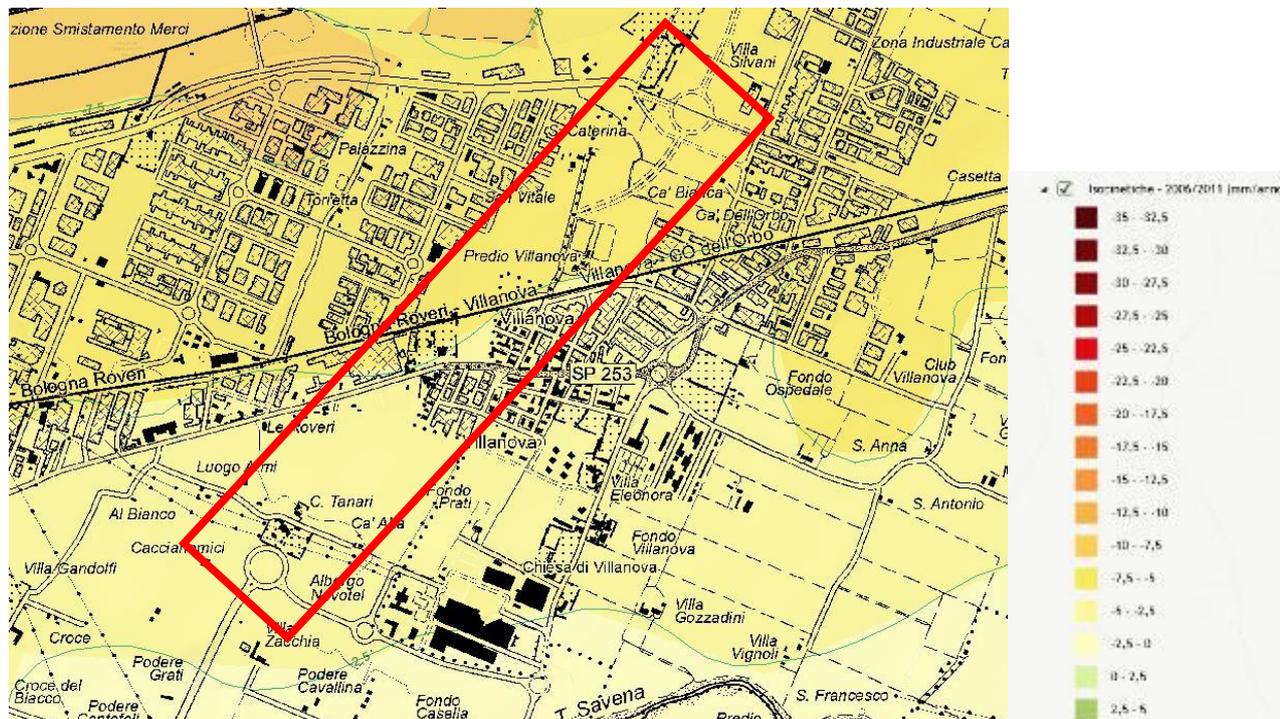


Fig. 12 - Isocinetiche relative al periodo 2006-2011 e legenda. In rosso l'area di intervento.

In sintesi si può osservare che la subsidenza inerente il periodo 2006-2011 per l'area di intervento presenta valori compresa tra -7,5 e -5mm/anno nel tratto nord (tra rotonda esistente e ferrovia) e valori compresi tra -5 e -2,5mm/anno nel tratto sud (tra ferrovia e rotonda esistente):

Accedendo al sito online dell'ARPAE è possibile visionare la cartografia più recente inerente il periodo 2011-2016, con particolare riferimento all'areale del tracciato in esame (fig. 13):

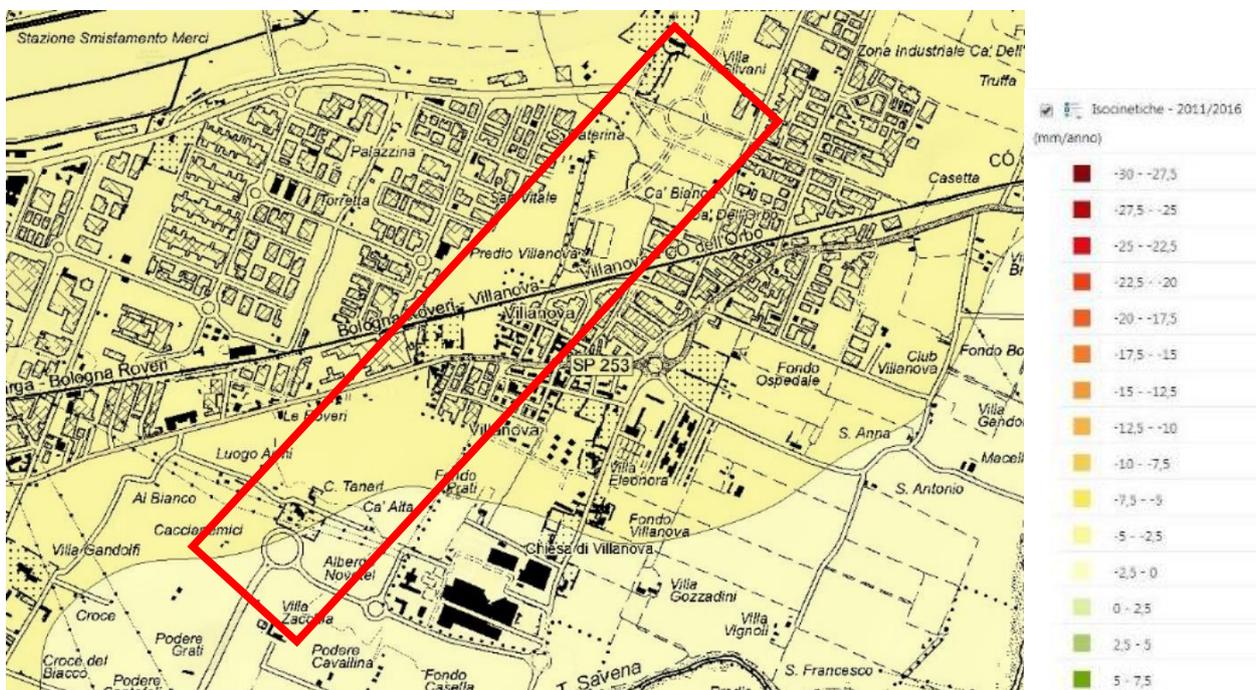


Fig. 13 - Isocinetiche relative al periodo 2011-2016 e legenda. In rosso l'area di intervento.

In sintesi si può osservare che la subsidenza inerente il periodo 2011-2016 per l'area di intervento presenta valori compresa tra -5 e -2,5mm/anno praticamente per tutto il tratto di progetto.

Dal confronto tra i due studi (periodo 2006-2011 e periodo 2011-2016), si evince che in Emilia Romagna l'abbassamento del terreno ha visto negli ultimi anni una forte riduzione, difatti l'analisi ARPA mostra che il 18% del territorio di pianura studiato presenta una riduzione del fenomeno di subsidenza.

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. 14 e 15, tratte dal sito del Ministero dello Sviluppo Economico e aggiornate al Dicembre 2017.

Considerato che in letteratura risulta che sono stati registrati casi di rinvenimento di gas nelle sabbie a modesta profondità, non si può escludere che vi siano accumuli di gas in livelli localizzati del sottosuolo e potenzialmente interferenti con le opere di fondazione del presente progetto: tale evenienza, potrebbe essere connessa alla presenza di materiale organico accumulatosi anche nei livelli più superficiali dei sedimenti.

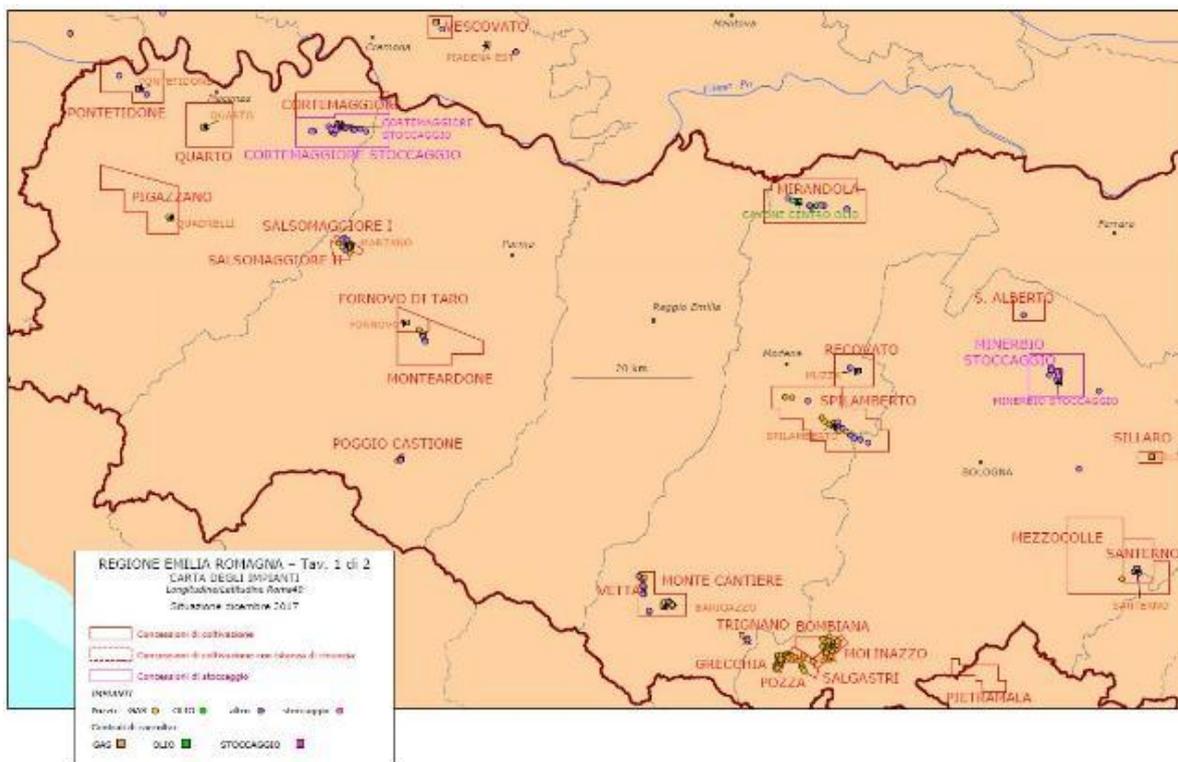


Fig. 14 - Carta impianti olio-gas (<http://unmig.sviluppoeconomico.gov.it/dgrme/dgrme.asp>)

