

AUTOSTRADA (A13): BOLOGNA-PADOVA

TRATTO: BOLOGNA ARCOVEGGIO

BOLOGNA INTERPORTO

PROSECUZIONE FINO ALLA VIA APOSAZZA
DEL SISTEMA TANGENZIALE DI BOLOGNA

PROGETTO DEFINITIVO

DOCUMENTAZIONE GENERALE

GEOLOGIA PARTE GENERALE

RELAZIONE GEOLOGICA-GEOMORFOLOGICA E DI INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

| | | |
|--|---|---|
| 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. | |
| 111326 | 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 | |
| | REDATTO: | VERIFICATO: | n. | data |
| | | | 0 | FEBBRAIO 2022 |

| | | |
|--|---|---|
| | 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 | INQUADRAMENTO GEOGRAFICO..... | 4 |
| 3 | DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE | 6 |
| 3.1 | RACCOLTA DEI DATI PREGRESSI | 6 |
| 3.2 | FOTOINTERPRETAZIONE | 7 |
| 3.3 | RILEVAMENTO SU TERRENO | 8 |
| 3.4 | ANALISI DELLE STRATIGRAFIE DEI SONDAGGI | 8 |
| 4 | INDAGINI GEOGNOSTICHE..... | 10 |
| 4.1 | INDAGINI BIBLIOGRAFICHE PREGRESSE..... | 10 |
| 4.1 | INDAGINI GEOGNOSTICHE PREGRESSE | 10 |
| 4.2 | INDAGINI GEOGNOSTICHE PROGETTO DEFINITIVO TERZA CORSIA BOLOGNA FERRARA (2011) | 10 |
| 4.3 | INDAGINI GEOGNOSTICHE PASSANTE DI BOLOGNA (2016-2017) | 10 |
| 4.4 | INDAGINI GEOGNOSTICHE PROGETTO ESECUTIVO TERZA CORSIA BOLOGNA FERRARA (2018) | 11 |
| 5 | INQUADRAMENTO GEOLOGICO STRUTTURALE | 12 |
| 6 | STRATIGRAFIA..... | 18 |
| 6.1 | SINTEMA EMILIANO - ROMAGNOLO SUPERIORE (AES):..... | 21 |
| 6.1.1 | <i>Subsintema di Ravenna (AES8)</i> | 21 |
| 6.1.2 | <i>Subsintema di Villa Verucchio (AES7)</i> | 22 |
| 6.2 | SISTEMI DEPOSIZIONALI E LITOLOGIE..... | 22 |
| 7 | INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO | 23 |
| 7.1 | EVOLUZIONE DELLA PIANURA E DEL RETICOLO IDROGRAFICO | 23 |
| 7.2 | IDROGRAFIA ED ATTIVITÀ ESTRATTIVE | 27 |
| 7.1 | GEOMORFOLOGIA AREA DI INTERVENTO | 29 |
| 8 | ANALISI DELLA CARTOGRAFIA PRODOTTA DAGLI ENTI | 30 |
| 8.1 | PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI)..... | 30 |
| 8.2 | PIANO TERRITORIALE METROPOLITANO (PTM)..... | 31 |
| 8.3 | PIANO STRUTTURALE COMUNALE (PSC) E PIANO URBANISTICO GENERALE (PUG)..... | 31 |
| 8.4 | PIANO DI COORDINAMENTO GESTIONE RISCHI ALLUVIONI (PGRA) | 34 |
| 9 | ALTRI ELEMENTI..... | 36 |
| 9.1 | SUBSIDENZA | 36 |
| 9.2 | CENNI DI CARATTERE GIACIMENTOLOGICO | 38 |
| 9.3 | SINKOLE..... | 40 |
| 10 | REDAZIONE DELLA CARTOGRAFIA TEMATICA..... | 42 |
| 11 | INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO GENERALE..... | 44 |
| 11.1 | LE CONOIDI ALLUVIONALI APPENNINICHE MAGGIORI..... | 47 |
| 11.2 | AREA DI PROGETTO | 48 |
| 11.3 | DEFINIZIONE DEL RETICOLO IDROGRAFICO..... | 49 |
| 11.4 | INDIVIDUAZIONE DELLE CAPTAZIONI PRESENTI NELL'AREA | 49 |
| 11.4.3 | <i>Ricerca bibliografica</i> | 49 |
| 11.4.4 | <i>Censimento dei punti di approvvigionamento idrico</i> | 49 |
| 11.4.5 | <i>Classificazione dei pozzi per tipo d'uso</i> | 50 |
| 11.4.6 | <i>Schede di raccolta dati</i> | 50 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 11.4.7 | Note..... | 50 |
| 11.5 | MISURE PIEZOMETRICHE POZZI ARPAE..... | 50 |
| 11.6 | PIEZOMETRI AREA DI INTERESSE | 53 |
| 11.7 | PERMEABILITÀ..... | 53 |
| 11.8 | L'INDIVIDUAZIONE E CLASSIFICAZIONE DELLE UNITÀ IDROGEOLOGICHE..... | 54 |
| 11.8.8 | <i>Complesso acquifero A0</i> | 54 |
| 11.8.9 | <i>Complesso acquifero A1</i> | 54 |
| 11.9 | PROGRAMMA UTILIZZATO PER LA SIMULAZIONE DELLA SUPERFICIE PIEZOMETRICA..... | 55 |
| 11.9.10 | <i>Kriging References</i> | 55 |
| 12 | CHIMISMO DELLE ACQUE SOTTERRANEE..... | 56 |
| 12.1 | CHIMISMO DELLE ACQUE | 56 |
| 12.1.11 | <i>Parametri di base</i> | 56 |
| 12.1.12 | <i>Aggressivi chimici</i> | 56 |
| 13 | CLIMATOLOGIA..... | 59 |
| 14 | ELEMENTI DI SISMICA GENERALE..... | 64 |
| 14.1 | SISMICITÀ STORICA..... | 64 |
| 14.2 | SISMICITÀ RECENTE (DAL 1985 AL 2021) | 69 |
| 14.3 | FAGLIE CAPACI..... | 70 |
| 14.4 | STRUTTURE SIMOGENETICHE | 72 |
| 14.5 | CLASSIFICAZIONE SISMICA (INGV) | 73 |
| 14.6 | CLASSIFICAZIONE SISMICA DELL'AREA DI STUDIO | 75 |
| 14.7 | LIQUEFAZIONE | 76 |
| 15 | DESCRIZIONE DEL TRACCIATO..... | 77 |
| 16 | PRINCIPALI ASPETTI GEOLOGICI DI INTERESSE INGEGNERISTICO | 78 |

ALLEGATO 1: SCHEDE DI CENSIMENTO DEI PUNTI D'ACQUA

ALLEGATO 2: RETE DI MONITORAGGIO CHIMICO DI ARPAE: PARAMETRI CHIMICI 2015

ALLEGATO 3: CERTIFICATI DI ANALISI CHIMICA DEI SOLFATI E CLORURI

1 INTRODUZIONE

Il presente studio è stato redatto a supporto della progettazione definitiva del “*Proseguimento fino a via Aposazza del sistema tangenziale di Bologna*”, che prevede la realizzazione di un nuovo collegamento tra l'interconnessione A14-A13 e Via Aposazza.

Lo scopo del lavoro consiste nell'illustrare gli elementi geologici e geomorfologici utili ad individuare i principali aspetti progettuali riconducibili alla natura ed alle caratteristiche dei terreni interessati dall'intervento in progetto.

Nell'ambito degli obiettivi precedentemente esposti, si intende definire quanto segue:

- unità geologiche presenti, sulla base di una caratterizzazione litologica delle singole formazioni, che nel contempo tenga conto delle classificazioni litostratigrafiche e cronostatigrafiche convenzionali;
- assetto geomorfologico del territorio;
- schema idrogeologico generale.

La relazione contiene anche un capitolo di sismica generale, che inquadra il territorio dal punto di vista della sismicità, ed un capitolo di inquadramento idrogeologico, che espone un quadro conoscitivo utilizzabile come punto di partenza per studi quantitativi di idrologia sotterranea.

I dati utilizzati per la redazione delle carte e dei profili sono stati ricavati dall'analisi critica dei dati bibliografici e dall'esame di tutte le stratigrafie disponibili (pozzi, indagini pregresse e sondaggi appositamente realizzati).

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 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area interessata dal progetto è ubicata tra l'interconnessione tra l'autostrada A14 e la A13 e Via Aposazza e ricade interamente nel Comune di Bologna.

L'area oggetto di intervento interessa una porzione della pianura bolognese, che borda le propaggini collinari dell'Appennino Settentrionale; essa risulta quindi parallela alla 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.

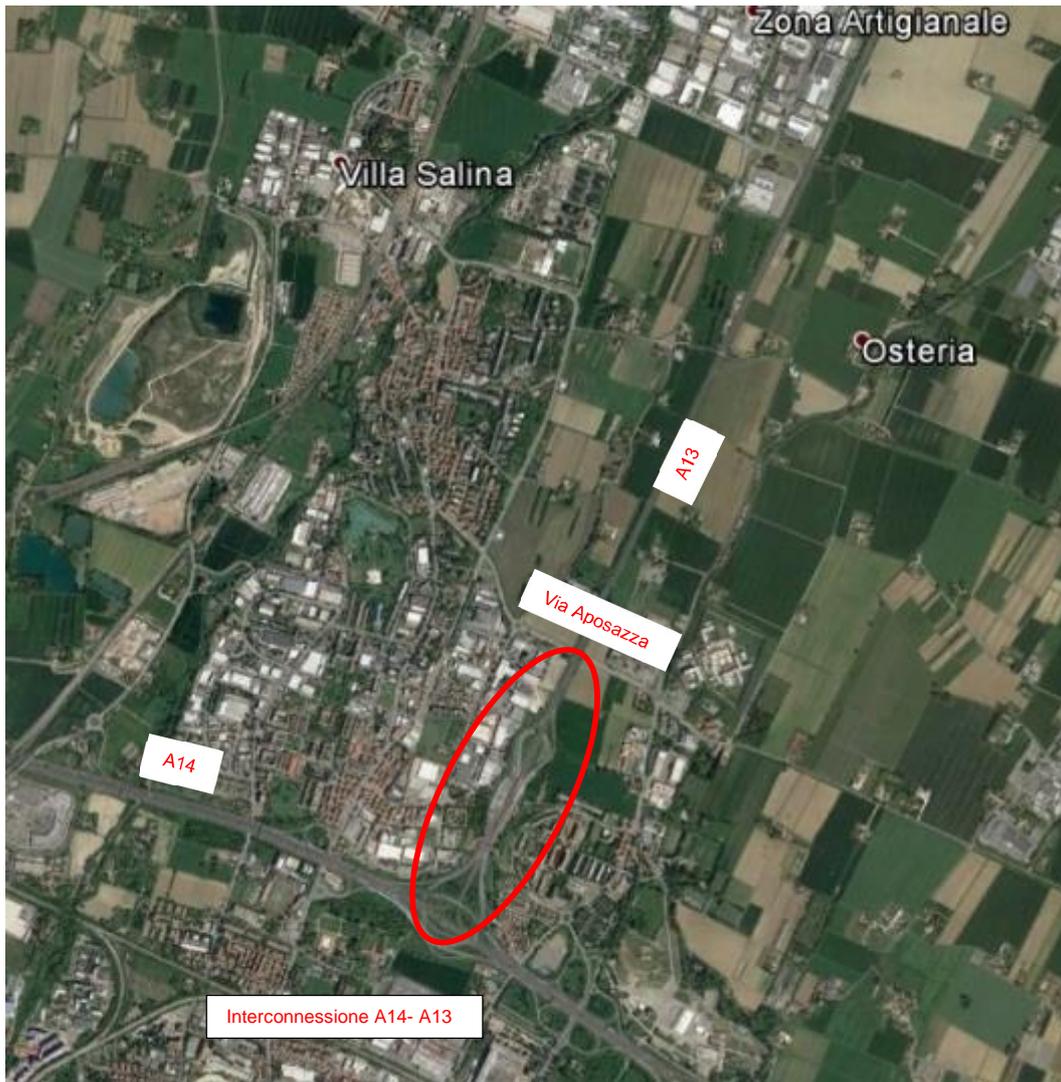


Foto 2-1 - Area interessata dal progetto



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

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

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

3 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE

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

3.1 RACCOLTA DEI DATI PREGRESSI

Sono stati acquisiti dati e pubblicazioni dalle seguenti fonti:

- Carta Geologica d'Italia 1:100.000, foglio 87 (Bologna);
- Carta Geologica d'Italia 1:50.000 (progetto CARG) - 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: <http://geo.regione.emilia-romagna.it/geocatalogo>;
 - Regione Emilia-Romagna, ENI – AGIP, 1988. Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna. A cura di G. Di Dio. S.EL.CA. (Firenze), 120 pp;
 - 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: pubblicazioni varie;
- ARPA Regione Emilia Romagna (ARPAE):
 - Rilievo della subsidenza nella pianura emiliano-romagnola (da portale cartografico ARPAE: <https://www.arpae.it/cartografia/>);
 - Dati di monitoraggio piezometrico dei punti di controllo rete regionale e provinciale;
 - Il monitoraggio delle acque sotterranee della Provincia di Bologna – report 2002÷2006, 2007 e 2008.

- 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);
- Piano Comunale Attività Estrattive P.A.E. Comune di Bologna (2020, approvazione DC/PRO/2021/64);
- SIT – Servizio Informativo Territoriale della Provincia di Bologna (<http://cartografia.cittametropolitana.bo.it/ptcptav>) (<http://sitmappe.comune.bologna.it/pucviewer>)
- Piano Territoriale 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) (<http://www.comune.bologna.it/psc/>);
- Piano Urbanistico Generale (P.U.G.) del Comune di Bologna (2008) e nuovo Piano Urbanistico Generale del Comune di Bologna (approvaz. 29-09-2021) - Relazione di Piano e cartografie, tra cui le Tavole dei Vincoli “Risorse idriche e assetto idrogeologico” e Tavole del “Rischio sismico”;
- Gestore dei servizi idrici integrati (HERA Bologna), che ha messo a disposizione stratigrafie e dati riguardanti il “campo pozzi di Borgo Panigale” ed il “campo pozzi di Tiro a segno”;
- Università degli studi di Firenze, Dipartimento di ingegneria civile e ambientale - Rapporto preliminare sui diffusi fenomeni di liquefazione verificatisi durante il terremoto in pianura padana emiliana del maggio 2012 (31 maggio 2012);
- Archivi TECNE-ASPI: dati geognostici progressi ricadenti nelle adiacenze del tratto di interesse;
- Progetto esecutivo di potenziamento del sistema autostradale e tangenziale (2004);
- Progetto definitivo ed esecutivo del Passante di Bologna;
- Progetto definitivo di ampliamento alla terza corsia della A13 tra Ferrara e Bologna e studi per il Progetto Esecutivo.

3.2 FOTINTERPRETAZIONE

Si è fatto ricorso alla fotointerpretazione effettuata su foto scattate lungo una fascia di 2 km a cavallo del tracciato della A13, per un più accurato riconoscimento dei tratti geomorfologici a grande scala, altrimenti non rilevabili, date le deboli variazioni altimetriche dell'area ed il consistente sviluppo degli insediamenti antropici.

Sono stati presi in considerazione due voli distinti: essendo stati realizzati a quota diversa hanno permesso di ottenere una scala di osservazione differente. Il volo più basso è un volo appositamente realizzato lungo il tracciato da CGR – Compagnia Generale Riprese aeree S.p.A. di Parma, che ha restituito 208 fotogrammi.

Le riprese del volo basso (scala di restituzione 1:4000 circa) sono del 12 febbraio 2009 e realizzate da una quota di circa 720 m s.l.m. con camera Wild RC30 avente distanza focale di 153.28 mm.

I fotogrammi con restituzione a più grande scala derivano da due campagne diverse:

- il volo IGM (Istituto Geografico Militare) del 1981 in bianco e nero. Fotogrammi scattati dal 12 giugno al 22 luglio 1981 con fotocamera a distanza focale di 152.55 mm, scala dei fotogrammi 1:26000 circa;

- il volo IGM (Istituto Geografico Militare) del 1955 (volo GAI) in bianco e nero. Fotogrammi scattati dal 18 luglio al 23 settembre 1955 con fotocamera a distanza focale di 153.27 mm, scala dei fotogrammi 1:32000 circa.