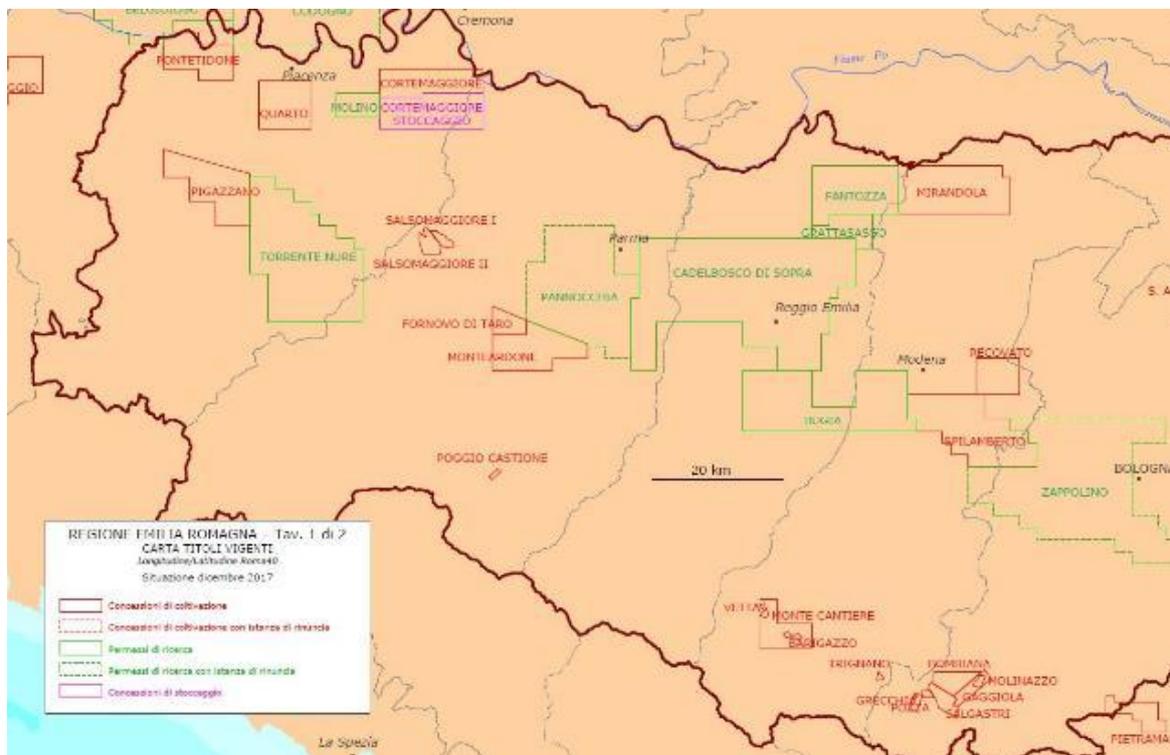


Fig. 15- Carta titoli minerari vigenti (<http://unmig.sviluppoeconomico.gov.it/dgrme/dgrme.asp>)

8.3 FENOMENI GEOLOGICI PARTICOLARI

Nel Geoportale della Regione Emilia Romagna sono raccolte le segnalazioni di fenomeni geologici particolari, quali fuoriuscite di gas da pozzi per acqua e/o dal terreno (Fig. 16).

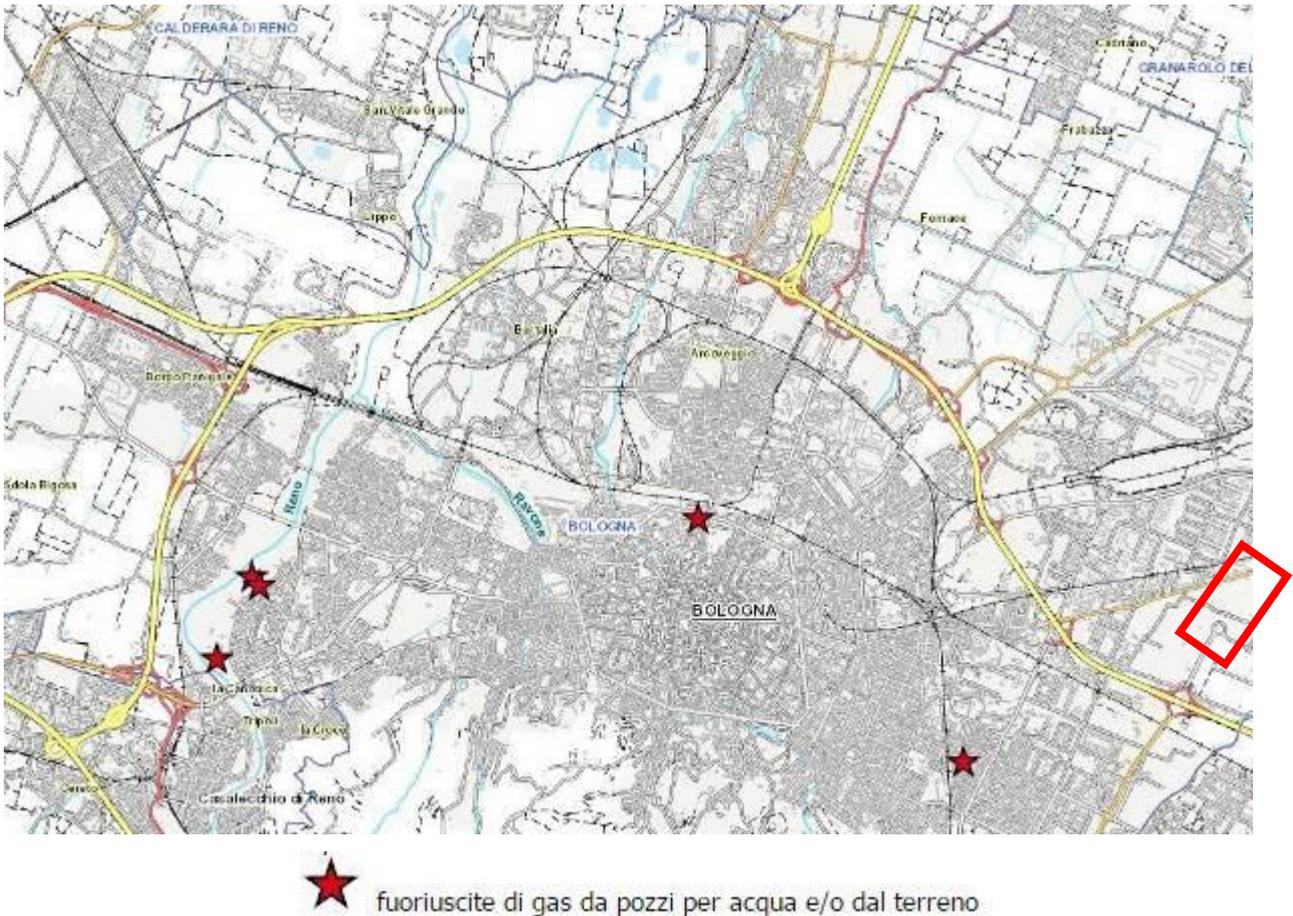


Fig. 16 – Fuoriuscite di gas da pozzi per acqua e/o dal terreno (da Geoportale RER). In rosso l'area di intervento.

8.4 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 suffosione verticale in relazione all'emungimento idropotabile (Lugo Hubp et al., 1999);
- Ø suffosione laterale legata alla incisione delle aste fluviali (Berry, 1970).

Come evidenziato nella figura seguente, a sud dell'area di interesse (Parco dei Gessi Bolognesi) l'APAT evidenzia alcuni fenomeni di questa natura:

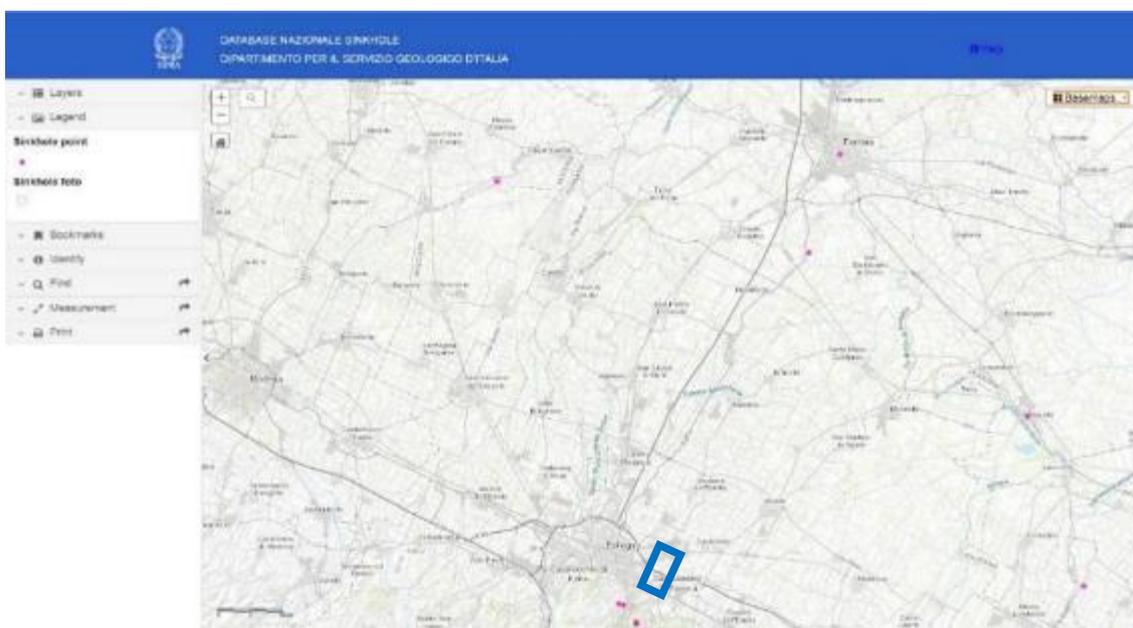


Fig. 17a - Distribuzione dei sinkhole (punti rosa) nell'intorno dell'area di interesse (in colore blu) - APAT - <http://sgi.isprambiente.it/sinkholeweb/viewer/index.html>

Una recente pubblicazione ("*I sinkhole in pianura padana*", 2008) evidenzia fenomeni di questa natura più a ovest dell'area di intervento, nel comune di Sala Bolognese (fig. 17b):



Fig. 17b - 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 VINCOLI E PERICOLOSITÀ IDRAULICA DELL'AREA DI INTERVENTO

La Planimetria dei Vincoli e della pericolosità idraulica inserita nel presente progetto è stata redatta utilizzando dati cartografici disponibili on-line ed elaborati dagli Enti Pubblici competenti (si veda il cap. 7).

I principali elementi di vincolo presenti nell'area di interesse sono l'alveo attivo (da P.A.I./P.S.C.), la zona di rispetto di 150m dalle acque pubbliche (da P.T.P.R.) ed alcuni beni architettonici (da P.I.A.E./P.T.M.).

Relativamente alla pericolosità idraulica, si segnalano interferenze tra il nuovo tracciato in progetto e l'area soggetta a pericolosità idraulica media (P2) nell'ambito del P.G.R.A. (fig. 18)

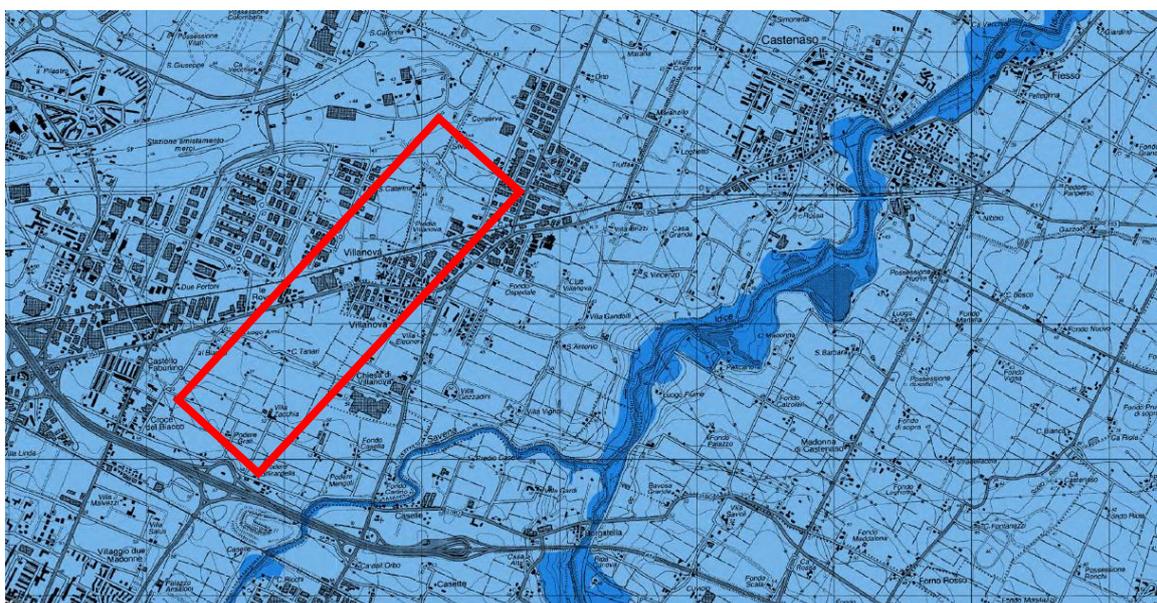


Fig. 18 – Passante di Bologna: attraversamento del F. Reno (modif. Planimetria dei Vincoli dei Vincoli e della Pericolosità idraulica). In rosso l'area d'intervento.

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. 19).

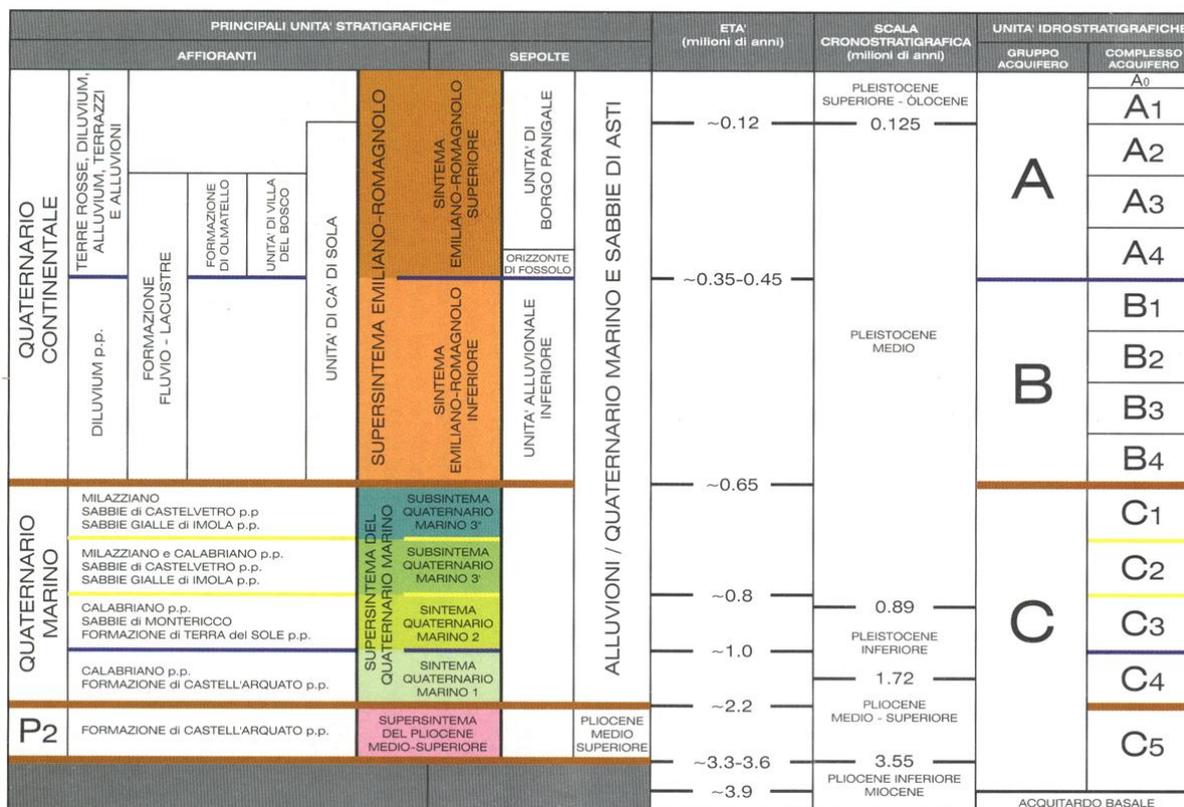


Fig. 19 - Inquadramento geologico - stratigrafico ed idrostratigrafico della pianura Emiliano - Romagnola e del Margine Appenninico Padano (da Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna).

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. 20 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.

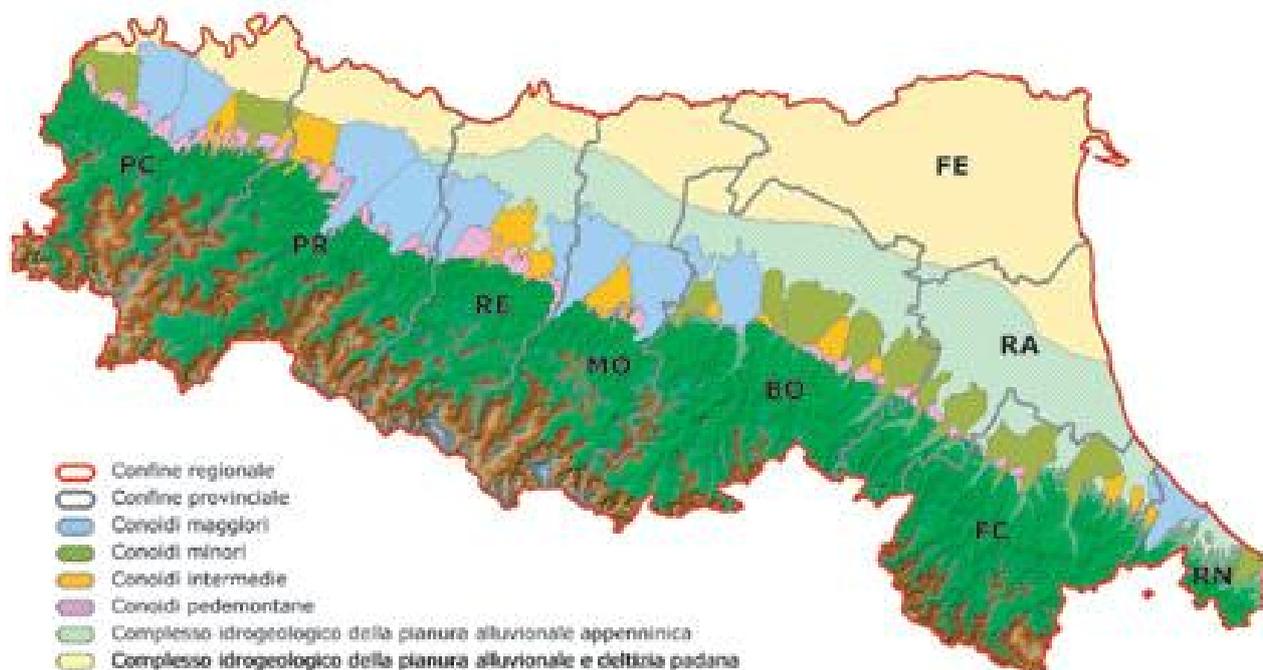


Fig. 20 - Distribuzione delle conoidi e dei complessi idrogeologici all'interno del gruppo acquifero A.

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. 21 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.