Le osservazioni derivanti dalla fotointerpretazione integrate con quelle di campagna sono sintetizzate nella carta geomorfologica allegata al presente progetto.

3.3 RILEVAMENTO SU TERRENO

La morfologia pianeggiante che contraddistingue l'intera area di studio (con quote topografiche digradanti verso nord) 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, ecc.) mettono a nudo "spaccati stratigrafici", mentre assumono grande rilevanza le verticali di indagine eseguite in sito (sondaggi geognostici, pozzi per acqua, ecc.), che consentono una interpretazione dei depositi del sottosuolo al di sotto del terreno di coltivo o di riporto.

Nel 2016 (nell'ambito degli studi afferenti il Passante di Bologna) è stata condotta una campagna di rilevamento geologico – geomorfologico in sito, al fine di identificare le caratteristiche dei depositi afferenti la tratta in oggetto, di verificare e contestualizzare le forme individuate per mezzo della fotointerpretazione e di osservare gli elementi geomorfologici a media scala, che non sarebbero apprezzabili dall'analisi delle foto aeree.

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

Gli elementi geomorfologici più evidenti sono costituiti da terrazzi di erosione fluviale legati al sistema idrografico locale, e in particolare alla complessa evoluzione dei fiumi Navile e Savena Abbandonato e del fiume Reno.

3.4 ANALISI DELLE STRATIGRAFIE DEI SONDAGGI

I dati considerati riguardano le diverse campagne geognostiche eseguite lungo il tratto di interesse fin dall'epoca della costruzione dell'autostrada esistente, nonché alle verticali d'indagine fornite dal Servizio Geologico della Regione Emilia – Romagna che sono state utilizzate in particolar modo per la redazione del profilo geologico longitudinale.

Nella fase di interpretazione stratigrafica sono stati attribuiti vari gradi di attendibilità ai dati dei sondaggi geognostici ed in generale alle verticali esaminate; infatti 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).

La documentazione bibliografica relativa ai pozzi consiste spesso in stratigrafie di difficile interpretazione in quanto i pozzi sono molto vecchi talora perforati a distruzione di nucleo (ricostruzione granulometrica deriva da analisi di cutting e fanghi) ed inoltre, come già accennato, le descrizioni del materiale sono risultate sommarie, troppo schematiche ed inoltre non sono corredate da prove geotecniche (SPT, prove Lefranc, ecc.).

Per quanto attiene la ricostruzione delle caratteristiche granulometriche dei materiali presenti nel sottosuolo, inoltre, sono state utilizzate indagini di precedenti progetti inerenti la tratta d'interesse:

- *Dati geognostici progressi ricadenti nelle adiacenze del tratto di interesse (pozzi, sondaggi, cptu, cpte, cpt, pozzetti, sev) forniti dal Servizio Geologico della Regione Emilia – Romagna.*
- *Campagna d'indagine per la progettazione della tangenziale di Bologna (1986 – Tecnosol)*
- *Campagna d'indagine per la progettazione della tangenziale di Bologna (1999 – Servizi Geotecnici)*
- *Campagna d'indagine per la progettazione della tangenziale di Bologna (2000 – Servizi Geotecnici)*
- *Campagna d'Indagine per la progettazione definitiva della Terza corsia A13 tratto Bologna - Ferrara (2011 – Imprefond)*
- *Campagna d'indagine per la progettazione del Passante di Bologna (2017-2018 – Servizi Geotecnici)*
- *Campagna d'Indagine per la progettazione esecutiva della Terza corsia A13 tratto Bologna - Ferrara (2018 – Subsoil).*

4 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Al fine di ricostruire la stratigrafia e le caratteristiche dei terreni presenti nel sottosuolo in una zona pianeggiante e priva di affioramenti come quella in oggetto, è risultato indispensabile utilizzare dati provenienti da sondaggi geognostici e da pozzi. In primo luogo si è provveduto a reperire tutti i dati disponibili (presso enti pubblici, presso privati o risultanti da indagini pregresse realizzate da Autostrade) per una fascia molto più ampia di quella riportata nelle planimetrie allegate al presente progetto.

Tutte le informazioni recuperate sono state riportate negli elaborati cartografici in scala 1:5000 utilizzando differente simbologia in funzione della loro tipologia.

4.1 INDAGINI BIBLIOGRAFICHE PREGRESSE

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

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

4.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE PREGRESSE

Si tratta di sondaggi, pozzetti e prove penetrometriche eseguite per l'ampliamento della Tangenziale di Bologna (anni 1984, 1999 e 2000).

4.2 INDAGINI GEOGNOSTICHE PROGETTO DEFINITIVO TERZA CORSIA BOLOGNA FERRARA (2011)

Ai fini della ricostruzione geologica e geotecnica della tratta in oggetto è stata realizzata un'apposita campagna di indagini geognostiche (indagini in sito e prove di laboratorio) suddivisa in due fasi.

Di seguito sono riportate le indagini utilizzate:

- n. 1 sondaggio geognostici verticale (S-BF1-B) eseguito a carotaggio continuo, spinto fino a 40 m di profondità, con esecuzione di prove in foro tipo SPT, Lefranc e pressiometriche, prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati;
- analisi gascromatografiche (metano) sui fluidi di perforazione;
- prove geotecniche di laboratorio sui campioni prelevati. Sono state condotte prove di identificazione (caratterizzazione fisica, granulometrie, limiti e contenuto di sostanza organica) e prove meccaniche (triassiali UU e CIU).

4.3 INDAGINI GEOGNOSTICHE PASSANTE DI BOLOGNA (2016-2017)

Ai fini della ricostruzione geologica e geotecnica della tratta in oggetto sono state realizzate apposite campagne di indagini geognostiche (sito e prove di laboratorio) di cui alcune verticali di indagine ricadono nell'area di interesse (prove penetrometriche CTPU-1, CPTU-2 e CPTU3, sondaggi PB17bis e PB17DH).

4.4 INDAGINI GEOGNOSTICHE PROGETTO ESECUTIVO TERZA CORSIA BOLOGNA FERRARA (2018)

Ai fini di ottenere un affinamento della modellazione del sottosuolo è stata realizzata una apposita campagna di indagini geognostiche (indagini in sito e prove di laboratorio) di cui una parte è stata utilizzata per la redazione dei profili geologici, ed in particolare:

- n. 4 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTUx-PE);
- n. 1 pozzetto esplorativo (PZ-24PE) con esecuzione di prove carico su piastra e densità in sito e prelievo di campioni rimaneggiati che sono stati poi sottoposti ad analisi di laboratorio (granulometria e limiti);
- prove sismiche di superficie (n. 2 MASW e n. 1 REMI).

5 INQUADRAMENTO GEOLOGICO STRUTTURALE

L'area d'interesse è situata all'interno dell'ampio bacino sedimentario padano, al bordo settentrionale del Sistema Appenninico. A valle del margine appenninico –padano, la catena appenninica prosegue sepolta dai depositi quaternari padano-adriatici; le principali strutture sepolte, in questo settore, appartengono alle Pieghe Romagnole (con geometrie di pieghe-faglia) passanti verso nord alle Pieghe Ferraresi.

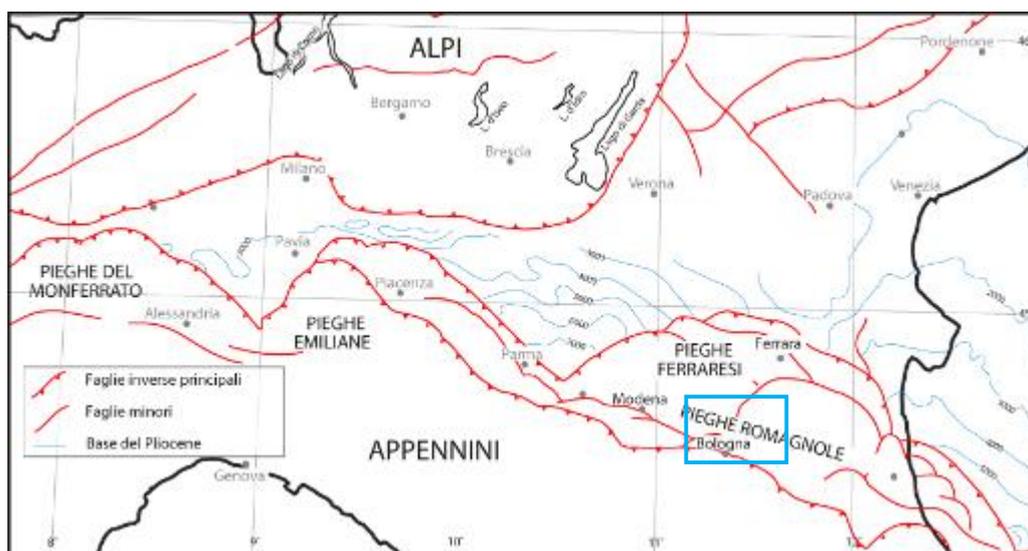


Figura 5-1 - Carta strutturale semplificata della Pianura Padana (da Burrato et al., 1999 e riferimenti ivi citati).

In particolare, in questo settore si hanno una serie di depressioni strutturali comprese tra le pieghe (alti strutturali sepolti), che evidenziano una geometria complessa. Questa geometria si regolarizza nel settore orientale dove i thrust e gli assi delle anticlinali, che generalmente hanno direzione WNW-ESE, si immergono in una monoclinale con vergenza NE.

In studi interdisciplinari molto approfonditi, condotti in ampi settori della pianura emiliana-romagnola, si nota come l'architettura stratigrafica dei depositi quaternari sia influenzata dall'andamento di queste fasce articolate di sovrascorrimenti sepolti e presenta spessori massimi nelle depressioni strutturali e minimi sulle anticlinali.

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

Il riempimento del bacino marino ed il passaggio alla sedimentazione continentale non avvengono in maniera continua e progressiva, ma sono il risultato di eventi tettonico - sedimentari "parossistici", separati nel tempo da periodi di forte subsidenza bacinale e movimenti ridotti delle strutture compressive. Questo fatto è testimoniato dalle numerose superfici di discontinuità stratigrafica riconosciute e cartografate sul Margine Appenninico Padano (Fig. 5-2 tratta dalle note illustrative alla carta sismotettonica della regione Emilia - Romagna, scala 1.250.000).

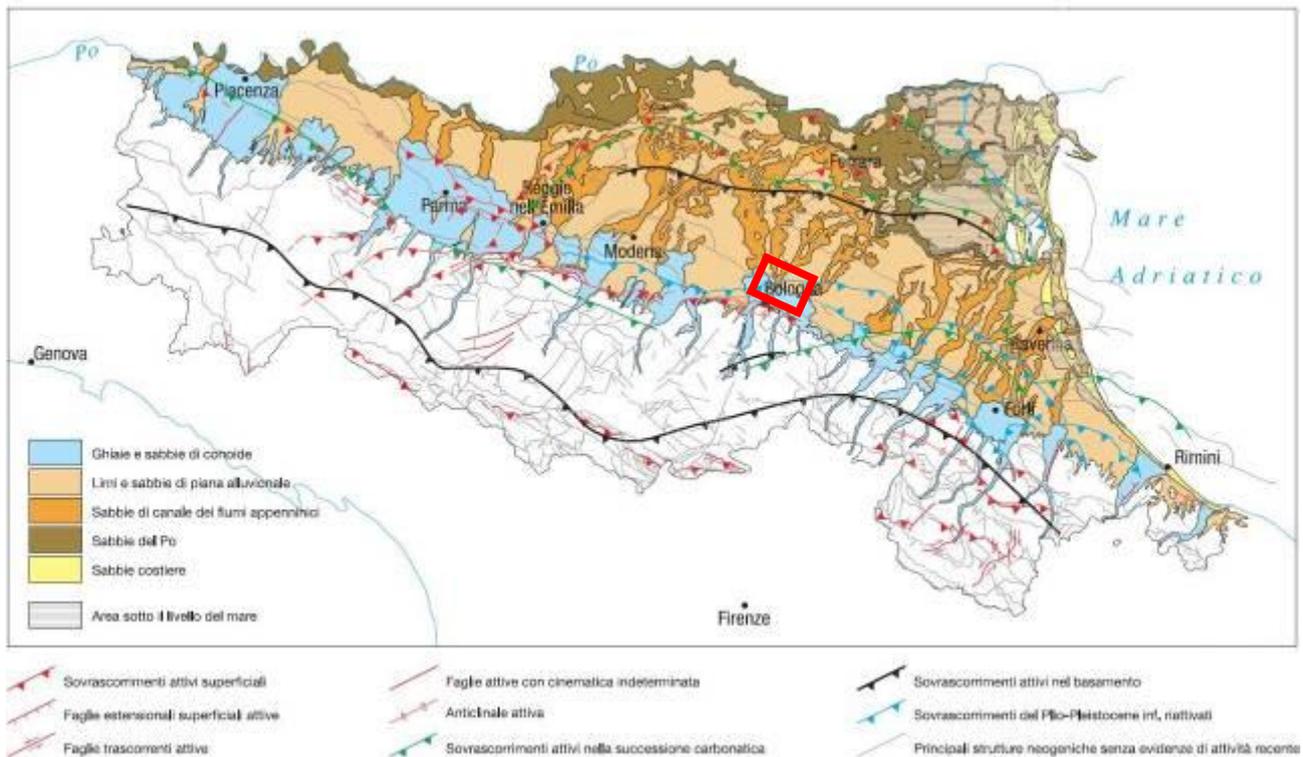


Figura 5-2 - Schema strutturale della pianura emiliano – romagnola (Note illustrative alla carta sismotettonica della regione Emilia-Romagna, scala 1.250.000); in rosso l'area di interesse.

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, la cui formazione è legata alla continua variazione dei livelli fluviali.

Di seguito si riporta lo schema tettonico-strutturale dell'area bolognese (da CARG Foglio 221 Bologna):

SCHEMA TETTONICO-STRUTTURALE

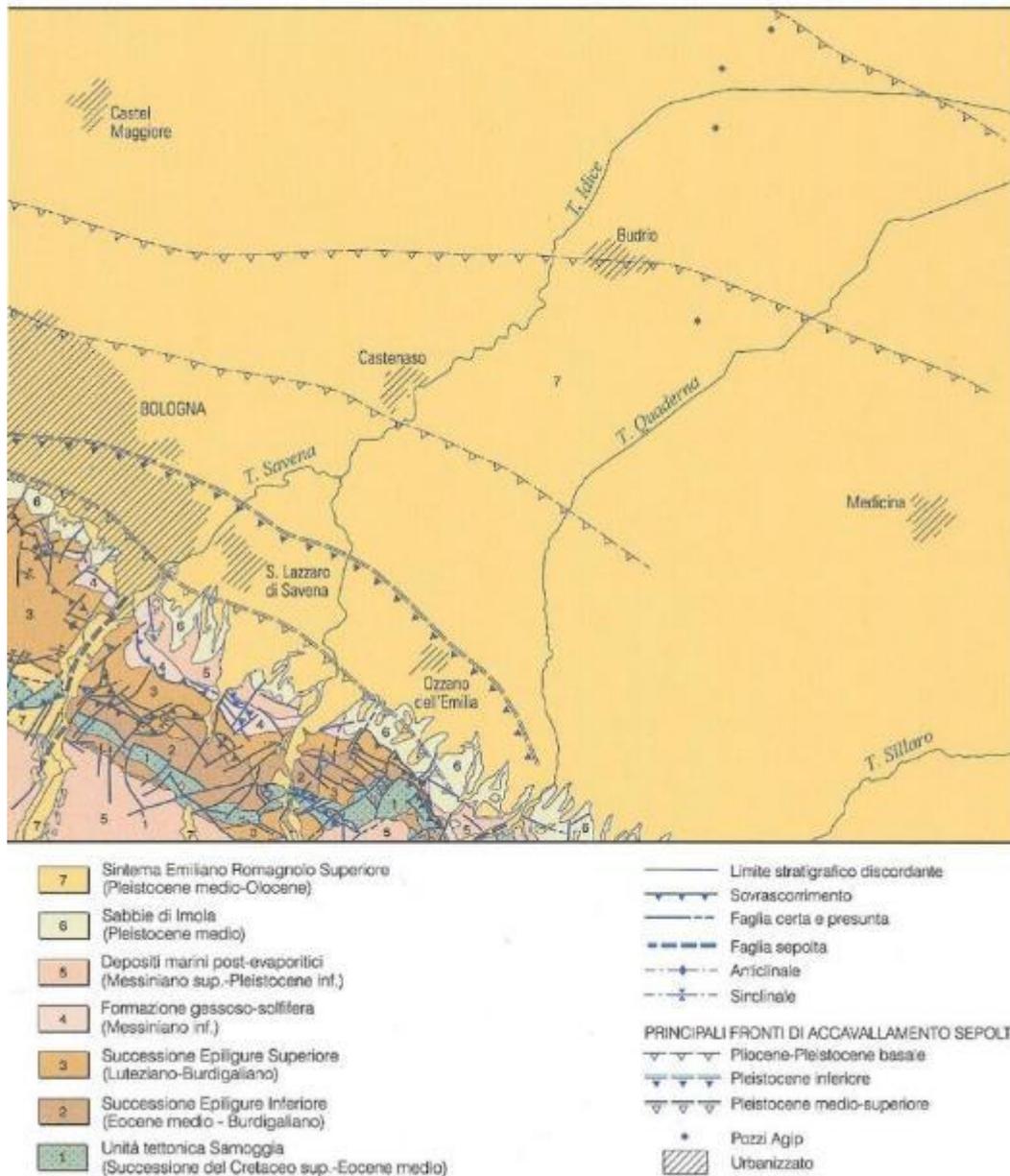


Figura 5-3 - Schema tettonico-strutturale dell'area bolognese (da CARG Foglio 221 Bologna)

Sulla base delle superfici di discontinuità affioranti sul margine appenninico e dell'estensione di tali discontinuità nel sottosuolo della pianura (da dati sismici e di pozzo) è stato possibile definire il quadro stratigrafico dell'area bolognese.