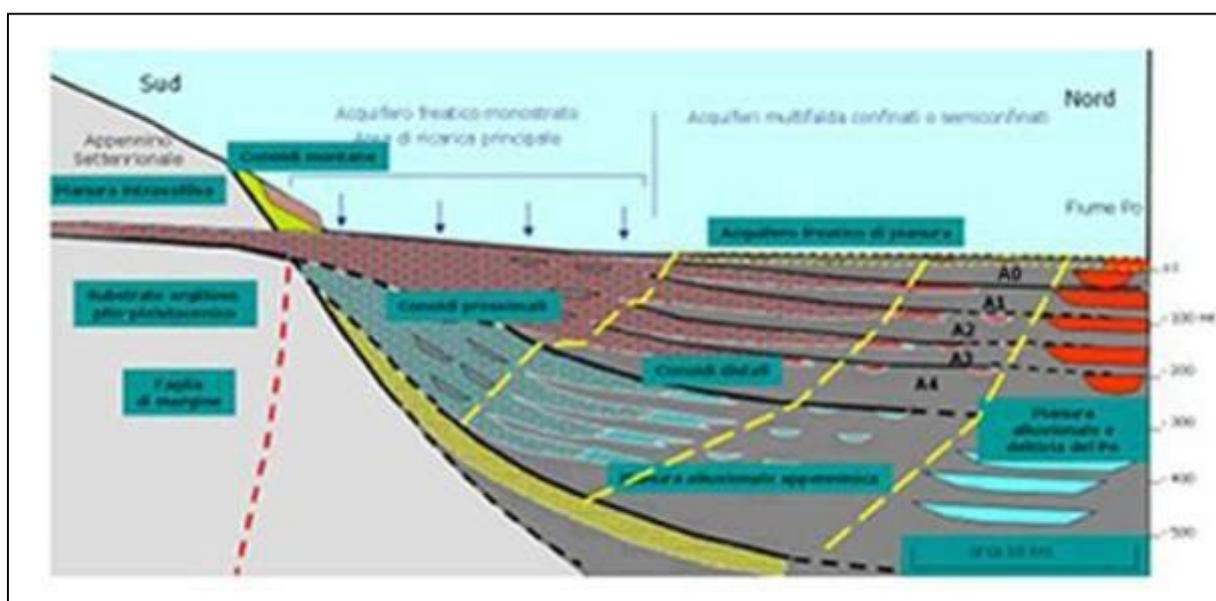


Fig. 21 – Schema della struttura dei Complessi Acquiferi della Pianura Emiliano-Romagnola.

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. 22 e 23).

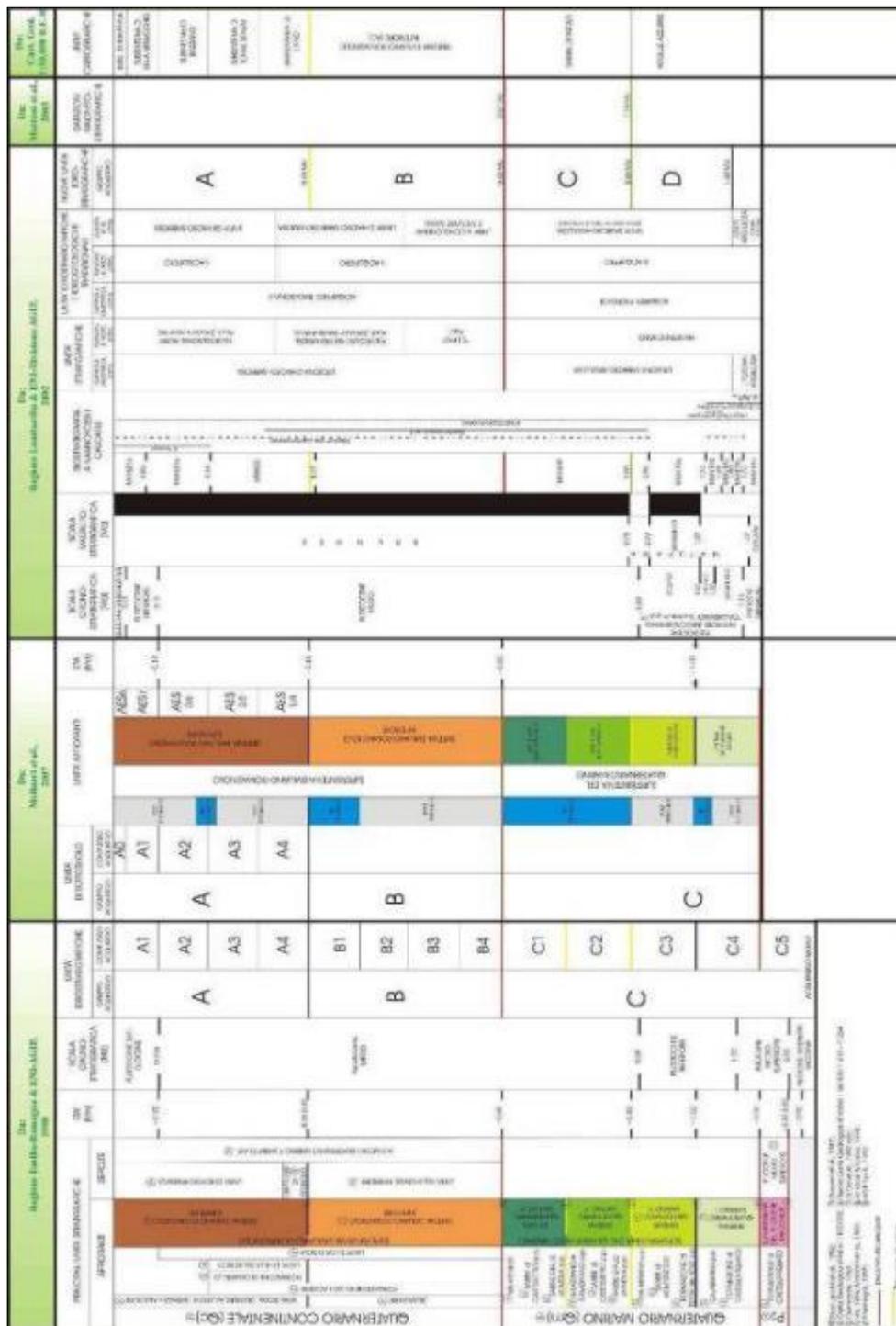


Fig. 22 - Quadro sinottico delle unità stratigrafiche del sottosuolo padano.

Ricci Lucchi et al. (1982)	Di Dio et al. (1997)	RER & ENI-AGIP (1998) RL & ENI-Div. AGIP (2002) Molinari et al. (2007)	Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000	
QUATERNARIO CONTINENTALE (QC)	SUPERSISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO	GRUPPO ACQUIFERO A	COMPLESSI ACQUIFERI	
			A0	UNITA' STRATIGRAFICHE Subsistema di Ravenna
			A1	Subsistema di Villa Verucchio
			A2	Subsistema di Bazzano
			A3	Subsistema di Torre Stagni
	A4	Subsistema di Liano		
	GRUPPO ACQUIFERO B	SISTEMA E-R INFERIORE	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. 23 - Corrispondenza tra Gruppo Acquifero e unita stratigrafiche.

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

Il Subsistema di Ravenna ("AES8") 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 Savena appartiene alla falda superficiale di Bologna che assieme a quella profonda costituisce il sistema idrogeologico dell'area di margine appenninico.

Tale conoide è costituito da depositi ghiaiosi e suoli mediamente permeabili a seconda della granulometria. La suddetta zona di conoide costituisce dunque area di ricarica temporanea o stagionale, per infiltrazione di acque superficiali nei depositi profondi.

La falda è captata tramite i pozzi delle principali centrali acquedottistiche (Fossolo per il Savena), per cui risente notevolmente degli emungimenti come, del resto, 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 centrali di pompaggio; le zone di ricarica degli acquiferi coincidono con i settori di apice delle conoidi e con le dispersioni in alveo da parte dei corsi d'acqua.

Per informazioni dettagliate di natura idrogeologica riguardanti l'area di intervento, si rimanda agli specifici elaborati allegati al presente progetto. Si anticipa comunque la presenza di una falda freatica contraddistinta da oscillazioni stagionali sufficienti a farla interferire con le opere. Si segnala infine che un'eventuale variazione del regime di sfruttamento degli acquiferi (diminuzione dei pompaggi) potrebbe ridurre ulteriormente le soggiacenze.

11 CARTOGRAFIA TEMATICA

Si fa qui specifico riferimento ai documenti di sintesi a tema geologico-geomorfologico allegati al presente progetto ed in particolare a:

- Ø "Planimetria Geologica" (scala 1:5.000) con "Profilo Geologico Longitudinale" (scala 1:5000/500) eseguito in asse tracciato;
- Ø "Planimetria Geomorfologica" (scala 1:5.000);
- Ø "Planimetria dei Vincoli e della Pericolosità Idraulica" (scala 1:5.000).

11.1 PLANIMETRIA GEOLOGICA CON PROFILO GEOLOGICO LONGITUDINALE

Sono state qui rappresentate le successioni stratigrafiche e le distinzioni granulometriche dei terreni superficiali così come desunte dalla letteratura e dalle risultanze delle indagini geognostiche. Inoltre sono stati riportati il reticolo idrografico con scoli/canali, l'insieme dei corpi antropici, i laghi e specchi d'acqua artificiali, una vecchia area di macero e l'ubicazione delle indagini geognostiche.

Al fine di evidenziare le caratteristiche litostratigrafiche dei terreni afferenti all'area oggetto di studio è stato altresì redatto un profilo geologico longitudinale lungo l'intero tracciato di progetto, nell'ambito del quale sono state distinte le seguenti 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 frazione fine variabile)
- Ø ghiaie, ghiaie sabbiose, sabbie ghiaiose (terreni prettamente granulari)

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.

Un elemento tipico di questo ambiente di sedimentazione è rappresentato dalla diffusa e repentina variabilità litologica, sia in senso verticale che orizzontale, dovuta al continuo succedersi degli eventi alluvionali. Pertanto, a causa della natura fortemente eteropica dei contatti, la forma e l'estensione dei corpi riportati nel profilo devono essere assunte come verosimili ma comunque indicative.

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

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

Con particolare riferimento al limite inferiore dell'Unità di Modena AES8a, esso viene definito dal CARG come una superficie di erosione fluviale correlata ad un suolo non calcareo (o scarsamente calcareo) contenente resti di epoca romana (datazione archeologica), pertanto la differenziazione su base pedologica ed archeologica con il sottostante 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), pertanto non correlabili direttamente con variazioni delle caratteristiche litotecniche riscontrabili a profondità maggiori. Per questi motivi non si è ritenuto opportuno evidenziare tale differenziazione nell'ambito del profilo geologico di progetto ma si è riportata una distinzione tra corpi a diversa granulometria, aspetto che assume grande importanza dal punto di vista geotecnico.

Nello stesso profilo geologico è inoltre riportata una possibile interpretazione dei limiti tra i subsistemi AES8, AES7 ed AES6 (si rammenta che i subsistemi sono unità stratigrafiche delimitate da superfici di discontinuità - U.B.S.U.); Il passaggio da un subsistema a un altro è senz'altro presunto ed è stato ipotizzato tenendo conto delle sezioni bibliografiche del progetto CARG, oltre che delle risultanze della campagna geognostica, con particolare riferimento ai livelli torbosi/carboniosi, 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 eseguiti, sulle datazioni al carbonio 14 e sull'analisi dei pollini imprigionati nei sedimenti. Tutto ciò si è reso necessario perché esistono orizzonti simili al marker disposti anche a livelli stratigrafici differenti.

Negli elaborati geologici sono infine riportati i principali riporti antropici.

11.2 PLANIMETRIA GEOMORFOLOGICA

Per quanto attiene alla cartografia geomorfologica, sono stati riportati gli elementi di seguito descritti:

Ø Forme naturali dovute a processi fluviali, quali:

- l'idrografia e gli scoli/canali;
- i dossi fluviali (da P.S.C. Bologna);
- i conoidi alluvionali (da P.S.C. Bologna).

Ø Forme di origine antropica, quali:

- rilevati antropici principali (stradali, ferroviari e per la riduzione dell'impatto acustico);
- aree urbanizzate (da Città metropolitana di Bologna);
- laghi e specchi d'acqua artificiali ed aree di macero.

11.3 PLANIMETRIA DEI VINCOLI DA P.A.I. E DELLA PERICOLOSITÀ' IDRAULICA DA P.G.R.A.

La Planimetria dei Vincoli e della Pericolosità Idraulica è stata redatta utilizzando dati acquisiti in rete presso i siti on-line degli Enti Pubblici competenti descritti in precedenza. I documenti consultati sono stati il Piano

Stralcio di Assetto Idrogeologico (PSAI), il Piano Territoriale Metropolitan (PTM), il Piano Strutturale Comunale (PSC) e il Piano Coordinamento Gestione Rischi Alluvioni (PGRA).

Sono stati riportati i seguenti elementi:

- alveo attivo (da P.A.I./P.S.C.);
- zona di rispetto di 150m dalle acque pubbliche (da P.T.P.R.);
- vincoli beni architettonici (da P.I.A.E./P.T.M)

Tali dati sono stati implementati con gli scenari di Pericolosità Idraulica del reticolo naturale principale definiti nel P.G.R.A.:

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

12 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., Lollì B., Gasperini P. (eds), 2016. CPT15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia: <https://emidius.mi.ingv.it/CPT15-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 Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia: <https://emidius.mi.ingv.it/CPT15-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).

12.1 SISMICITÀ STORICA

Con riferimento all'analisi della sismica storica sono stati esaminati i dati riportati nel database DMI 2015, che contiene 86.071 MDP (Macroseismic Data Points) relativi a 1.684 terremoti il cui epicentro ricade all'interno dell'area CPT15 (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 riportano di seguito alcune tabelle inerenti le intensità macrosismiche registrate dal 1174 al 2011 relativamente al Comune di Bologna ed dal 1878 al 1987 relativamente al Comune di Castenaso.

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 $m(M_w)$.

Inoltre per lo stesso periodo è riportato il grafico rappresentativo dei terremoti storici del Comune di Bologna (Fig. 24) e del Comune di Castenaso (Fig. 25), dove 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	Riminese	92	8	5.59
6	1688 04 11 12 20	Romagna	39	8-9	5.84
5	1695 02 25 05 30	Asolano	107	10	6.4
F	1703 01 14 18	Valnerina	197	11	6.92
F	1719 01 07	Italia nord-orientale	11	5-6	4.94
4	1725 10 29 17 40	Appennino tosco-emiliano	28	8	5.67
4	1727 03 09 11	Mugello	6	6-7	4.93
4-5	1728 02 04 03	Bolognese	2	5-6	4.4
5-6	1739 07 31 11	Bologna	1	5-6	4.4
3	1740 03 06 05 40	Garfagnana	32	8	5.64
6	1779 06 01 23 55	Bolognese	8		
6	1779 06 02 07 30	Bolognese	3		

7	1779 06 04 07	Bolognese	12	7	5.22
6-7	1779 06 10 08 35	Bolognese	10		
7	1779 07 14 19 30	Bolognese	17		
5	1779 08 20 10 50	Bolognese	2	5	4.16
6	1779 11 23 18 30	Bolognese	14	5	4.7
6-7	1780 02 06 04	Bolognese	9	6-7	5.06
4	1780 09 22 13 45	Forlivese	3	4-5	3.93
4	1781 04 04 21 20	Faentino	96	9-10	6.12
3	1781 07 17 09 40	Faentino	46	8	5.61
4-5	1786 12 25 01	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
3	1885 12 29	Alpago Cansiglio	47	6	4.96
F	1887 02 23 05 21 50.00	Liguria occidentale	1511	9	6.27
NF	1887 11 14 05 48 05.00	Fiorentino	101	6	4.47

6	1889 03 08 02 57 04.00	Bolognese	38	5	4.53
3	1889 12 08	Gargano	122	7	5.47
NF	1890 03 26 20 10	Bellunese	48	6	4.82
3	1891 06 07 01 06 14.00	Valle d'Ilasi	403	8-9	5.87
NF	1891 08 01 13 32 22.00	Lugo	15	4-5	4.36
2-3	1892 08 09 07 58	Valle d'Alpone	160	6-7	4.91
NF	1892 12 29 13 47 48.00	Castel del Rio	36	5-6	4.37
2	1894 02 09 12 48 05.00	Valle d'Ilasi	116	6	4.74
3	1894 11 27 05 07	Bresciano	183	6	4.89
NF	1895 03 23	Comacchio	33	6	4.65
4	1895 05 18 19 55 12.00	Fiorentino	401	8	5.5
2-3	1895 08 07 19 49 32.00	Appennino tosco-emiliano	84	5	4.67
NF	1895 08 09 17 38 20.00	Adriatico centrale	103	6	5.11
NF	1896 07 08 01 51 28.00	Porretta Terme	17	5	4.37
3	1897 12 18 07 24 20.00	Alta Valtiberina	132	7	5.09
3	1898 01 16 13 10	Romagna settentrionale	110	6	4.59
4	1898 03 04 21 05	Parmense	313	7-8	5.37
3	1899 06 26 23 17 22.00	Valle del Bisenzio	138	7	5.02
3	1901 10 30 14 49 58.00	Garda occidentale	289	7-8	5.44
NF	1902 12 04 16 35 01.00	Lunigiana	36	5	4.35
3	1904 02 25 18 47 50.00	Reggiano	62	6	4.81
3	1904 06 10 11 15 28.00	Frignano	101	6	4.82
NF	1904 11 17 05 02	Pistoiese	204	7	5.1
3-4	1908 06 02 22 30	Frignano	18	4-5	4.5
6	1909 01 13 00 45	Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36
3	1911 02 19 07 18 30.00	Forlivese	181	7	5.26
NF	1911 09 13 22 29 02.00	Chianti	115	7	5.08
3	1913 07 21 22 35	Appennino romagnolo	43	5-6	4.79
5	1914 10 27 09 22	Lucchesia	660	7	5.63
3	1915 01 13 06 52 43.00	Marsica	1041	11	7.08
5	1916 05 17 12 50	Riminese	132	8	5.82
5	1916 08 16 07 06 14.00	Riminese	257	8	5.82
2	1918 05 06 08 05	Reggiano	8	5-6	4.41
4-5	1918 11 10 15 12 28.00	Appennino forlivese	187	9	5.96
4-5	1919 06 29 15 06 13.00	Mugello	565	10	6.38
5	1920 09 07 05 55 40.00	Garfagnana	750	10	6.53
NF	1920 10 06 22 47	Mantovano	19	4-5	4.14
3	1922 05 24 21 17 25.00	Ferrarese	7	4	3.7
3-4	1926 01 01 18 04 03.00	Carniola interna	63	7-8	5.72
6	1929 04 10 05 44	Bolognese	87	6	5.05
4	1929 04 11 00 56	Bolognese	10	4	4.72
4	1929 04 12 00 32	Bolognese	7	4	4.82
5-6	1929 04 19 04 16	Bolognese	82	6-7	5.13
4	1929 04 19 22 40	Bolognese	12	5-6	4.54
5	1929 04 20 01 10	Bolognese	109	7	5.36
5	1929 04 22 08 26	Bolognese	41	6-7	5.1
5	1929 04 22 14 19	Bolognese	12	5-6	4.61
5	1929 04 28 19 40	Bolognese	20	6	4.73
5	1929 04 29 18 36	Bolognese	45	6	5.2
4	1929 05 01 21 13	Imolese	3	4	4.57
5	1929 05 11 19 23	Bolognese	64	6-7	5.29
2-3	1929 07 18 21 02	Mugello	56	6-7	4.96
3	1929 08 17 04 25	Bolognese	10	4-5	3.89
4	1930 10 24 00 52	Appennino tosco-emiliano	12	4	3.97
4	1930 10 26 07 14	Appennino tosco-emiliano	14	4	4.21

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

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

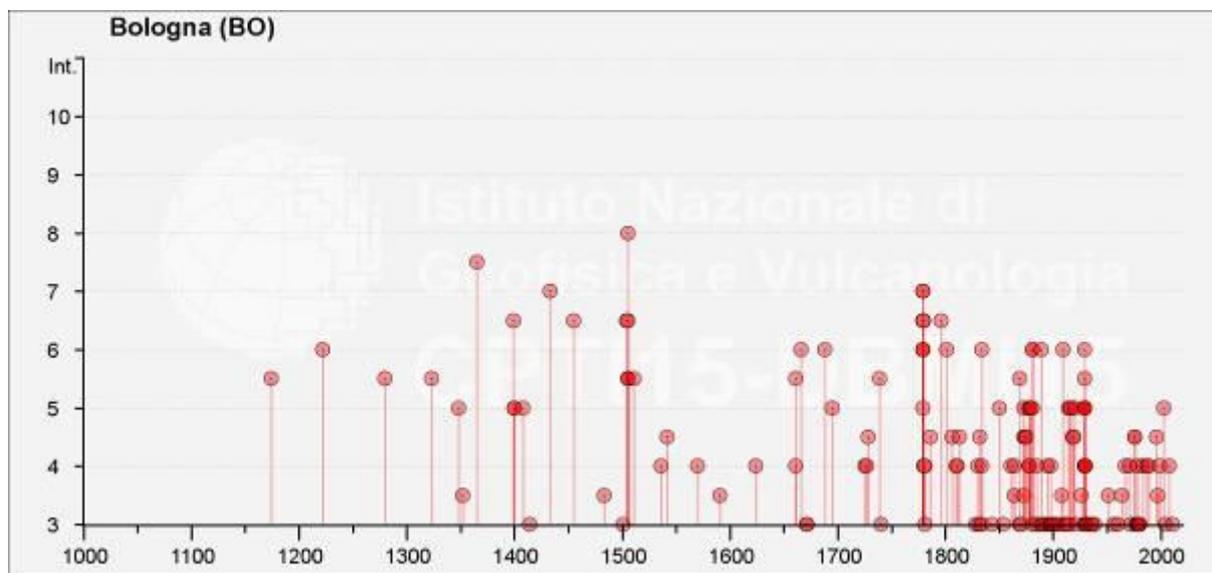


Fig. 24 - Intensità macrosismiche dal 1000 al 2005 nel Comune di Bologna

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

Seismic history of Castenaso

[44.508, 11.468]