Dai profili sismici messi a disposizione da ENI-AGIP (fig. 5-5) e dai sondaggi utilizzati per la ricostruzione della carta sismotettonica della regione Emilia Romagna (fig. 5-4) risultano ben riconoscibili alcune unconformities. definite nel quadro stratigrafico riportato Fig. 5-6.

Le principali discontinuità riconosciute a scala regionale (fig. 5-6) sono:

- Ø la base del ciclo P2, databile a circa 3,8-3,9 Ma e circa corrispondente alla fine della fase tettonica del Pliocene Inferiore;
- Ø la base del ciclo Qm (1,73 Ma), di poco successiva al limite Pliocene-Pleistocene (1,8 Ma);
- Ø la base del Pliocene medio corrisponde all'inizio della sedimentazione delle facies Costiere (1 Ma);

Ø la base del Sintema Emiliano Romagnolo Superiore databile a circa 0,45 Ma.

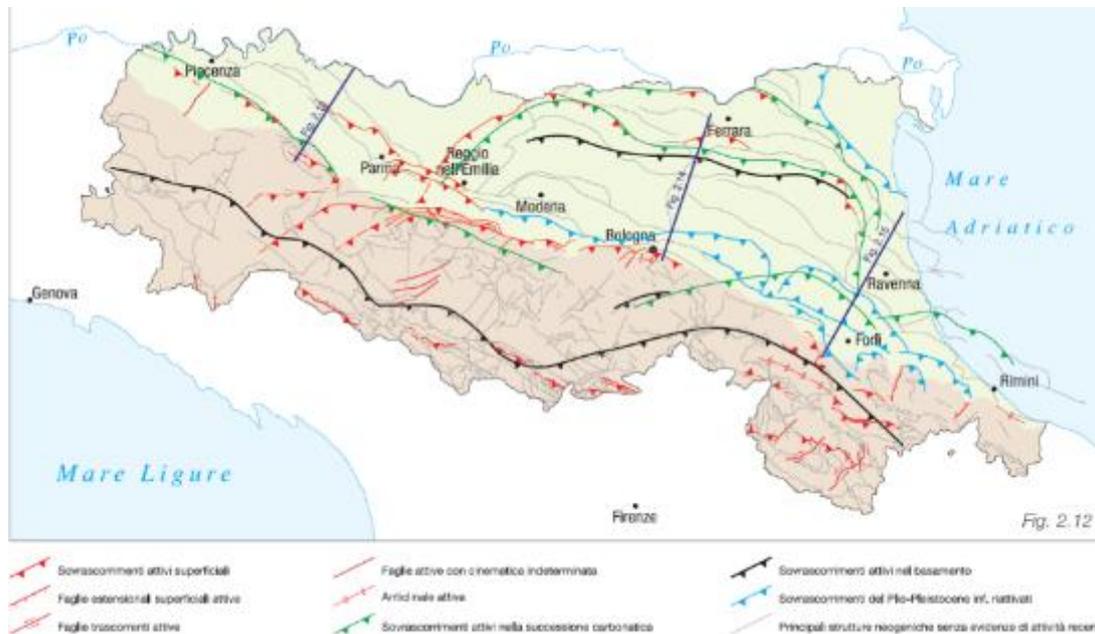


Figura 5-4 –Carta sismotettonica della regione Emilia Romagna 2004

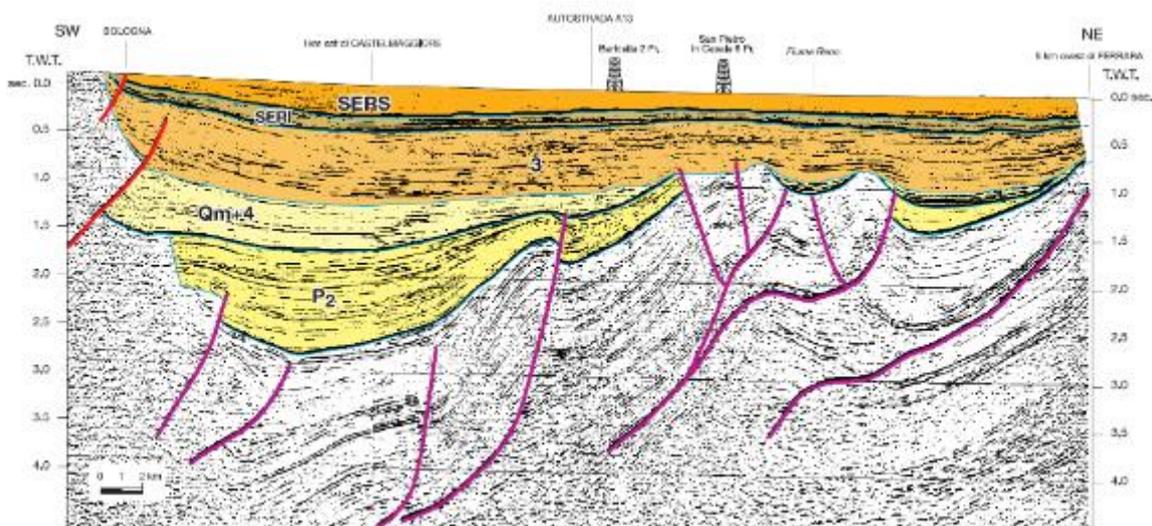


Figura 5-5 – Profilo sismico in corrispondenza dell'area d'interesse (Carta sismotettonica della regione Emilia Romagna 2004, note illustrative)

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

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

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

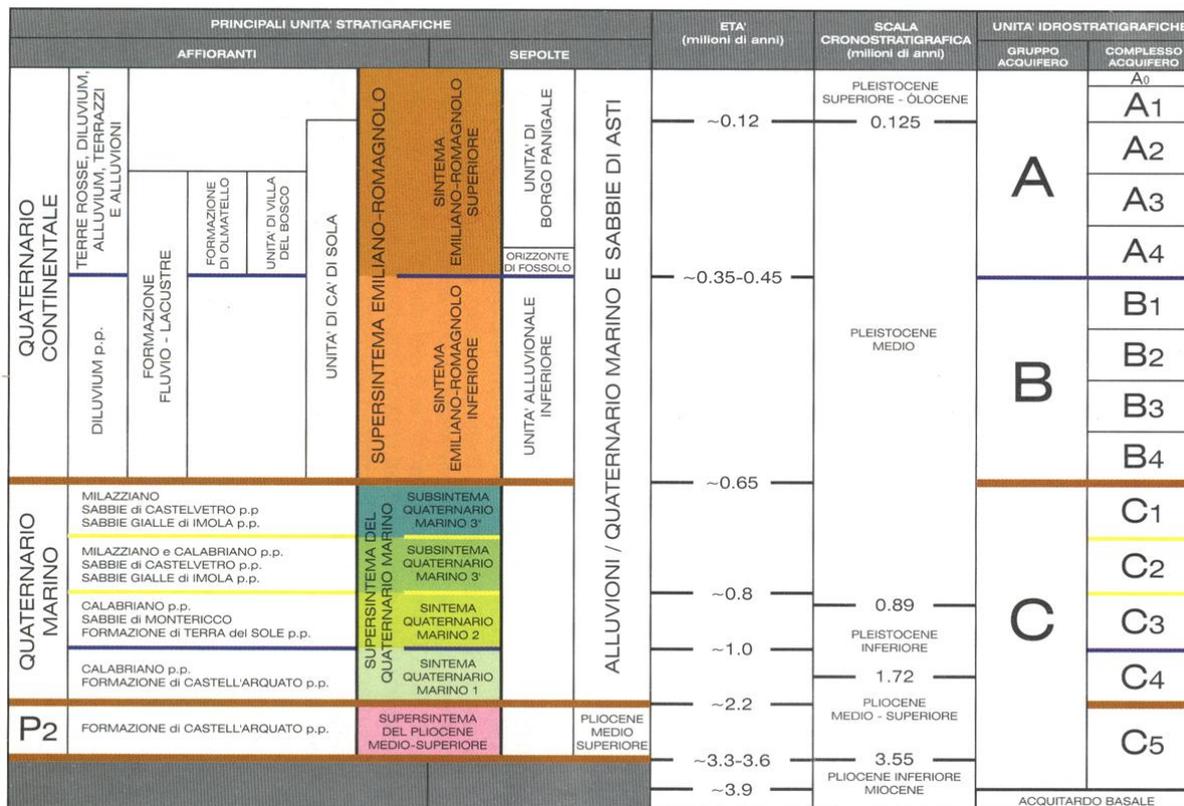


Figura 5-6 - Inquadramento geologico - stratigrafico dell'area di studio

Supersintema del Pliocene medio-superiore

Rappresenta una prima fase di trasgressione marina (3.6~3.3-2.4 Ma) e la relativa sedimentazione di depositi deltizi e costieri. Questa fase è seguita da un breve periodo di sollevamento regionale e regressione forzata (2.4-2.2 Ma).

Supersintema del Quaternario Marino

Databile al Pliocene superiore, testimonia un periodo di quiescenza e subsidenza bacinale (2.2-0.8 Ma) associato alla deposizione di sedimenti fluvio-deltizi marginali e di piattaforma. La fase di sollevamento regionale e regressione forzata successiva (0.8-0.65 Ma) interessa un ampio settore dell'Italia centrale (è registrata anche in Marche, Abruzzo e nell'Adriatico centrale). In Emilia-Romagna essa porta alla migrazione della TSB fino alla Dorsale Ferrarese (TSB3, figura 5).

Supersintema Quaternario Continentale – (Supersintema Emiliano Romagnolo)

Comprende depositi fluviali risultanti da due fasi di subsidenza bacinale e quiescenza tettonica, la prima tra 0.65 e 0.45~0.35 Ma e la seconda in evoluzione da 0.45~0.35 Ma ad oggi. In particolare è rappresentato da depositi di piana alluvionale e conoide distale alla base e depositi ghiaiosi di conoide (affioranti lungo il margine appenninico) e piana alluvionale, deltizi e costieri al tetto. Una superficie erosionale tra i depositi di base e di tetto testimonia una fase intermedia di sollevamento.

I depositi presentano eterogeneità interne frequenti che manifestano cambi ciclici di litofacies; ognuna di esse comprende depositi siltoso-argillosi con sabbie intercalate in lenti sottili.

Le sabbie formano, verso l'alto stratigrafico, corpi canalizzati ben classati internamente (granulometria medio-grossolana), lateralmente estesi e gradualmente amalgamati tra loro, che rappresentano la migrazione laterale di fiumi ramificati e poco sinuosi. Le singole unità canalizzate, spesse generalmente da 3 a 20 m, sono regolarmente raggruppate a formare corpi sedimentari più spessi (> 50 m); esse sono caratterizzate da un contatto basale erosivo ed un trend interno fining-upward, stratificazione incrociata (cross-bedding)

GEO0001

unidirezionale ad alto angolo e suborizzontale. Intercalazioni di silt e argille sono subordinate; non si osservano fossili. Strati ricchi in materiale organico sono interpretati come il risultato dell'abbandono dei canali.

6 STRATIGRAFIA

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

I medesimi depositi sono anche oggetto della classificazione fondata sui limiti stratigrafici inconformi (U.B.S.U., Salvador, 1987) che prevede la distinzione di unità stratigrafiche delimitate da superfici di discontinuità definite sintemi e subsintemi. Queste unità sono particolarmente efficaci per descrivere il territorio in base alla sua storia geologica, all'età dei suoi sedimenti e alla peculiare ciclicità degli eventi che l'hanno trasformato, tipici dell'epoca quaternaria. Lo schema più esaustivo per la rappresentazione di queste unità è quello di tipo crono stratigrafico che riporta in ascissa la distribuzione geografica delle unità ed in ordinata il tempo in cui tali unità si sono deposte. Nello schema crono stratigrafico di Fig. 6-2 si possono osservare le litologie e le età delle principali unità stratigrafiche utilizzate per i depositi quaternari di pianura dell'Emilia-Romagna (settore orientale e costiero).

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

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

Di seguito si riporta uno stralcio della carta CARG per l'area in esame:

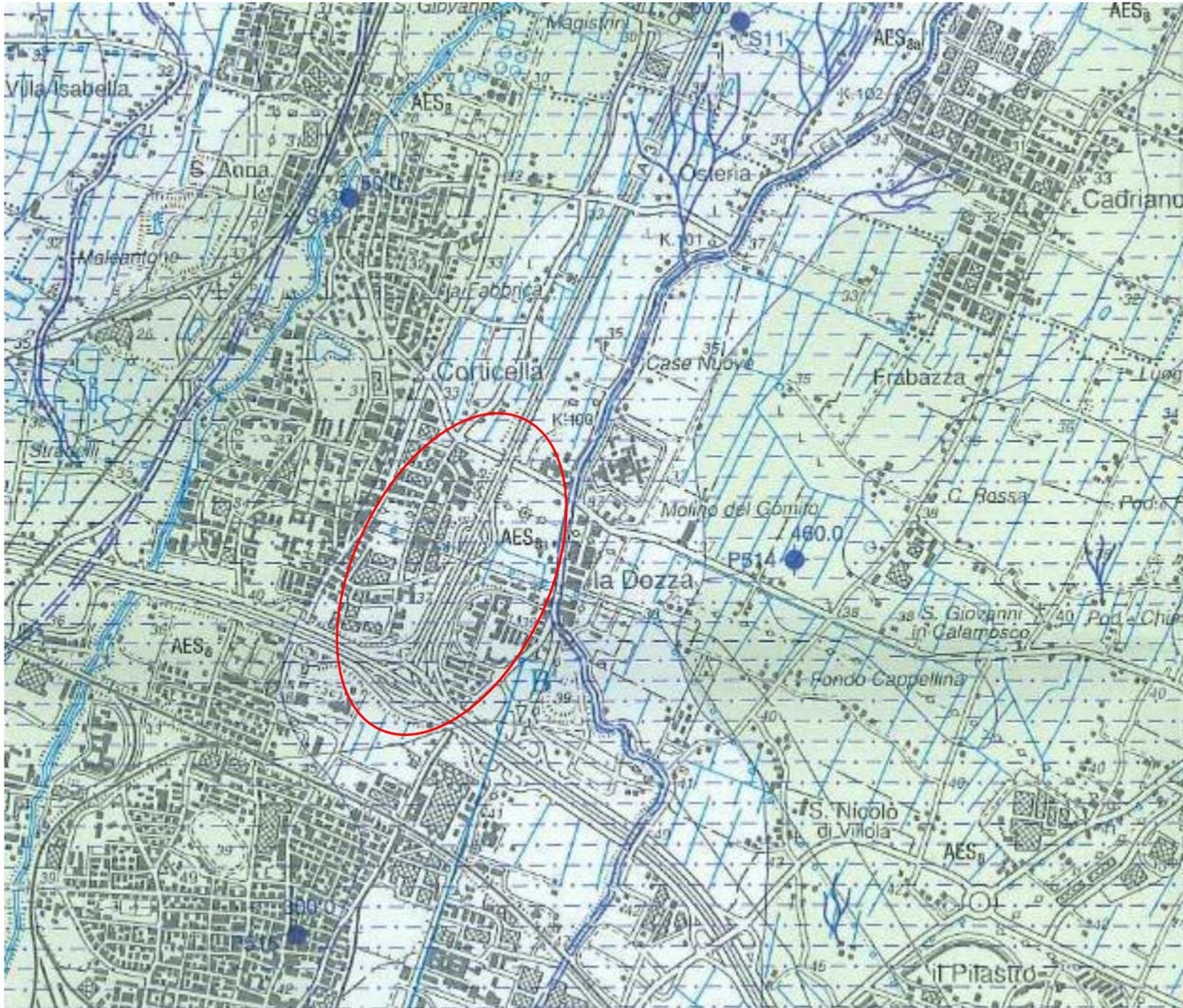


Figura 6-1 - Stralcio Carta geologica CARG – Foglio Bologna.