Total number of earthquakes: 5

Is	Anno Me Gi Or	Area epicentrale	nP	Io	Mw
5	1878 03 12 21 26	Bolognese	27	6	4.83
5-6	1909 01 13 00 45	BASSA PADANA	799	6-7	5.53
5	1929 04 20 01 09 46	Bolognese	628	7	5.55
NF	1986 12 06 17 07 19	BONDENO	604	6	4.56
2-3	1987 05 02 20 43 53	REGGIANO	802	6	5.05

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

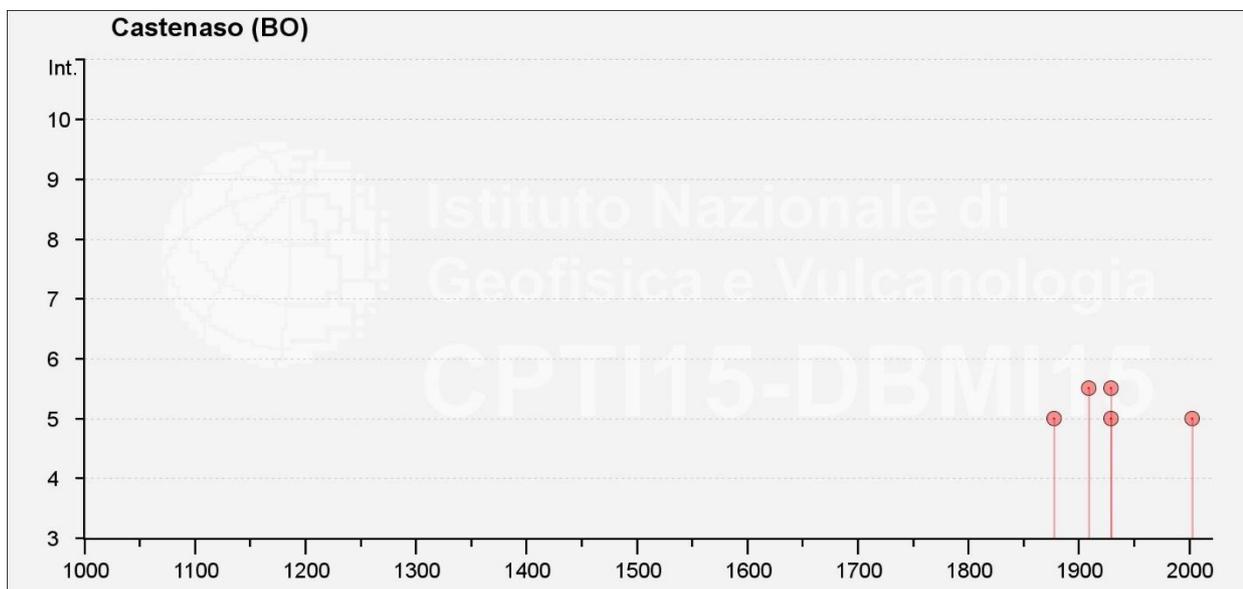
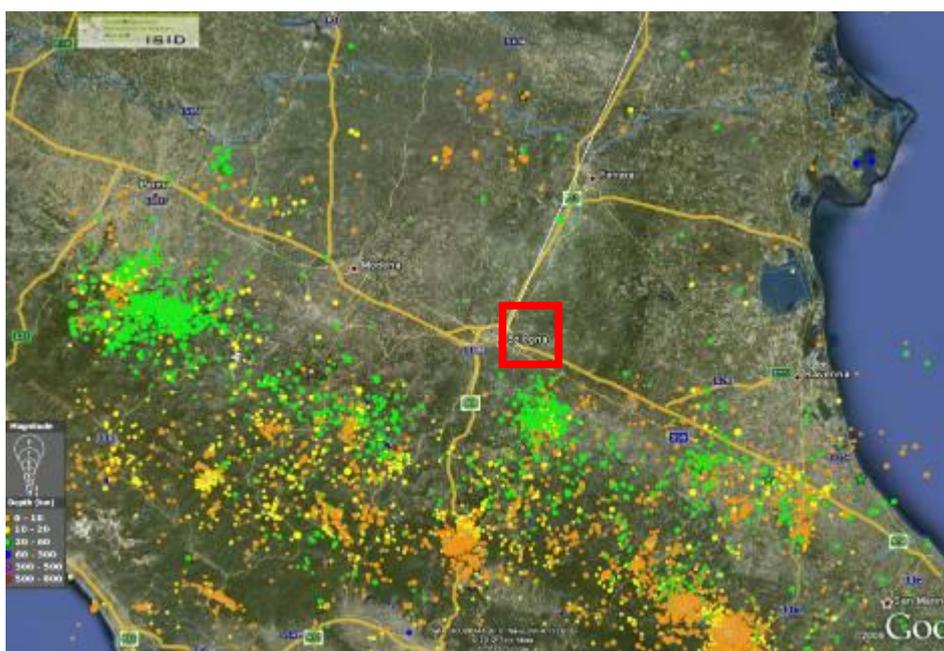


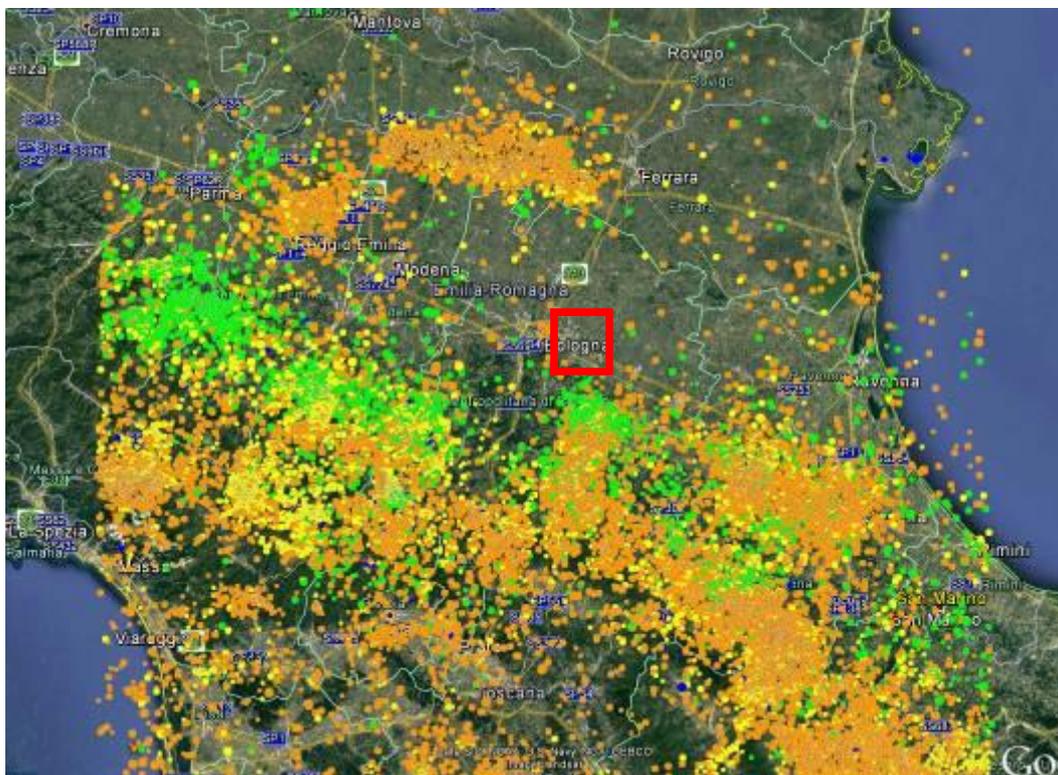
Fig. 25 - Intensità macrosismiche dal 1000 al 2005 nel Comune di Castenaso

Le intensità sismiche massime osservate per il Comune di Castenaso hanno raggiunto IS=7 per l'evento del 1929.

12.2 SISMICITÀ RECENTE

Per quanto concerne i sismi che hanno interessato l'area di Bologna dal 1985 al 12 gennaio 2022, i dati sono stati recuperati dal database ISIDE dell'INGV considerando un'area di raggio 100 km (che include le aree epicentrali dei terremoti più intensi di cui al paragrafo precedente) dal Comune di Bologna.





Depth (km)	Magnitude
0 - 10	☆ M ≥ 5.0
10 - 20	○ M < 5.0
20 - 60	○ M ≤ 4.0
60 - 300	○ M ≤ 3.0
300 - 500	○ M ≤ 2.0
500 - 800	○ M ≤ 1.0

Fig. 26a,b – Database ISIDE - periodo 1985-2021: raffronto tra la situazione antecedente (sopra) e successiva la sequenza sismica iniziata il 20 maggio 2012

Dallo stralcio di figura 26b si distinguono le seguenti aree sorgenti:

- lungo l'arco appenninico, dalla Lunigiana-Garfagnana al Mugello all'Alta Val Tiberina;
- lungo la fascia trasversale che va dall'Appennino bolognese alla costa adriatica.

È inoltre evidente come, con l'inizio della sequenza sismica iniziata il 20 maggio 2012, si sia creata una nuova area sorgente in corrispondenza dell'arco ferrarese romagnolo.

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.

Non risultano eventi segnalati in prossimità dell'area di intervento (Fig. 27):

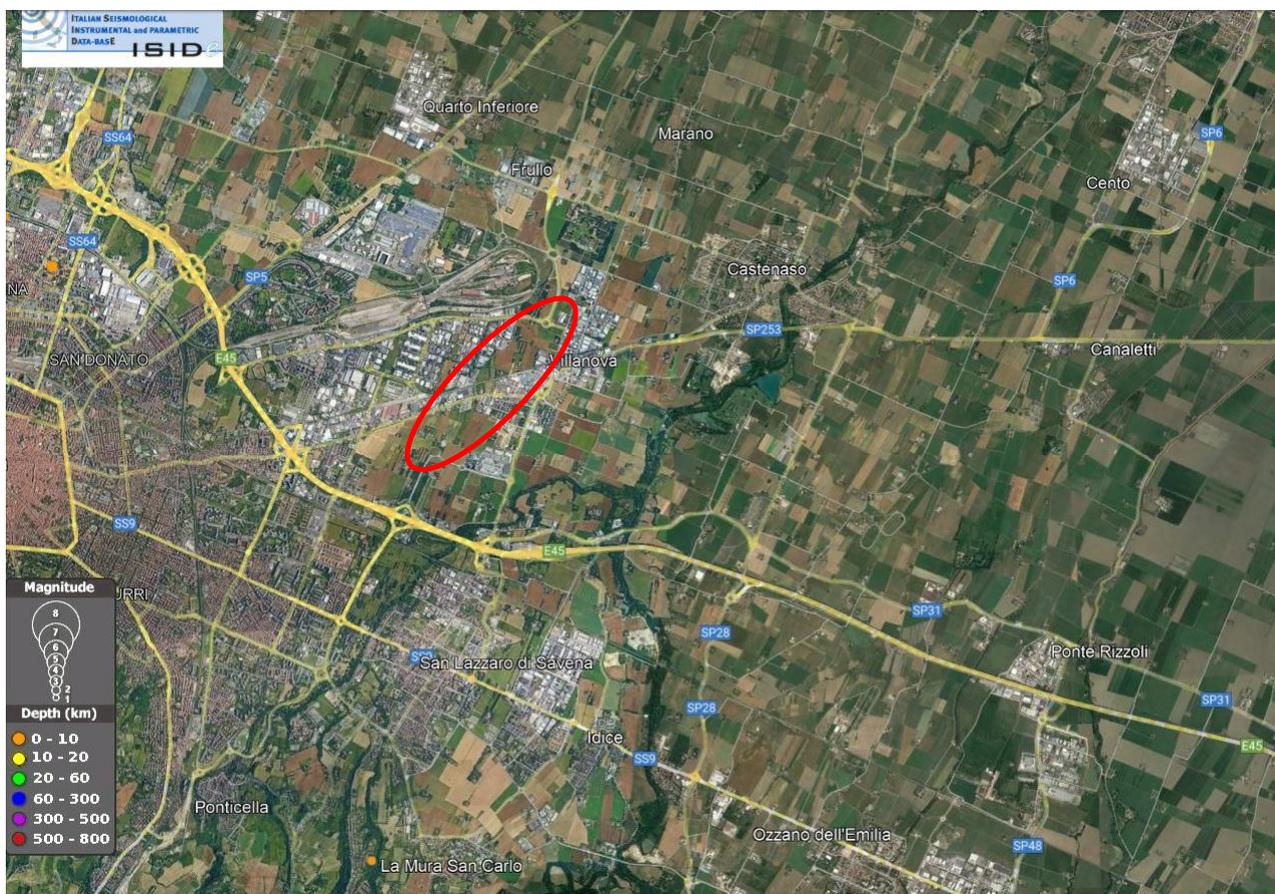


Fig. 27 - Database ISIDE: dettaglio distribuzione terremoti periodo 1985-2022 (in rosso l'area di intervento).

12.3 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://sgi2.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. 28 si riporta uno stralcio planimetrico della distribuzione delle faglie capaci desunta dal “Progetto ITHACA” relativamente all’area di interesse.

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

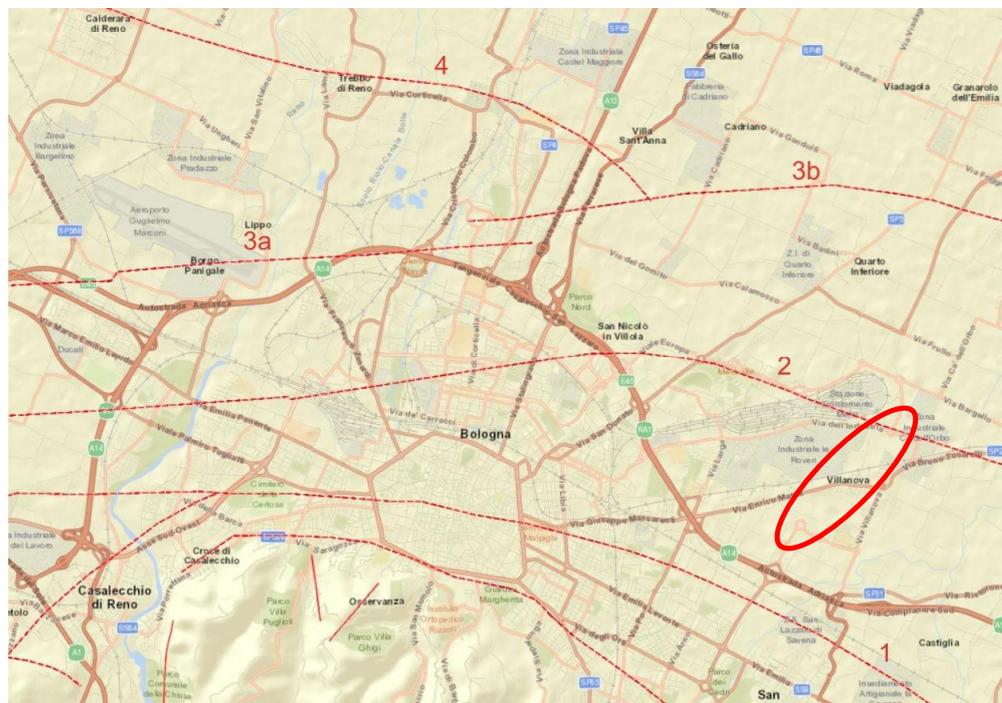


Fig. 28 - Distribuzione faglie capaci "Progetto ITHACA" (in rosso l'area di interesse)

Dalla figura precedente si evince l'interferenza della parte settentrionale del tracciato oggetto di intervento con una faglia capace, le cui principali caratteristiche vengono di seguito riassunte:

	2
FAULT NAME	S. Lazzaro - Bologna
FAULT CODE	90588
MACROZONE	3
REGION NAME	Emilia Romagna
SYSTEM NAME	Bologna arc
KINEMATICS	Reverse
RANK	Primary
AVERAGE STRIKE	150
DIP	-
LENGTH (Km)	19
DEPTH (Km)	0
ACTIVITY RELIABILITY	Low reliability
STUDY QUALITY	LOW
MAX CREDIBLE MAGNITUDE	6,6

12.4 STRUTTURE SIMOGENETICHE

Benché le moderne investigazioni della sismotettonica regionale siano iniziate più di 30 anni fa, la conoscenza delle sorgenti sismogenetiche è ancora incerta. Questo dipende soprattutto dal fatto che l'attività tettonica è collegata 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. 29 sono evidenziate in 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), mentre in rosso sono indicati i sistemi di faglia.

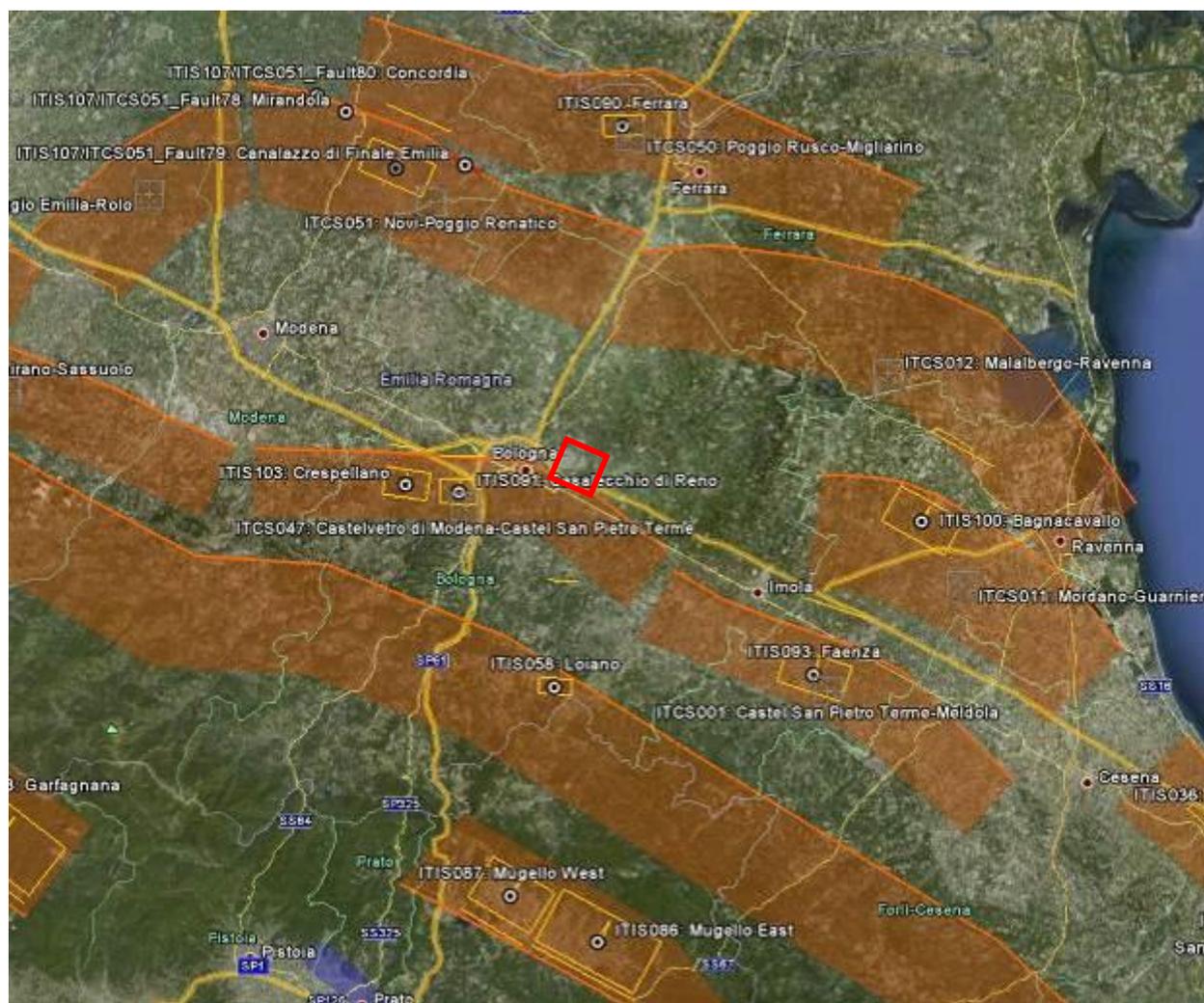


Fig. 29 - Mappa delle aree sismogenetiche di interesse - Database DISS3.

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 Seismogenetic Sources - DISS 3", si osserva che il tracciato in progetto ricade appena a nord di un'area sismogenetica composta denominata ITCS047 Castelvetro di Modena-Castel San Pietro Terme ed appena a Nord-Est delle sorgenti individuali ITIS103 "Crespellano" e ITIS091 "Casalecchio di Reno".