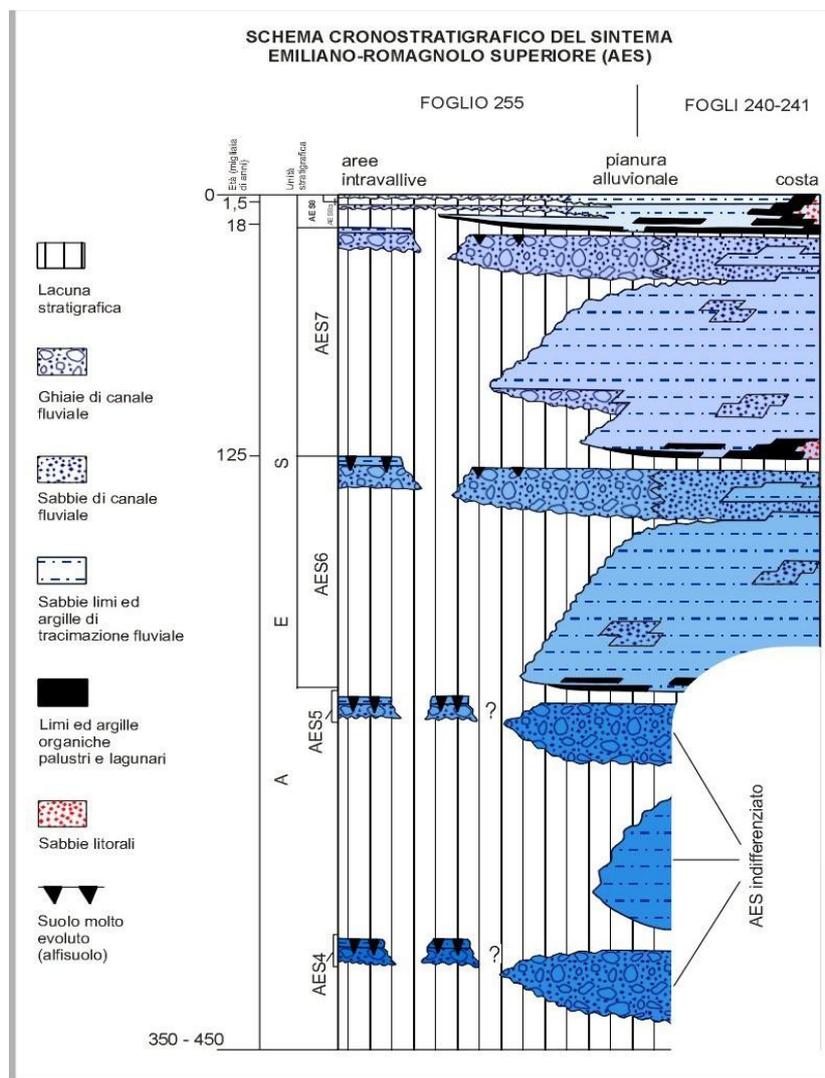


Figura 6-2 - Schema del modello stratigrafico adottato per il settore orientale e costiero della pianura emiliano – romagnola.

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

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

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

Con particolare riferimento al limite inferiore dell'Unità di Modena AES8a, esso viene definito dal "CARG" come una superficie di erosione fluviale correlata ad un suolo non calcareo (o scarsamente calcareo) contenente resti di epoca romana (datazione archeologica), pertanto la differenziazione su base pedologica ed archeologica con il sottostante 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 al limite tra i subsistemi AES8 ed ipotizzando l'andamento sulla base dei dati contenuti nelle sezioni "CARG" ricadenti nelle vicinanze del tratto di intervento (sez. 14, 112 e 123); ove possibile tale limite è stato adattato 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):

6.1 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.

6.1.1 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 presente - alla sovrastante unità di rango subalterno AES8a (Unità di Modena). Spessore massimo in pianura fino a oltre 20m.

Età: Pleistocene sup.-Olocene

Unità di Modena (AES8a)

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

Spessore massimo di alcuni metri (<10 metri).

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

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

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

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

6.1.2 Subsistema di Villa Verucchio (AES7)

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

Età: Pleistocene sup.

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

6.2 SISTEMI DEPOSIZIONALI E LITOLOGIE

Nel presente lavoro è stato possibile verificare la buona congruenza tra la granulometria dei terreni superficiali, derivata dalla Carta Geologica in scala 1:10.000 disponibile sul Geoportale della Regione Emilia-Romagna e riportata nella planimetria geologica, e l'analisi delle stratigrafie disponibili.

La cartografia CARG, in accordo con la normativa sul rilevamento e cartografia geologica dei depositi quaternari, caratterizza le UBSU descritte in carta anche sulla base delle litologie e degli ambienti deposizionali.

Nella planimetria geologica allegata questa caratterizzazione viene fatta con l'ausilio di sovrassegni che si accompagnano alla colorazione che identificano le unità stratigrafiche.

In cartografia vengono riconosciute le litologie e gli ambienti affioranti attribuibili esclusivamente a depositi di piana alluvionale:

Alternanze di sabbie e limi di argine, canale e rotta fluviale

Depositi costituiti da sabbie fini e finissime, spesso limose, in strati da sottili a spessi, e limi, limi sabbiosi e limi argillosi, in strati da sottili a medi. Gli strati sono organizzati in sequenze con gradazione positiva o negativa-positiva. Localmente sono presenti sabbie medio grossolane alla base delle sequenze positive e intercalazioni di argilla al tetto. Sono interpretati come depositi di argine e rotta fluviale e, subordinatamente, di riempimento di canale, quando gli strati sono relativamente più spessi e grossolani. Sono stati cartografati solo in superficie dove formano dei dossi a geometria nastriforme, di larghezza variabile, da poche centinaia di metri a un massimo di 6 km, e possono essere formati da un singolo sistema fluviale o da più sistemi coalescenti. In foto aerea sulla loro superficie sono spesso visibili le tracce dei canali abbandonati e di ventagli di rotta. Lo spessore è di circa 7-8 metri. Passano lateralmente a depositi di piana inondabile con contatti graduati.

7 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Il tracciato in progetto ricade in una fascia di territorio definita “di cerniera” tra il “Margine appenninico-padano” - unità morfologica corrispondente alle colline del basso Appennino e dalla fascia pedemontana - e la Pianura Padana in senso stretto.

Questa fascia di territorio, ad assetto subpianeggiante, presenta una pendenza decrescente verso nord-est e comprende le conoidi dei principali corsi d'acqua che provengono dall'Appennino

La pianura alluvionale bolognese si è originata dalla sovrapposizione di eventi alluvionali in direzione prevalente nord-sud; il territorio bolognese è caratterizzato da valori di altitudine che tendenzialmente diminuiscono verso nord; l'area di intervento è caratterizzata da un andamento piano - altimetrico compreso tra i 30 e i 35 m s.l.m. Gli argini dei corsi d'acqua sono elementi che caratterizzano il paesaggio e condizionano l'assetto idraulico del territorio.

Altro elemento rilevante, sono le modificazioni antropiche dell'area di pianura; in particolar modo, la realizzazione di assi viari (autostrade A14 ed A13, tangenziale di Bologna, viabilità varie), zone industriali/residenziali e canalizzazioni hanno fortemente influenzato la morfologia dell'area in cui si colloca l'opera in progetto.

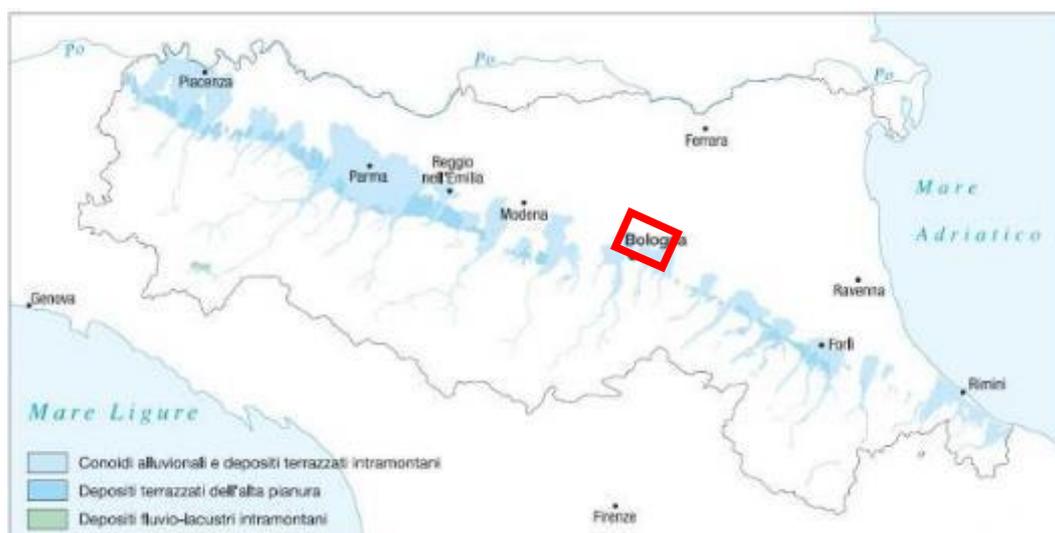


Figura 7-1 - Inquadramento geomorfologico della pianura emiliano – romagnola (da Note illustrative alla carta sismotettonica della regione Emilia-Romagna, scala 1.250.000). In rosso l'area di interesse.

7.1 EVOLUZIONE DELLA PIANURA E DEL RETICOLO IDROGRAFICO

L'evoluzione della pianura olocenica compresa tra Bologna e Ferrara è riconducibile ad un modello semplice nelle linee generali: i corsi d'acqua appenninici, a valle delle conoidi pedemontane - poco attive durante l'Olocene ed oggi prevalentemente in erosione - proseguono fino al collettore principale, attraversando una pianura interessata da fenomeni di subsidenza e di sollevamento differenziale legati a fattori sia tettonici sia sedimentari.

La velocità di subsidenza naturale (circa 2 mm/anno nel bolognese) condiziona la velocità di accrezione verticale, ma la sua variazione differenziale condiziona anche la distribuzione spaziale dei corsi d'acqua. L'accrezione della pianura emiliano-romagnola avviene perciò sia orizzontalmente sia verticalmente.

Nelle zone subsidenti, ove il drenaggio è minimo, i corsi d'acqua naturali tendono a tracimare formando ventagli di esondazione e di rotta fluviale che creano vaste zone umide con deposizione di limi argillosi, argille e torbe.

La distribuzione delle litologie in superficie e nel primo sottosuolo, così come l'assetto morfologico della pianura, sono quindi strettamente legati ai processi di subsidenza differenziale, di erosione/sedimentazione e alla loro disposizione nel tempo. La figura seguente riporta la situazione geografica della pianura bolognese

attorno nel 1761. L'evidente presenza di vaste aree occupate da zone di espansione dei corsi d'acqua superficiali (paludi, acquitrini stagionali) testimonia le difficoltà di drenaggio connesse all'evoluzione geostrutturale profonda della pianura ed alla presenza dei rilievi costituiti dai depositi sabbiosi (dossi fluviali) dei maggiori fiumi.

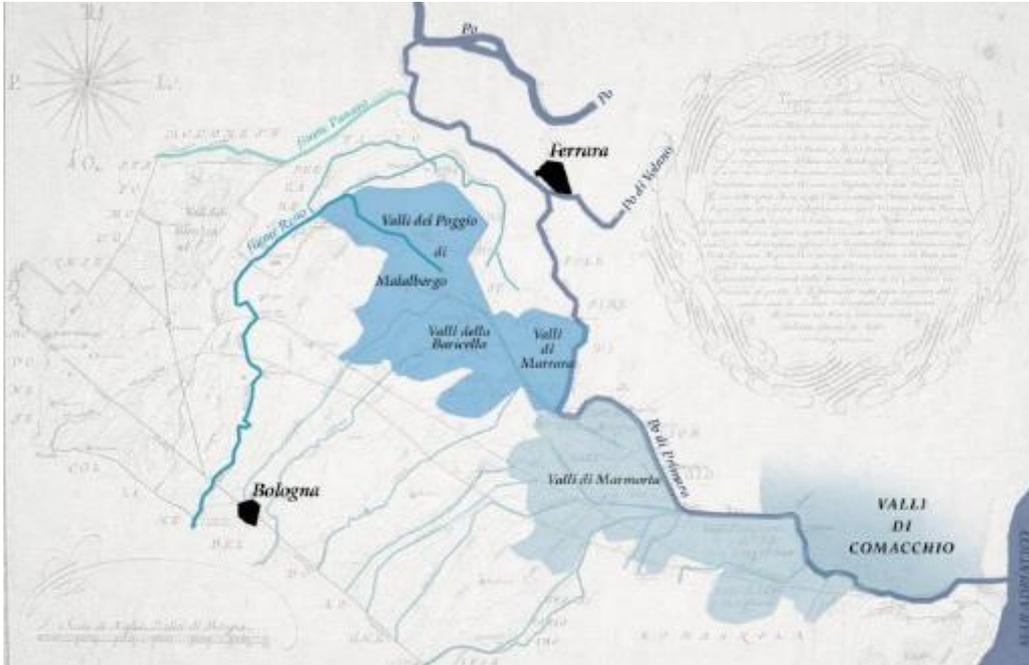


Figura 7-2 - Carta risalente al 1761 che riporta il reticolo idrico a ridosso del Reno e del Po di Primario

Questo vasto sistema di zone umide è stato oggetto delle bonifiche che, soprattutto a partire dagli ultimi decenni del 1800, si sono succedute nel tempo fino a produrre l'assetto attuale della pianura. Tale assetto è caratterizzato dalla "pensilità" dei corsi d'acqua, dalla necessità di drenaggio dei bacini interfluviali mediante il sollevamento artificiale delle acque, dalla presenza di vaste aree di pianura depressa di forma per lo più ellissoidica (conche morfologiche) ed infine da morfologie allungate nella direzione del drenaggio e topograficamente rilevate sulla restante pianura (dossi fluviali).

In particolare, l'andamento del drenaggio è condizionato dall'azione delle faglie inverse che bordano a sud i rilievi collinari bolognesi.

L'attività di una faglia inversa sepolta, sul modello di quelle che esistono al di sotto della Pianura Padana, genera in superficie un'anticlinale (ovvero un'area in sollevamento relativo) e una sinclinale (in subsidenza relativa) (Yeats, 1986; Stein & Yeats, 1989).

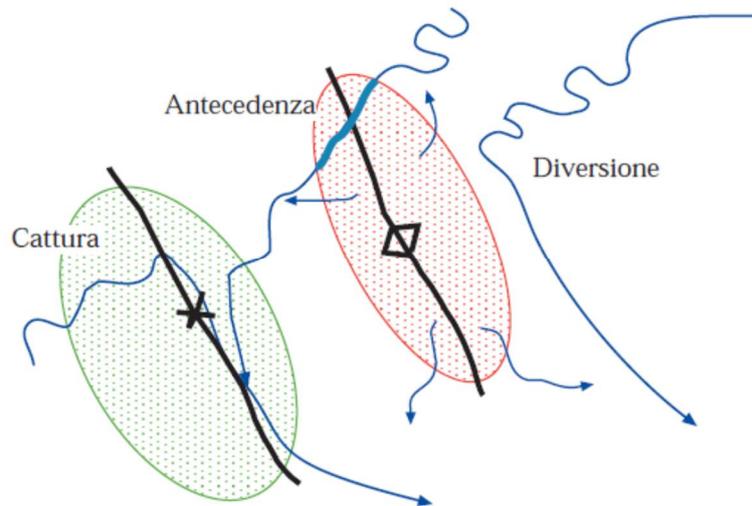


Figura 7-3 - Rappresentazione schematica degli effetti in superficie di una faglia inversa cieca a basso angolo. (da Burrato et al., 1999).