12.5 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≤ 0.25
Zona 3	I Comuni interessati in questa zona possono essere soggetti a scuotimenti modesti.	0.05 <ag≤ 0.15
Zona 4	E' la meno pericolosa. Nei comuni inseriti in questa zona le possibilità di danni sismici sono basse.	ag ≤ 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. 30).

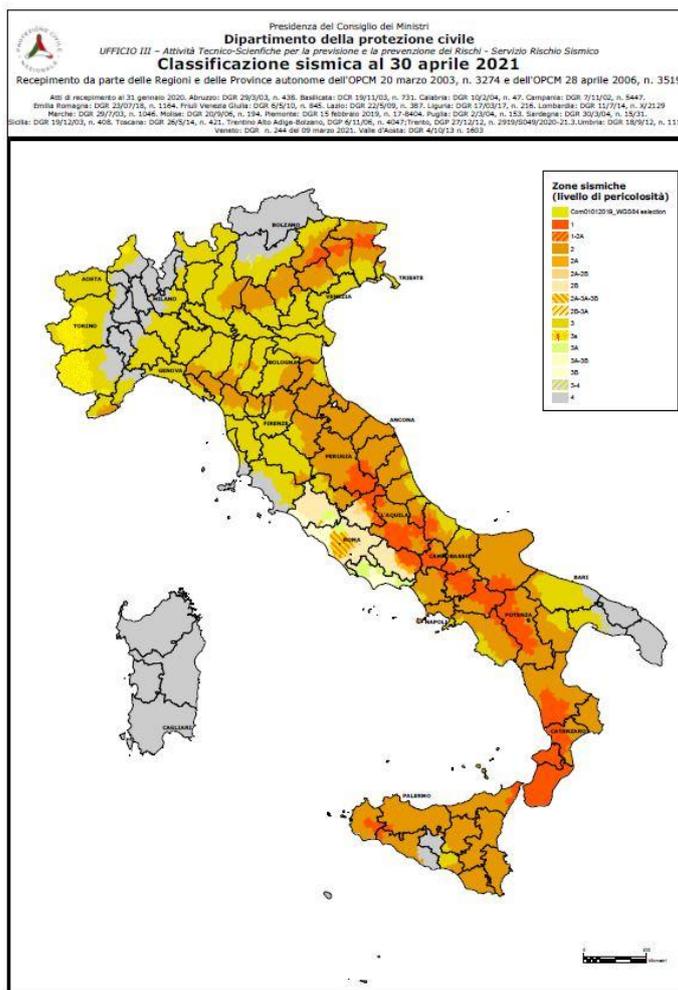


Fig. 30 - Classificazione Sismica ad Aprile 2021 (Fonte: Protezione Civile).

12.6 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. 31).

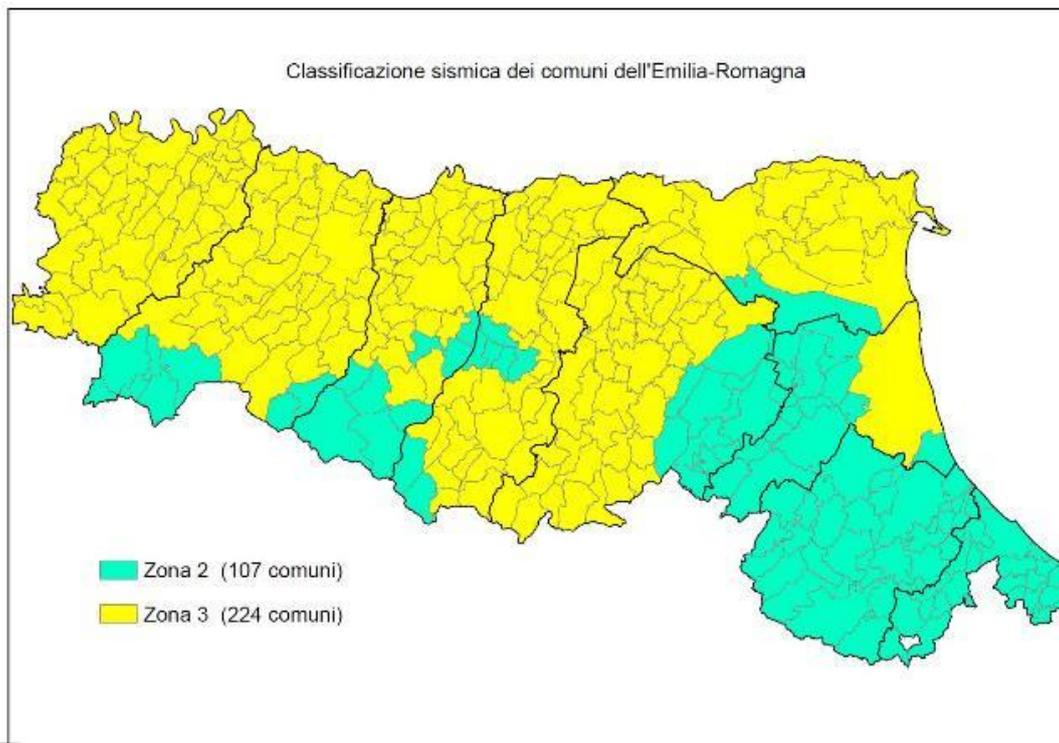


Fig. 31 - "Aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei comuni dell'Emilia-Romagna" – DGR n° 1164 del 23/07/2018

In conformità alla suddetta normativa, i territori comunali interessati dal progetto ricadono nelle seguenti zone sismiche:

Regione	Provincia	Codice Istat	Comune	Classificazione Aprile 2021
Emilia Romagna	Bologna	8037006	Bologna	3
Emilia Romagna	Bologna	8037021	Castenaso	3

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

12.7 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.

Per valutazioni specifiche sulla liquefazione inerente la tratta in oggetto si rimanda alla relazione geotecnica.

13 DESCRIZIONE GEOLOGICA-GEOMORFOLOGICA DEL TRACCIATO

Come già esposto in precedenza, i litotipi distinti nella sezione geologica allegata 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 eteropica 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 in progetto si sviluppa sui terreni afferenti al subsistema di Ravenna (AES8), qui caratterizzato da una alternanza di livelli fini limoso-argillosi e di sabbie con contenuto variabile di matrice coesiva. Tra gli 11 ed i 16m di profondità c.a. si ipotizza il passaggio al Subsistema di Villa Verucchio (AES7), caratterizzato dalla presenza al tetto di una bancata sabbioso-ghiaiosa di spessore variabile fra 2m e 8m, seguita verso il basso da lenti di sabbie-sabbie limose variamente intercalati in depositi compressibili. I depositi riconducibili ad AES7) risultano a loro volta sovrapposti al Subsistema di Bazzano (AES6): quest'ultimo passaggio viene ritenuto plausibile ad una profondità dell'ordine dei 40-45m di prof. dal p.c.

Procedendo da sud verso nord, in corrispondenza dell'attraversamento del viadotto Mattei (opera ingegneristica di maggiore rilevanza), l'ipotetico limite di Subsistema tra AES8 ed AES7 subisce un approfondimento, a vantaggio degli spessori dei depositi superficiali riconducibili all'unità AES8.

Inoltre, nell'area della spalla nord del viadotto si può notare la presenza, in profondità, di un ulteriore banco sabbioso-ghiaioso dello spessore di 4-5m c.a (sondaggio S3-DH).

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

Dal punto di vista geomorfologico il tracciato, da inizio intervento a c.a. pk 0+600, si sviluppa sul conoide alluvionale del Torrente Savena; inoltre si evidenzia la prossimità con una vecchia area adibita a macero (pk 1+300 c.a.) ed un laghetto artificiale, nonché l'interferenza con lo scolo/canale Zenetta, nei pressi della pk 1+900 c.a.

14 PRINCIPALI ASPETTI GEOLOGICI DI INTERESSE INGEGNERISTICO

In questo capitolo conclusivo si sintetizzano le pericolosità geologiche identificabili nell'area interessata dal progetto; ciò nell'ottica di consentire la verifica della compatibilità dell'opera con le componenti geologiche, in accordo alla normativa vigente.

Più in dettaglio, di seguito si riassumono gli elementi geologici di interesse ingegneristico desunti dallo studio geologico, geomorfologico ed idrogeologico, integrati con le informazioni desumibili dagli studi sismo-tettonici e dalle cartografie di pericolosità redatte dagli Enti preposti al governo del territorio.

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

- presenza, lungo tutto il tracciato, di depositi/livelli compressibili, nonché di livelli carboniosi/torbosi, il che rende necessaria un'attenta verifica dei cedimenti delle nuove opere e delle preesistenze, perché una variazione inopportuna dello stato tensionale dei terreni dovuta alla realizzazione di scavi, emungimenti, riporti, ecc. può generare lesioni alle strutture (in particolare la ferrovia esistente);
- presenza di depositi antropici con scadenti caratteristiche geotecniche;
- fenomeno di subsidenza naturale a cui è soggetta la pianura emiliano – romagnola ed alla quale si sovrappone la subsidenza di origine antropica determinata dai prelievi di fluidi dal sottosuolo;
- le litologie a prevalente componente sabbiosa sono compatibili, quando sature, con fenomeni di liquefazione che potrebbero verificarsi in occasione di eventi sismici di particolare intensità, pertanto si raccomanda l'esecuzione delle opportune verifiche ingegneristiche;
- presenza di una falda freatica contraddistinta da oscillazioni stagionali sufficienti a farla interferire con le opere. Si segnala che un'eventuale variazione del regime di sfruttamento degli acquiferi (diminuzione dei pompaggi) potrebbe ridurre ulteriormente le soggiacenze;
- relativamente alla pericolosità idraulica, con particolare riferimento alla cartografia redatta nell'ambito del P.G.R.A. "Reticolo naturale principale", si segnalano interferenze tra il nuovo tracciato in progetto ed aree soggette a pericolosità idraulica media (P2); si evidenzia inoltre che il tracciato interferisce, nella parte settentrionale, con lo scolo Zenetta;
- presenza di fenomeni di Sinkhole in aree limitrofe a quella del progetto (territorio comunale di Sala Bolognese e zona Parco dei Gessi bolognesi);
- secondo l'INGV è presente una struttura tettonica, interferente con la parte iniziale del tracciato di progetto, identificata come "faglia capace", ossia faglia "sismica" con indizi di attività negli ultimi 40.000 anni, potenzialmente in grado di produrre deformazioni in superficie;
- presenza di strutture sismogenetiche.