A seconda del rapporto esistente tra eventi tettonici ed eventi di sedimentazione, questi elementi strutturali possono o meno avere una espressione morfologica rilevabile. In particolare, se la deformazione tettonica è maggiore o uguale al tasso di sedimentazione, l'anticlinale sarà rappresentata in superficie da una zona rilevata e soggetta ad erosione, mentre la sinclinale sarà rappresentata da una zona depressa che può fungere da trappola sedimentaria. Si evince che esistono diversi indicatori geomorfologici sensibili all'attività di una faglia sepolta: il semplice andamento della superficie topografica, lo spessore e la forma di corpi sedimentari di riempimento di depressioni, la geometria a grande scala dei corpi geologici superficiali, la tendenza erosiva o deposizionale del reticolo idrografico, l'andamento in pianta delle singole aste fluviali.

Esiste un'ampia letteratura che mostra come il reticolo idrografico della Pianura Padana si sia adattato in maniera estremamente rapida all'evoluzione dell'area (Veggiani, 1974; Castaldini et al., 1979; Veggiani, 1985) e come la gran parte di questi adattamenti sia da imputare direttamente all'attività tettonica e alle conseguenti modificazioni del gradiente topografico, a scale comprese tra i 5 e i 20 km.

In particolare, l'effetto della tettonica sull'idrografia consiste nel generare anomalie nell'andamento delle singole aste, che normalmente dovrebbero rispondere solo al gradiente topografico regionale (ad esempio, da SO verso NE ai piedi dell'Appennino Emiliano-Romagnolo) e dovrebbero quindi apparire quasi rettilinee e perpendicolari ad esso. Tali anomalie consistono in fenomeni di cattura del drenaggio da parte della sinclinale, brusche deviazioni prodotte dall'ostacolo morfologico rappresentato dall'anticlinale stessa, antecedente lungo i tratti fluviali che attraversano perpendicolarmente la zona in sollevamento o progressiva migrazione per le aste che si trovano in una posizione marginale rispetto alla struttura sepolta.

La letteratura identifica una serie di aree ove la presenza di anomalie nell'andamento del drenaggio consente di ipotizzare la presenza di strutture tettoniche attive. Si nota, ad esempio, la brusca deviazione del Fiume Reno da SSO-NNE a NO-SE (anomalia 26 in figura 7-4). La maggior parte delle anomalie si concentra a Sud del fronte dei sovrascorrimenti appenninici più esterni: questa distribuzione sembra ricalcare la distribuzione della sismicità, e suggerisce che alcune delle anomalie non associate a terremoti storici potrebbero essere indicatori di strutture sismogenetiche caratterizzate da tempi di ritorno molto lunghi (>1000 anni).

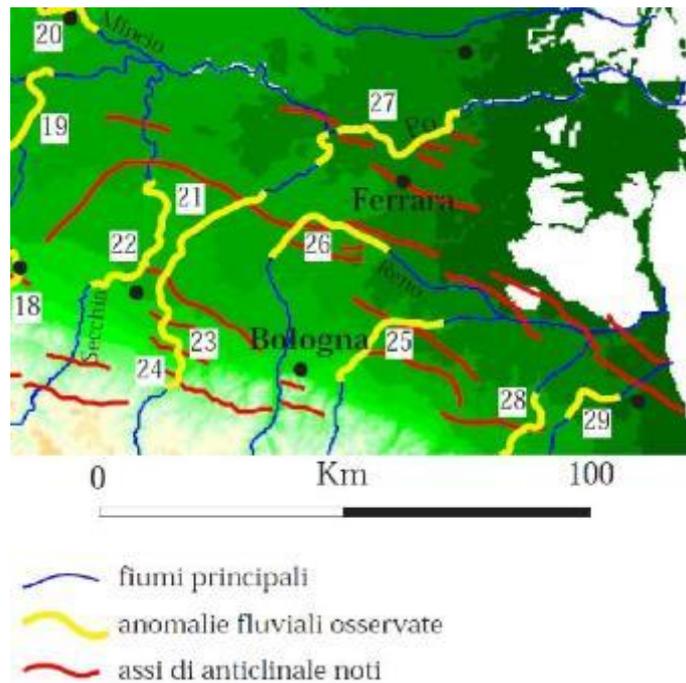


Figura 7-4 - Quadro delle anomalie idrografiche: in giallo i tratti dei corsi d'acqua interessati da anomalie, in rosso gli assi di anticlinale dedotti dalla cartografia geologica ufficiale. Il riquadro azzurro evidenzia l'area di studio (da Burrato et al., 1999).

Di seguito si riporta uno stralcio della Carta geomorfologica della Pianura Padana scala 1:250.000 (Ministero dell'università e della ricerca scientifica e tecnologica) dalla quale è possibile avere una visione d'insieme dell'area, a grande scala

Gli elementi geomorfologici più rilevanti sono rappresentati da dossi fluviali, aree depresse, tracce di corsi fluviali estinti e ventagli d'esondazione.

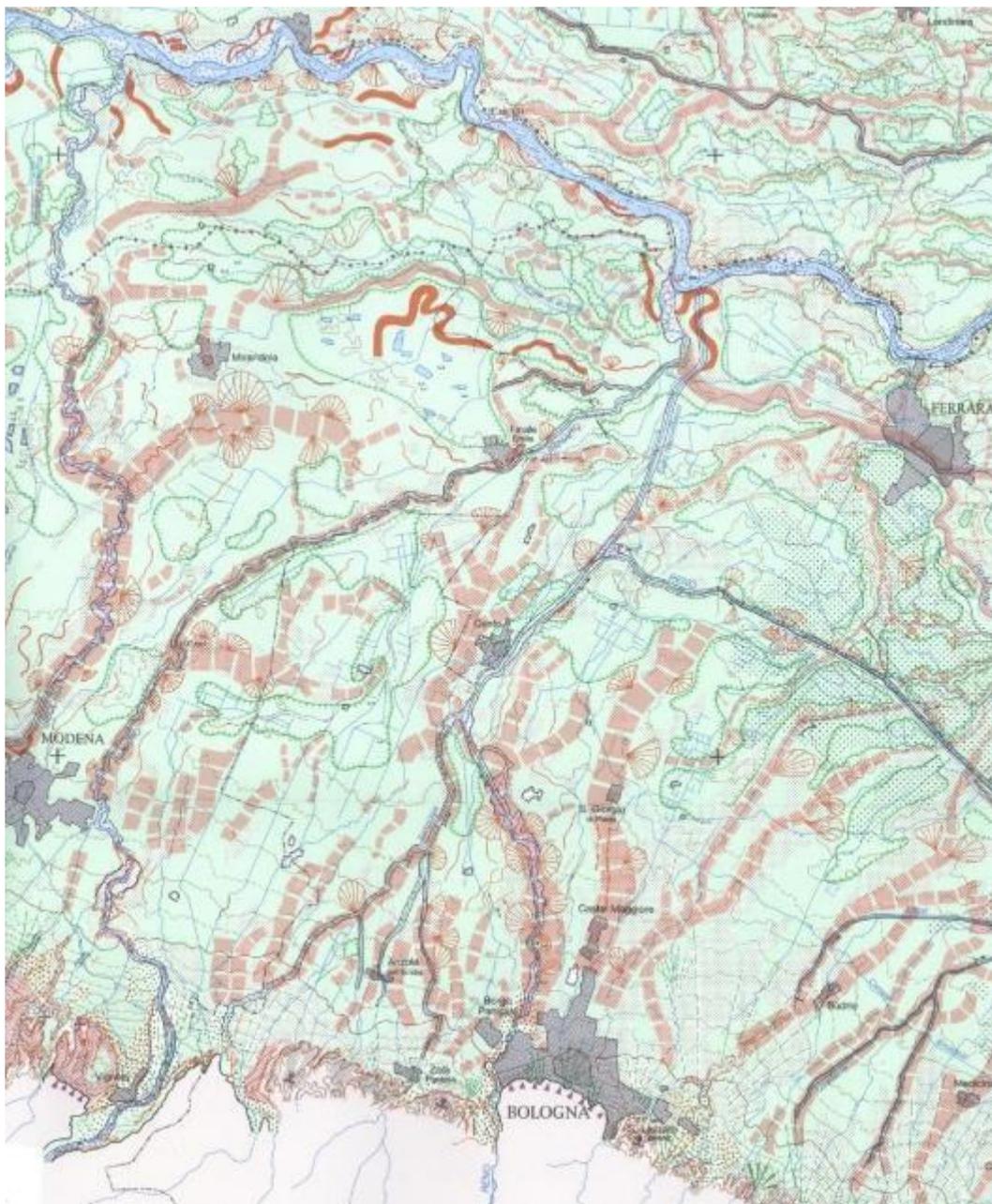


Figura 7-5 - Estratto della carta geomorfologica della Pianura Padana scala 1:250.000 (Ministero dell'università e della ricerca scientifica e tecnologica) Le aree in rosso tratteggiate rappresentano i dossi fluviali, le linee verdi le aree depresse, i poligoni triangolari rossi i ventagli d'erosione, le aree rosso scuro i corsi fluviali estinti

7.2 IDROGRAFIA ED ATTIVITÀ ESTRATTIVE

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

La rete idrografica dell'area di progetto è caratterizzata principalmente dal percorso interregionale del Fiume Reno e del Torrente Savena; entrambi nascono in Toscana e hanno un deflusso generale in direzione nord.

Il Fiume Reno, ad ovest dell'area in esame, sottostante un bacino idrografico di circa 6000 km² di questi poco meno della metà occupano l'area montana; ha una lunghezza complessiva, dalla sorgente più distante

alla foce presso Comacchio, di circa 212 km. Il percorso comprende zone ad elevatissima concentrazione industriale, assai sviluppate ed evolute anche dal punto di vista agricolo.

Il Torrente Savena invece sottostante un bacino montano di circa 170 km², ha una lunghezza complessiva fino alla confluenza nel T. Idice, di circa 54 km.

In epoca storica, una parte dell'acqua del torrente venne convogliata verso Bologna, attraverso la costruzione del Canale di Savena, e da qui deviata fino al torrente Aposa, l'unico torrente naturale che attraversa la città, a sua volta immesso nel Canale Navile. In seguito il percorso del T. Savena venne deviato completamente ed immesso alla sinistra idrografica del T. Idice. Attualmente il percorso naturale del torrente è conosciuto come "Savena Abbandonato".

A completamento dell'idrografia superficiale, concorrono alcuni canali artificiali, realizzati in epoca storica per scopi irrigui e per il trasporto di merci. I più importanti sono il Canale Navile e il Canale Battiferro, che hanno il deflusso in direzione NNE; si annovera inoltre la presenza di una fitta rete di canali minori e di fossi di scolo.

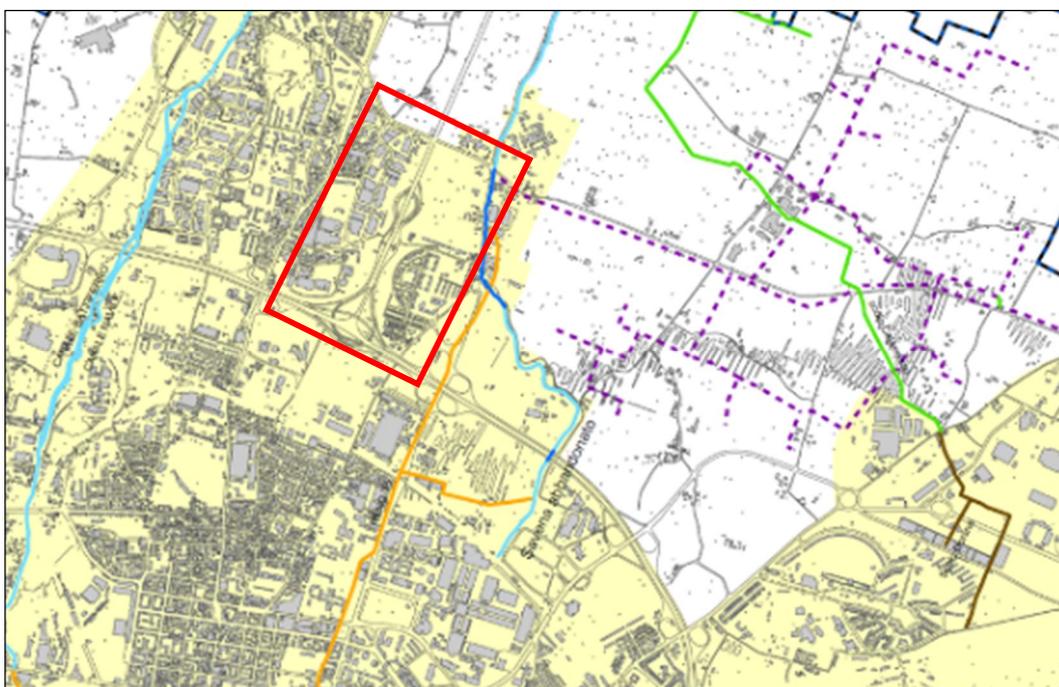


Figura 7-6 - Stralcio della Carta del reticolo idrografico a nord-est di Bologna (da PSC, Bologna modif.)

Un'altra azione molto incisiva sul territorio in esame è l'esistenza di numerose attività estrattive, sia per la qualità dell'inerte (litologia) costituente il sottosuolo bolognese che per la sua vocazione morfologica (area pianeggiante).

Sia il Piano Infraregionale delle Attività Estrattive (P.I.A.E.) del 2013 della Città Metropolitana di Bologna (stralcio di fig. 7-7) che il Piano Attività Estrattive (P.A.E.) del 2020 della Città di Bologna non evidenziano attività nella zona di intervento.

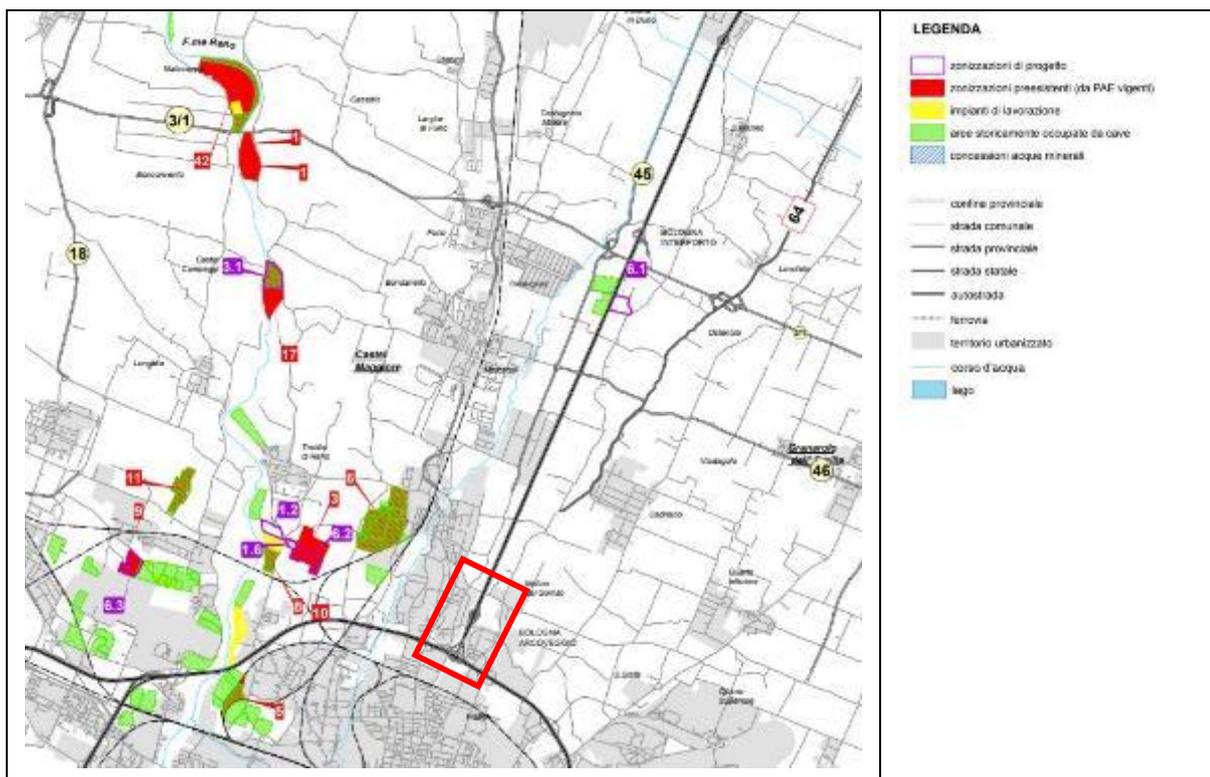


Figura 7-7 – Stralcio carta Previsioni di piano – Tavola 5 Nord (da PIAE 2013). In rosso l'area di intervento.

7.1 GEOMORFOLOGIA AREA DI INTERVENTO

Come accennato, l'area di intervento è caratterizzata da un andamento piano - altimetrico compreso tra i 30 e i 35 m s.l.m. . Elementi rilevanti di modificazioni antropiche dell'area risultano gli assi viari (in particolare le autostrade A14, A13 e tangenziale di Bologna); in particolare si evidenzia la presenza di una notevole duna con funzione antirumore che costeggia l'Asse est da inizio intervento per c.a. 200m (foto seguente):



Foto 7-1 – Duna antirumore presente a tergo dell'Asse est dell'intervento.

8 ANALISI DELLA CARTOGRAFIA PRODotta DAGLI ENTI

La pianificazione territoriale è guidata dalle norme dei seguenti Piani vigenti: Piano di Assetto Idrogeologico (PAI), Piano di Coordinamento Gestione Rischi Alluvioni (PGRA), Piano Territoriale Metropolitan (PTM), Piano Strutturale (PSC) del comune di Bologna. Nei paragrafi seguenti vengono descritti i dettagli dei piani.

8.1 PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI)

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

Il referente della pianificazione territoriale nei confronti della pericolosità idraulico-geologica per l'area di interesse rimane l'Autorità di Bacino del Reno, che ha stilato attraverso la stesura delle Norme, i cosiddetti Piani Stralcio di Assetto Idrogeologico relativi al bacino idrografico di riferimento. Essi rappresentano sostanzialmente il risultato della modellazione geologica e idraulica. I Piani Stralcio dell'Autorità di Bacino del Fiume Reno, sia per l'estensione geografica (Regione Toscana ed Emilia-Romagna) sia per i caratteri geomorfologici intrinseci, si compone di n°4 Piani Stralcio di Sottobacino la cui delimitazione è rappresentata nella figura seguente (Fig. 8-1):

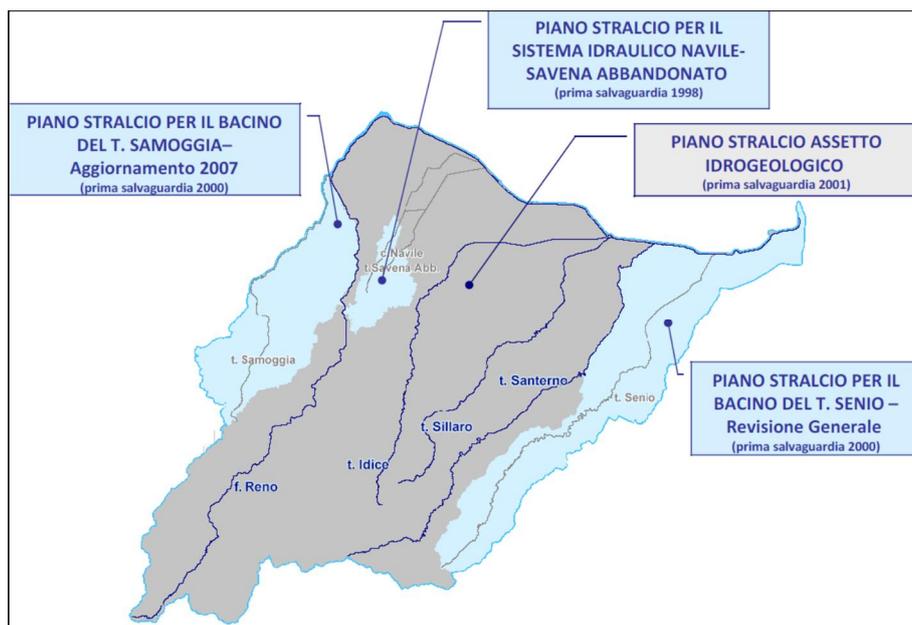


Figura 8-1 - Piani stralci vigenti nel bacino del F. Reno (modif. da Relazione PGRA)

Il piano riporta i seguenti elementi di zonazione:

- **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.
- **Fasce di Pertinenza Fluviale:** insieme delle aree all'interno delle quali si possono far defluire con sicurezza le portate caratteristiche di un corso d'acqua, comprese quelle relative ad eventi estremi con tempo di ritorno (TR) fino a 200 anni, mediante opere di regimazione a basso impatto

ambientale e interventi necessari a ridurre l'artificialità del corso d'acqua e a recuperare la funzione di corridoio ecologico; fanno inoltre parte della fascia di pertinenza fluviale i terrazzi idrologicamente connessi, le aree da salvaguardare e regolamentare per ridurre i rischi di inquinamento dei corsi d'acqua e/o di innesco di fenomeni di instabilità dei versanti.

- **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.

Tali elementi non ricadono nell'area di interesse.

8.2 PIANO TERRITORIALE METROPOLITANO (PTM)

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

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

Nel P.T.M., relativamente agli emungimenti della falda acquifera, la normativa vigente identifica una zona di tutela assoluta ricadente in un'area circolare con raggio di 10 m da ogni singolo pozzo ed una zona di rispetto ricadente invece in un'area circolare con raggio di 200 m individuata geometricamente.

8.3 PIANO STRUTTURALE COMUNALE (PSC) E PIANO URBANISTICO GENERALE (PUG)

In riferimento alla Tavola dei Vincoli "Risorse idriche e Assetto idrogeologico" del Piano Strutturale Comunale 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 circonda tali spazi e che interagisce meccanicamente o idraulicamente con le masse d'acqua contenute in essi e di ogni elemento che partecipa alla determinazione del regime idraulico delle masse d'acqua medesime, con riferimento a eventi di pioggia con tempi di ritorno di 5-10 anni. Gli alvei attivi sono destinati al libero deflusso delle acque e alle opere di regimazione idraulica e di difesa del suolo.
- **Fasce di tutela fluviale:** comprendono le aree significative ai fini della tutela e valorizzazione dell'ambiente fluviale dal punto di vista vegetazionale e paesaggistico, e ai fini del mantenimento e recupero della funzione di corridoio ecologico, o ancora ai fini della riduzione dei rischi di inquinamento dei corsi d'acqua e/o di innesco di fenomeni di instabilità dei versanti; comprendono inoltre le aree all'interno delle quali si possono realizzare interventi finalizzati a ridurre l'artificialità del corso d'acqua. La finalità primaria delle fasce di tutela fluviale è quella di mantenere, recuperare e valorizzare le funzioni idrauliche, paesaggistiche ed ecologiche dei corsi d'acqua.
- **Fasce di pertinenza fluviale:** sono definite come aree latitanti i corsi d'acqua che, anche in relazione alle condizioni di connessione idrologica dei terrazzi, possono concorrere alla riduzione dei rischi di inquinamento dei corsi d'acqua e/o di innesco di fenomeni di instabilità dei versanti, al deflusso delle acque sotterranee, nonché alle funzioni di corridoio ecologico e di qualificazione paesaggistica; comprendono inoltre le aree all'interno delle quali si possono realizzare interventi finalizzati a ridurre l'artificialità del corso d'acqua. La finalità primaria delle fasce di pertinenza fluviale è quella di mantenere, recuperare e valorizzare le funzioni idrogeologiche, paesaggistiche ed ecologiche degli ambienti fluviali.
- **Aree ad alta probabilità di inondazione:** le aree ad alta probabilità di inondazione sono quelle passibili di inondazione e/o esposte alle azioni erosive dei corsi d'acqua per eventi di pioggia con tempi di ritorno inferiori o uguali a 50 anni. La finalità della tutela è quella di ridurre il rischio idraulico,

salvaguardando nel contempo le funzioni idrauliche, paesaggistiche ed ecologiche dei corsi d'acqua.

- **Aree per la salvaguardia delle acque destinate al consumo umano:** sono le aree individuate intorno alle opere di captazione di acque ad uso potabile (pozzi e sorgenti d'acqua) come zona di tutela assoluta (area ricadente entro un raggio di 10 metri) e zona di rispetto, individuata secondo criterio geometrico (area ricadente entro un raggio di 200 metri). Le aree di salvaguardia concorrono alla protezione delle risorse idriche sotterranee.

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

Per quanto riguarda il Piano Urbanistico Generale del Comune di Bologna, di seguito si riporta uno stralcio della Carta della carta geomorfologica di pianura e della carta del sottosuolo (2008); il settore a NE del progetto è interessato dalla presenza di un dosso fluviale;

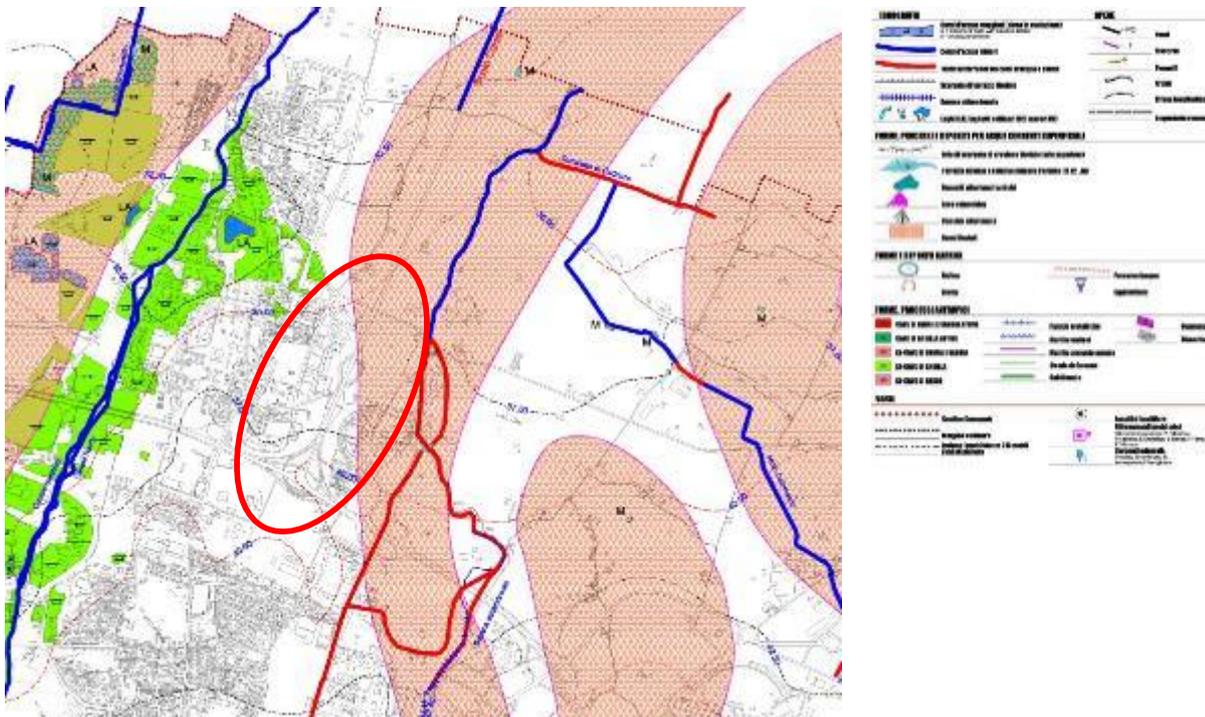
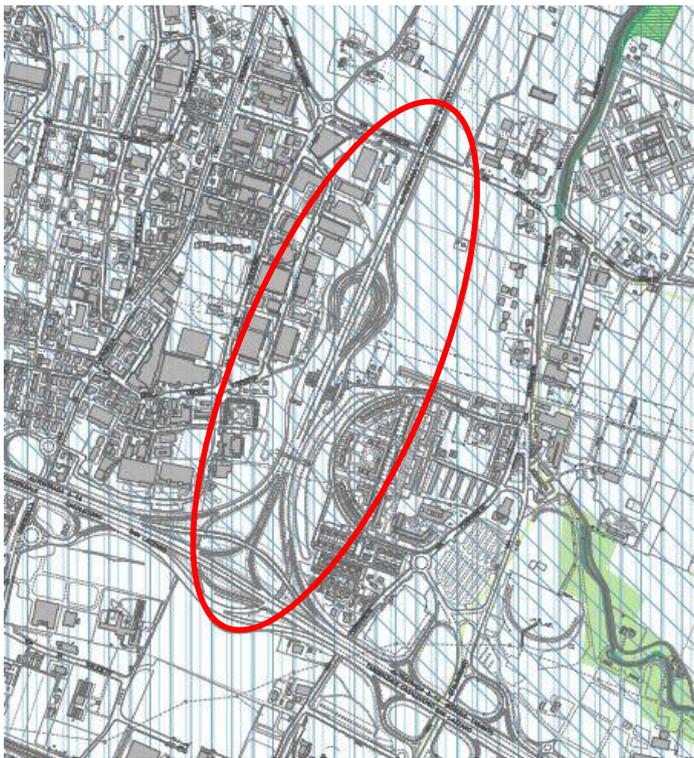


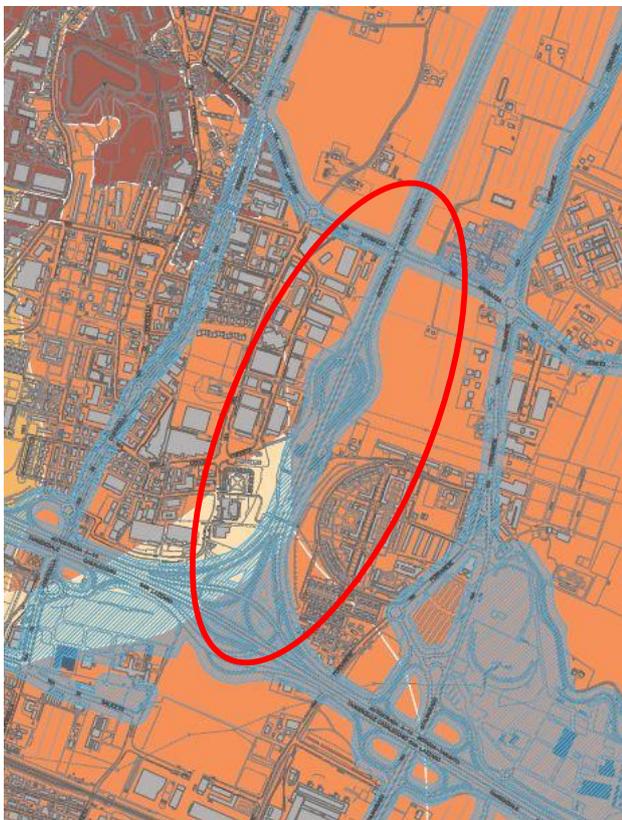
Figura 8-2 - Piano Urbanistico del Comune di Bologna (2008) – Carta geomorfologica di pianura – Tavola 3.2

Il 29-09-2021 è stato approvato il nuovo Piano Urbanistico Generale del Comune di Bologna, di cui si riporta uno stralcio inerente le Tavole dei Vincoli "Risorse idriche e assetto idrogeologico" (fig. 8-3) e "Rischio sismico" (Fig. 8-4).



- Alvei attivi e invasi dei bacini idrici
- Reticolo idrografico coperto
- Fasce di tutela fluviale
- Fasce di pertinenza fluviale
- Aree a rischio inondazione 200 anni
- Aree ad alta probabilità di inondazione

Figura 8-3 - Piano Urbanistico Generale del Comune di Bologna (2021) – “Risorse idriche e assetto idrogeologico”.



- Microzone omogenee in prospettiva sismica
- Zone stabili suscettibili di amplificazioni 1A
 - x Zone stabili suscettibili di amplificazioni 1B (sottozone 1Ba - 1Bb - 1Bc)
 - Zone di attenzione per liquefazione 2A
 - Zone di attenzione per instabilità di versante 2B
 - Zone di attenzione per cedimenti differenziali 2C

Figura 8-4 - Piano Urbanistico Generale del Comune di Bologna (2021) – “Rischio sismico”.

8.4 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.

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

L'area qui considerata ricade attualmente all'interno del "Distretto Idrografico del Fiume Po" dopo la soppressione dell'"Autorità di bacino interregionale del fiume Reno" avvenuta per legge alcuni anni fa (vedi Fig. 8-5).



Figura 8-5 – Distretti idrografici 2018 (in colore rosa il distretto del Fiume Po).

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

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

Dal 16 maggio 2020 è presente sul sito web “Mokagis” della Regione Emilia Romagna la nuova cartografia interattiva delle mappe della pericolosità e del rischio alluvioni (<https://servizimoka.regione.emilia-romagna.it/mokaApp/apps/DA/index.html>), dov’è, tra l’altro, possibile confrontare le mappe della pericolosità e del rischio redatte nel 2019, con quelle precedenti elaborate nel 2014. Tali ambiti possono essere visionati anche nel sito web del nuovo PTM della Città Metropolitana di Bologna (<https://cartografia.cittametropolitana.bo.it/ptmtav3>).

Nella fig. seguente si riporta uno stralcio degli scenari di pericolosità idraulica afferenti l’area di intervento, che ricade interamente nell’ambito a pericolosità media (P2):



Figura 8-6 - Piano Gestione Rischio Alluvioni - Mappa di pericolosità delle aree potenzialmente interessate da alluvioni.

Si evidenzia che appena a nord-est dell’intervento è presente una limitata area a pericolosità alta (P3), corrispondente al Canale Savena Abbandonato.

9 ALTRI ELEMENTI

9.1 SUBSIDENZA

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

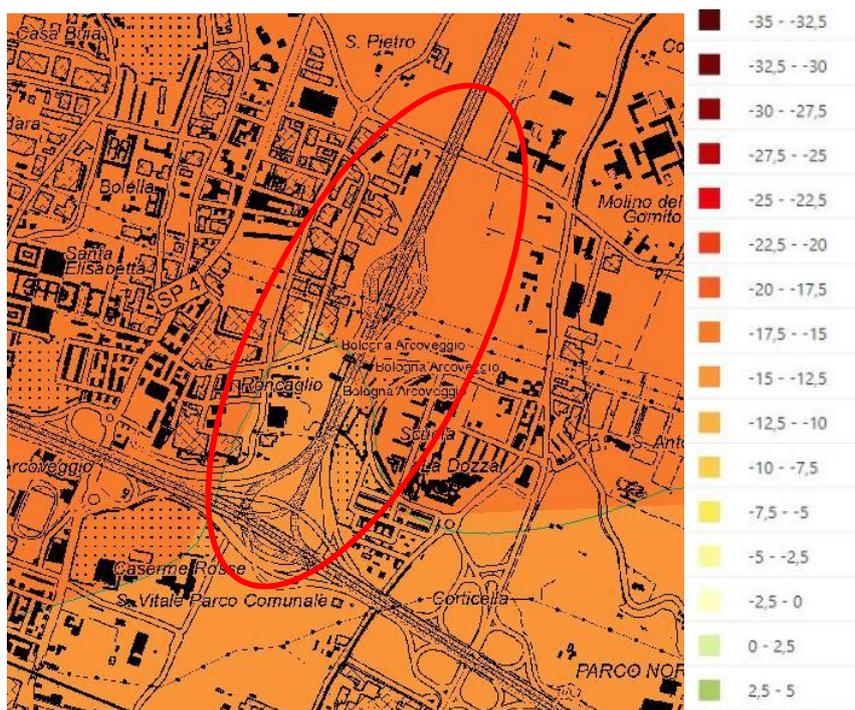


Figura 9-1 - Isocinetiche e legenda relative al periodo 2006-2011 (in rosso l'area di intervento).

In sintesi si può osservare che la subsidenza riferibile all'area di intervento per il periodo 2006-2011 risulta compresa tra -12,5 e -17,5mm/anno.



Figura 9-2 - Isocinetiche e legenda relative al periodo 2011-2016 (in rosso l'area di intervento).

In sintesi si può osservare che la subsidenza riferibile all'area di intervento per il periodo 2011-2016 risulta compresa tra 0 e -2,5mm/anno.

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

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

9.2 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. 9-3 e 9-4, tratte dal sito del Ministero dello Sviluppo Economico e aggiornate al dicembre 2017.

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

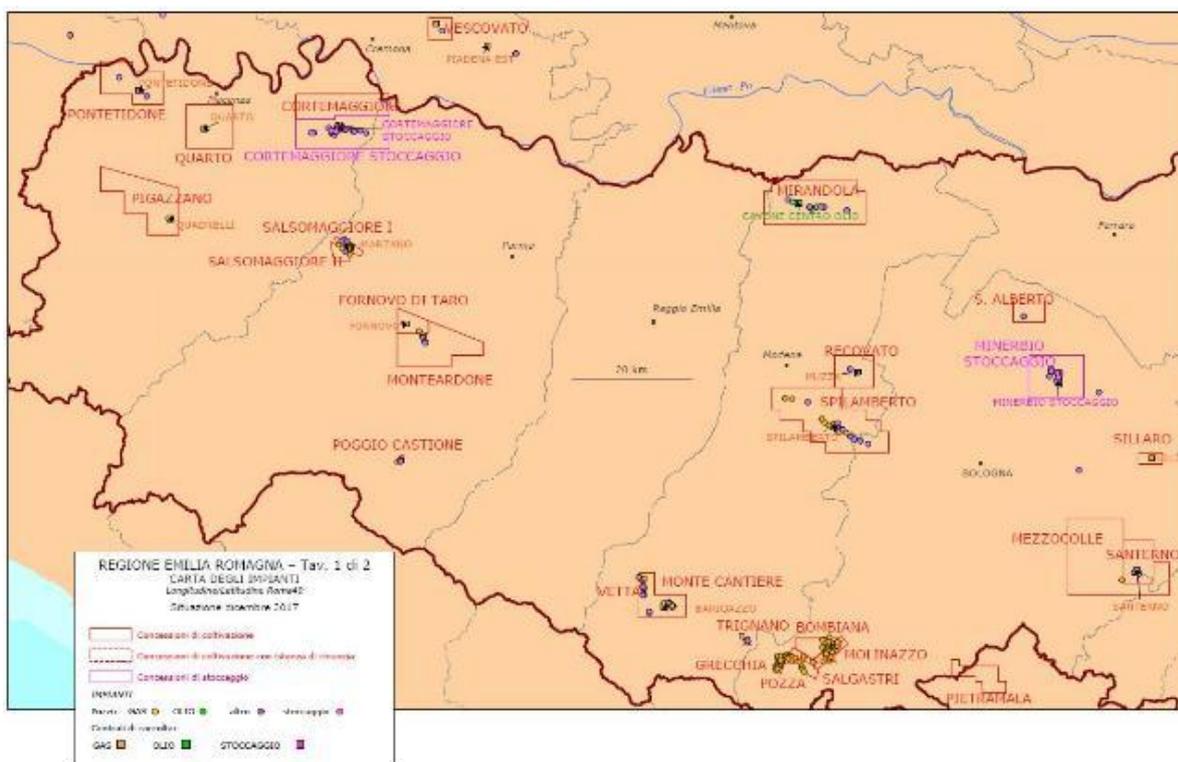


Figura 9-3 - Carta impianti olio-gas (<http://unmig.sviluppoeconomico.gov.it/dgrme/dgrme.asp>).

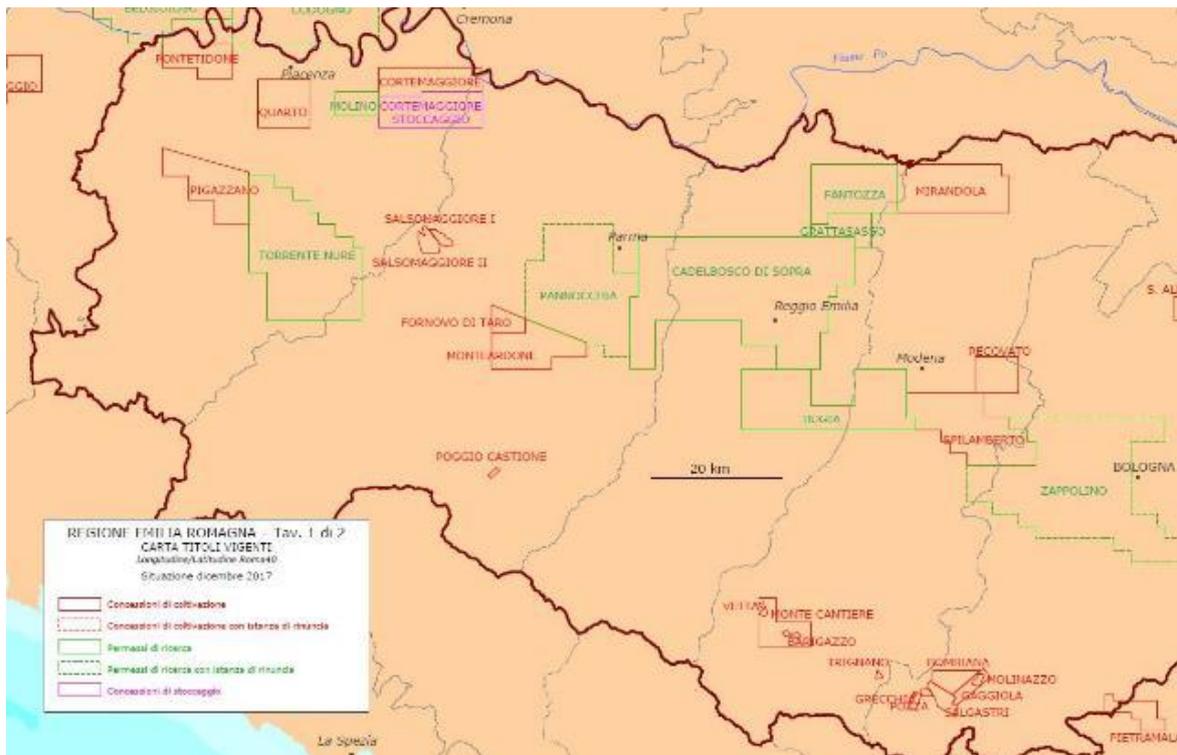


Figura 9-4- Carta titoli minerari vigenti (<http://unmig.sviluppoeconomico.gov.it/dgrme/dgrme.asp>).

Si riferisce inoltre che 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. 9-5).



Figura 9-5 – Fuoriuscite di gas da pozzi per acqua e/o dal terreno (da Geoportale RER)

9.3 SINKOLE

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

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

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

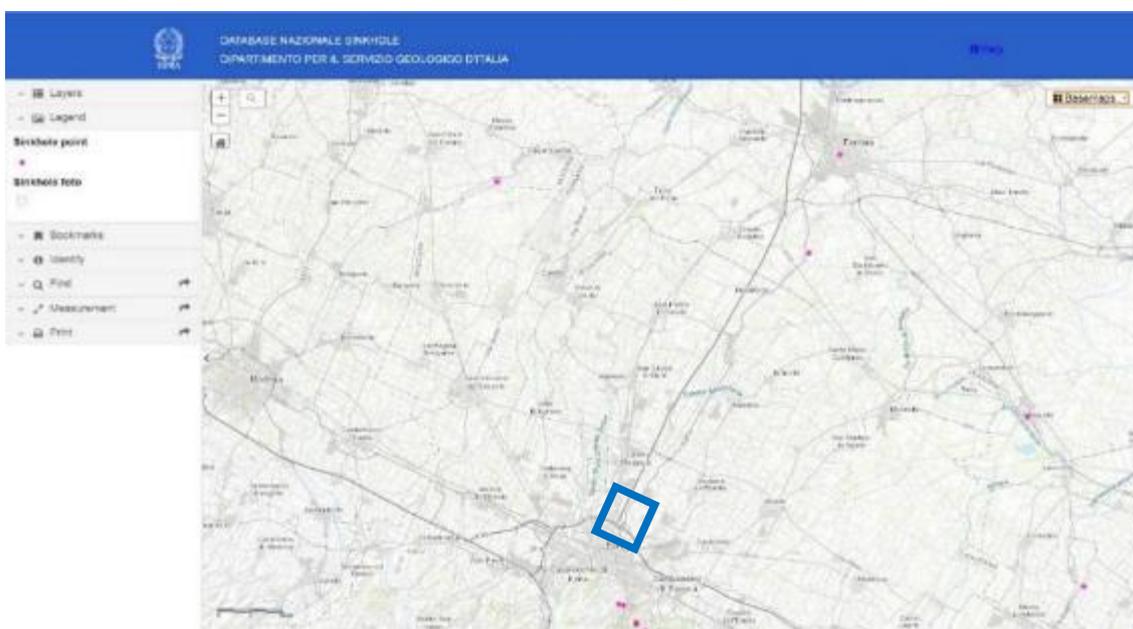


Figura 9-6 - Distribuzione dei sinkhole (punti rosa) nell'intorno dell'area di interesse (in colore blu)- APAT - <http://sgi.isprambiente.it/sinkholeweb/viewer/index.html>

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. 9-7):

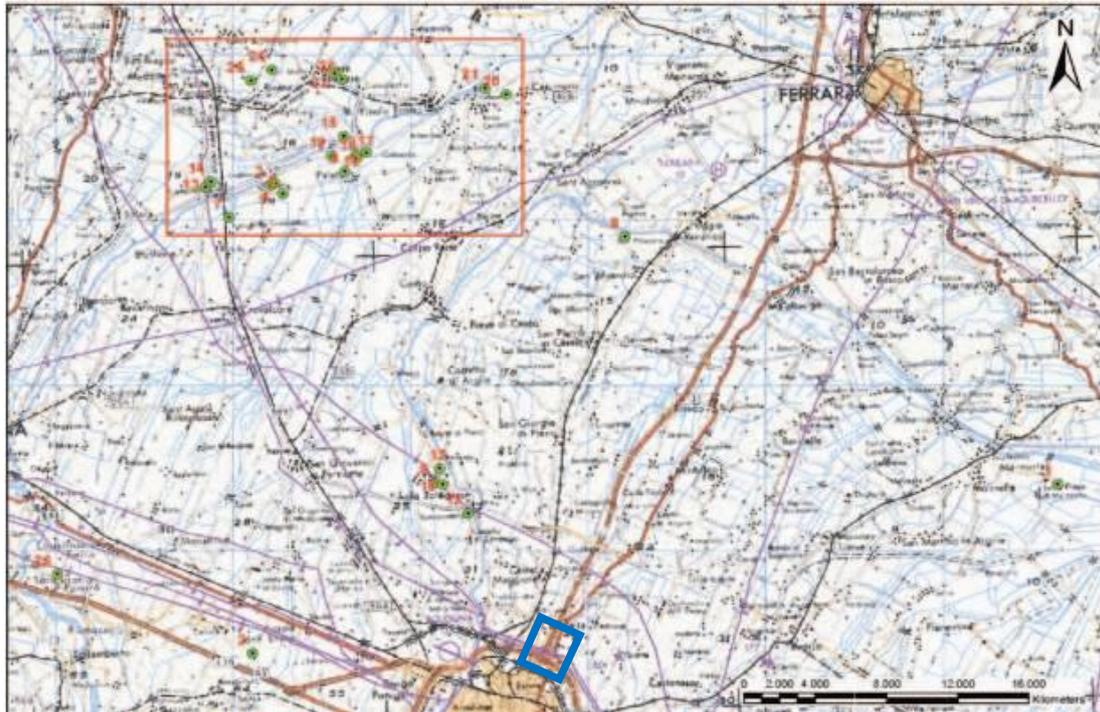


Figura 9-7 - Ubicazione Sinkhole area nord di Bologna; in verde i punti in cui si sono registrati fenomeni di sprofondamento ed in blu l'area di intervento.

10 REDAZIONE DELLA CARTOGRAFIA TEMATICA

In questo capitolo si fa specifico riferimento ai documenti di sintesi a tema geologico-geomorfologico ed idrogeologico allegati al presente progetto ed in particolare a: "planimetria geologica" in scala 1:5.000 "con profili geologici longitudinali" in scala 1:5000/500 eseguiti in asse progetto "est" ed asse progetto "ovest", "planimetria idrogeologica" in scala 1:5.000 "con profili idrogeologici longitudinali" in scala 1:5000/500 eseguiti in asse progetto "est" ed asse progetto "ovest", "planimetria geomorfologica" in scala 1:5.000, "planimetria della Pericolosità idraulica" in scala 1:5.000, "Planimetria di ubicazione delle indagini geognostiche" in scala 1:5.000.

Per quanto concerne gli elementi geologici, nella planimetria geologica sono state riportate:

1. le Unità stratigrafiche e gli elementi strutturali derivati dal CARG;
2. le distinzioni granulometriche dei terreni superficiali individuati dalla Regione Emilia-Romagna nella cartografia a scala 1:10.000, mediante appositi soprassegni (da Webgis Regione Emilia) ed relativi sistemi deposizionali.
3. Gli elementi strutturali quali le faglie sepolte (da CARG).

Il foglio CARG a scala 1:50.000 adotta la suddivisione dei depositi quaternari in alloformazioni, distinguendo vari Supersintemi e Sintemi.

In una unità allostratigrafica le caratteristiche interne (litologiche, tessiturali, fisiche, chimiche, paleontologiche, ecc.) possono variare sia lateralmente, sia verticalmente. I limiti delle unità allostratigrafiche sono costituiti da superfici di discontinuità cartografabili che corrispondono a lacune stratigrafiche (per erosione o mancata sedimentazione) di estensione cronologica ed areale significativa.

Suoli e paleosuoli non entrano direttamente nella definizione di unità allostratigrafiche, ma i caratteri dell'alterazione, i suoli e i paleosuoli possono concorrere a identificare le superfici che delimitano l'unità.

I criteri utilizzati dagli autori del progetto CARG per distinguere le differenti unità non tiene conto di elementi puramente litologici; i depositi, infatti, sono riconducibili ad eventi deposizionali geneticamente assimilabili, ma differiti nel tempo e quindi tutte le unità presentano caratteristiche granulometriche simili e si differenziano fra loro in base a criteri prevalentemente geometrici (sovrapposizione reciproca). Viceversa la distinzione dei corpi geologici è stata affidata a fattori rilevabili in sito quali la morfologia (terrazzi, salti e ribassi morfologici, etc.) ed il grado d'alterazione (colore).

Da ultimo, in planimetria sono stati riportati i principali riporti antropici.

Nei profili geologici in scala 1:5000/500 e scala 1:5000/5000 sono state rappresentate tutte le verticali di indagine disponibili nei dintorni degli assi (sondaggi, pozzetti, prove penetrometriche, pozzi), differenziando i livelli prevalentemente sabbioso-ghiaiosi dai livelli limoso-argillosi, introducendo così una discriminante di maggiore rilevanza geotecnica.

Ciò ha consentito l'individuazione di due classi principali di terreni, suddivise in funzione della composizione granulometrica prevalente:

- terreni a prevalente frazione limoso - argillosa
- terreni a prevalente frazione sabbiosa - ghiaiosa

Sui profili è stata inoltre riportata una possibile posizione del limite tra i subsintemi AES8 ed AES7, derivato da quanto indicato nelle sezioni CARG che intersecano il tracciato ed adattato alle risultanze dei carotaggi (es livelli torbosi/carboniosi e paleosuoli che la letteratura considera un buon marker per differenziare queste unità); esistono tuttavia orizzonti simili al marker disposti anche a livelli stratigrafici differenti.

In generale i limiti tra le unità deposizionali sono marker temporali, definiti sulla base delle analisi di carotaggi specificatamente concepiti, su datazioni al C14, sulla presenza di resti archeologici, sul contenuto/tipo di pollini imprigionati nel sedimento, etc.

Per quanto riguarda il limite inferiore dell'Unità di Modena AES8a (presente in superficie), esso rappresenta una superficie di erosione fluviale correlata ad un suolo non calcareo (o scarsamente calcareo) contenente resti di epoca romana (da datazione archeologica); pertanto la differenziazione con il sottostante Subsistema AES8 non ha in generale un riscontro di tipo litotecnico.

Per questi motivi si è optato di non differenziare AES8a da AES8, riportando in profilo geologico una distinzione tra corpi a diversa granulometria, aspetto che assume grande importanza dal punto di vista geotecnico.

Dal punto di vista granulometrico l'asse di progetto risulta diffusamente interessato da terreni compressibili (granulometria prevalentemente fine), di natura limoso - argillosa, all'interno dei quali sono presenti lenti di sabbia e ghiaia di spessore variabile. Un elemento tipico di questo ambiente di sedimentazione è rappresentato dalla diffusa variabilità sia in senso verticale, per il succedersi nel tempo degli eventi alluvionali, sia in senso orizzontale, per la divagazione laterale dei canali principali di scorrimento delle acque di piena.

Nota la natura fortemente eteropica dei depositi alluvionali, sono stati evidenziati solamente i corpi a maggiore spessore con sabbie prevalenti; la forma e l'estensione delle lenti sabbioso-ghiaiose riportate in profilo deve essere assunta come indicativa.

Appare significativo sottolineare la presenza di livelli e/o concrezioni torbose, nonché resti lignei rinvenuti sia nei terreni prettamente coesivi che nelle sabbie fini: per ottenere informazioni dettagliate circa i livelli organici è possibile fare riferimento a quanto riportato nelle singole stratigrafie.

Per quanto attiene alla cartografia geomorfologica, in legenda sono stati riportate:

- Forme naturali dovute a processi fluviali, quali l'idrografia, l'antica direzione di scorrimento fluviale (paleoalveo) e i dossi fluviali (da P.S.C. Bologna);
- Forme di origine antropica, quali gli orli di scarpata antropica/infrastrutturale, le aree urbanizzate (da Città metropolitana di Bologna) ed i riporti antropici/rilevati stradali principali.

La planimetria della pericolosità idraulica evidenzia le aree a differente pericolosità legata alla dinamica del reticolo idrografico (da P.G.R.A.). Nell'area di interesse non risultano presenti vincoli di natura idraulica da P.A.I.

Nella Planimetria di ubicazione delle indagini sono riportate tutte le indagini geognostiche e pozzi suddivisi per tipologia e progetto da cui sono stati derivati.

Nella Planimetria Idrogeologica la legenda mette in luce i seguenti tematismi principali:

- unità idrogeologiche del complesso idrogeologico più superficiale (Complesso Acquifero A0);
- punti d'acqua (pozzi) suddivisi per tipologia (da Database RER);
- linee isopiezometriche in m s.l.m. ed equidistanza 1m, ricostruite in base alla campagna di misure di febbraio-marzo 2021 effettuate nell'ambito degli studi afferenti il Passante di Bologna;
- principale direzione di deflusso relativo alla falda superficiale principale;
- indagini geognostiche realizzate in diverse fasi temporali;
- reticolo idrografico

Da ultimo, in planimetria sono stati riportati i principali riporti antropici.

Nei profili idrogeologici in scala 1:5000/500 e scala 1:5000/5000 sono state rappresentate tutte le verticali di indagine disponibili nei dintorni degli assi (sondaggi, pozzetti, prove penetrometriche, pozzi). E' stata inoltre riportata una possibile posizione del limite tra i subsistemi AES8 ed AES7, derivato da quanto indicato nelle sezioni CARG che intersecano il tracciato ed adattato alle risultanze dei carotaggi (es. livelli torbosi/carboniosi e paleosuoli che la letteratura considera un buon marker per differenziare queste unità); si specifica che esistono tuttavia orizzonti simili al marker disposti anche a livelli stratigrafici differenti.

Sul profilo sono stati inoltre indicati i livelli piezometrici disponibili (soggiacenza in m. da p.c.) registrati e relativa data di misura, ed il livello correlato della falda superficiale principale (che non rappresenta la falda di progetto) scaturita dal modello geostatistico presentato, nonché il livello correlato della falda superficiale a carattere locale (basata sulle misurazioni registrate nel mese di luglio 2018 durante le prove penetrometriche CPTUx-PE e dal datalogger installato nel sondaggio PB17bis in ambito Passante di Bologna).

11 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. 11-1).

| 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 | DILUVIUM p.p. | FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE | FORMAZIONE DI OLIVATELLO | UNITA' DI VILLA DEL BOSCO | UNITA' DI CA' DI SOLA | SUPER SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO | SINTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE | UNITA' DI BORGO PANIGALE | ORIZZONTE DI FOSSOLO | ALLUVIONI / QUATERNARIO MARINO E SABBIE DI ASTI | ~0.12 | PLEISTOCENE SUPERIORE - OLOCENE | 0.125 | A | A0 |
| | | | | | | | | | | | | A1 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | A2 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | A3 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | A4 | | | | |
| ~0.35-0.45 | PLEISTOCENE MEDIO | B | B1 | | | | | | | | | | | | | |
| B2 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B3 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| B4 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ~0.65 | PLEISTOCENE INFERIORE | | C | C1 | | | | | | | | | | | | |
| ~0.8 | | C2 | | | | | | | | | | | | | | |
| ~1.0 | | C3 | | | | | | | | | | | | | | |
| ~2.2 | | C4 | | | | | | | | | | | | | | |
| ~3.3-3.6 | | PLIOCENE MEDIO - SUPERIORE | | C5 | | | | | | | | | | | | |
| ~3.9 | PLIOCENE INFERIORE MIOCENE | ACQUITARDO BASALE | | | | | | | | | | | | | | |
| QUATERNARIO MARINO | MILAZZIANO SABBIE di CASTELVETRO p.p. SABBIE GIALLE di IMOLA p.p. | MILAZZIANO e CALABRIANO p.p. SABBIE di CASTELVETRO p.p. SABBIE GIALLE di IMOLA p.p. | CALABRIANO p.p. SABBIE di MONTERICCO FORMAZIONE di TERRA del SOLE p.p. | CALABRIANO p.p. FORMAZIONE di CASTELL'ARQUATO p.p. | SUPER SISTEMA DEL QUATERNARIO MARINO | SUBSISTEMA QUATERNARIO MARINO 3' | SUBSISTEMA QUATERNARIO MARINO 3 | SINTEMA QUATERNARIO MARINO 2 | SINTEMA QUATERNARIO MARINO 1 | P2 | FORMAZIONE di CASTELL'ARQUATO p.p. | ~0.65 | 0.89 | C | | |
| | | | | | | | | | | | | ~0.8 | 1.72 | | | |
| | | | | | | | | | | | | ~1.0 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | ~2.2 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | ~3.3-3.6 | 3.55 | | | |
| | | | | | | | | | | | | ~3.9 | | | | |

Figura 11-1 - 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. 11-2 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:

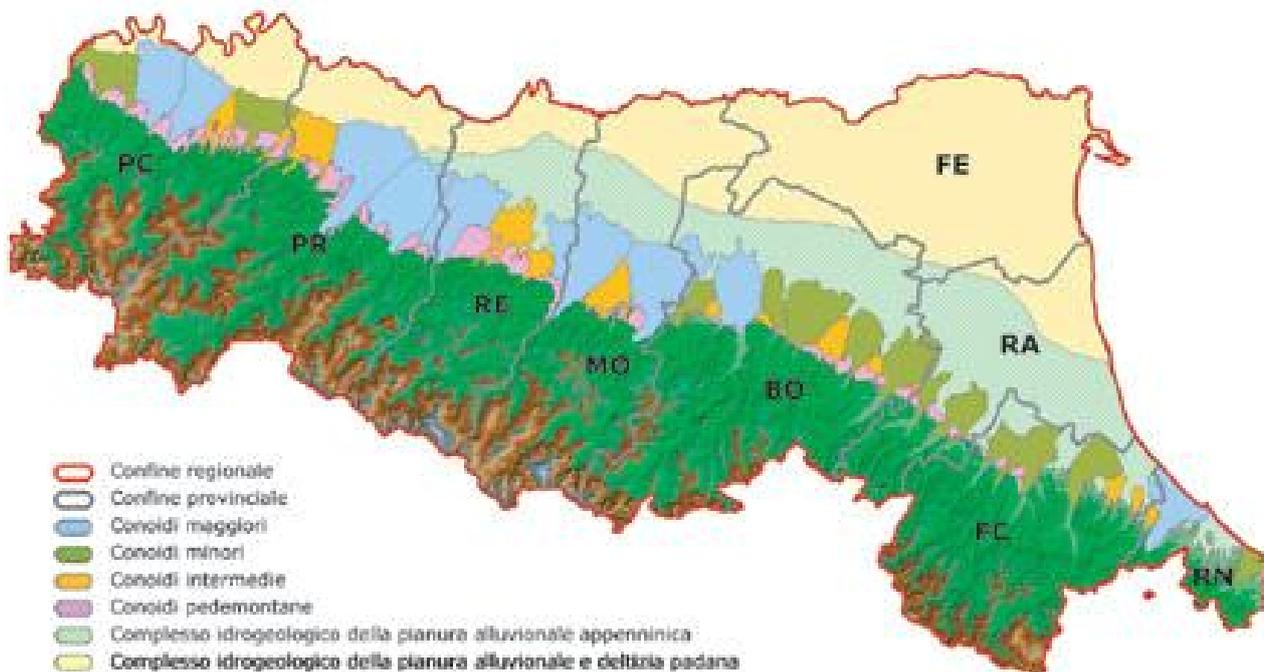


Figura 11-2 - Distribuzione delle conoidi e dei complessi idrogeologici all'interno del gruppo acquifero A

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. 11-3 che attraversa tutta la pianura da sud a nord, ovvero dal margine appenninico - che separa gli acquiferi montani da quelli di pianura – sino al Fiume Po.

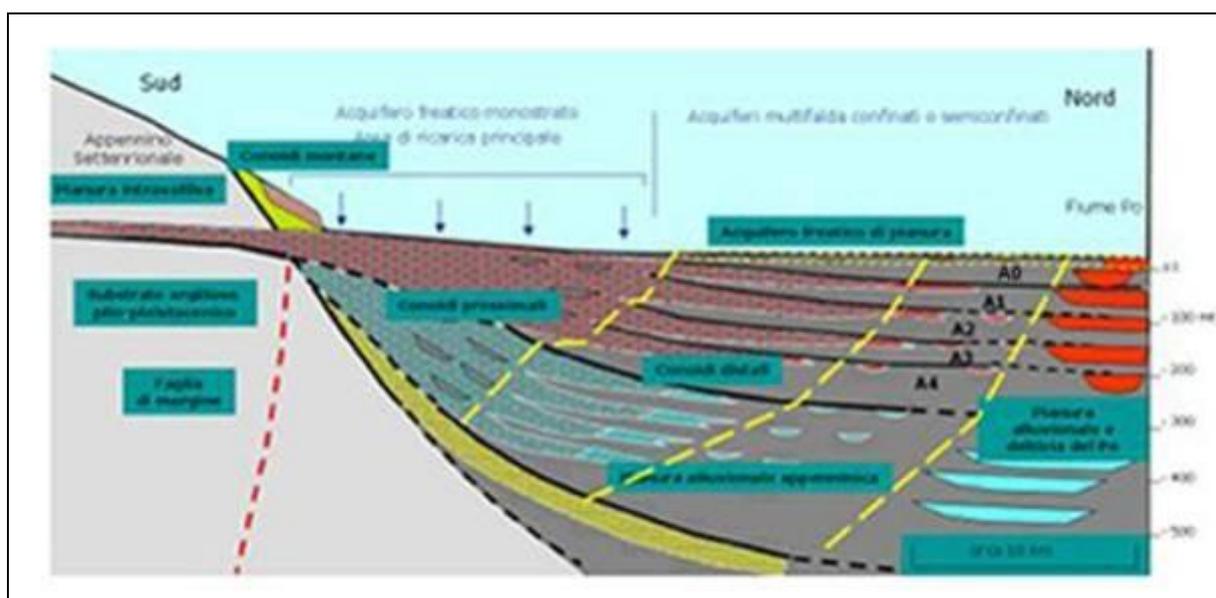


Figura 11-3 – Schema della struttura dei Complessi Acquiferi della Pianura Emiliano-Romagnola.

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 GEO001

recenti subsistemi quaternari compresi, sempre dall'alto verso il basso, tra "AES8" ad "AES4" (Figg. 11-4 e 11-5).

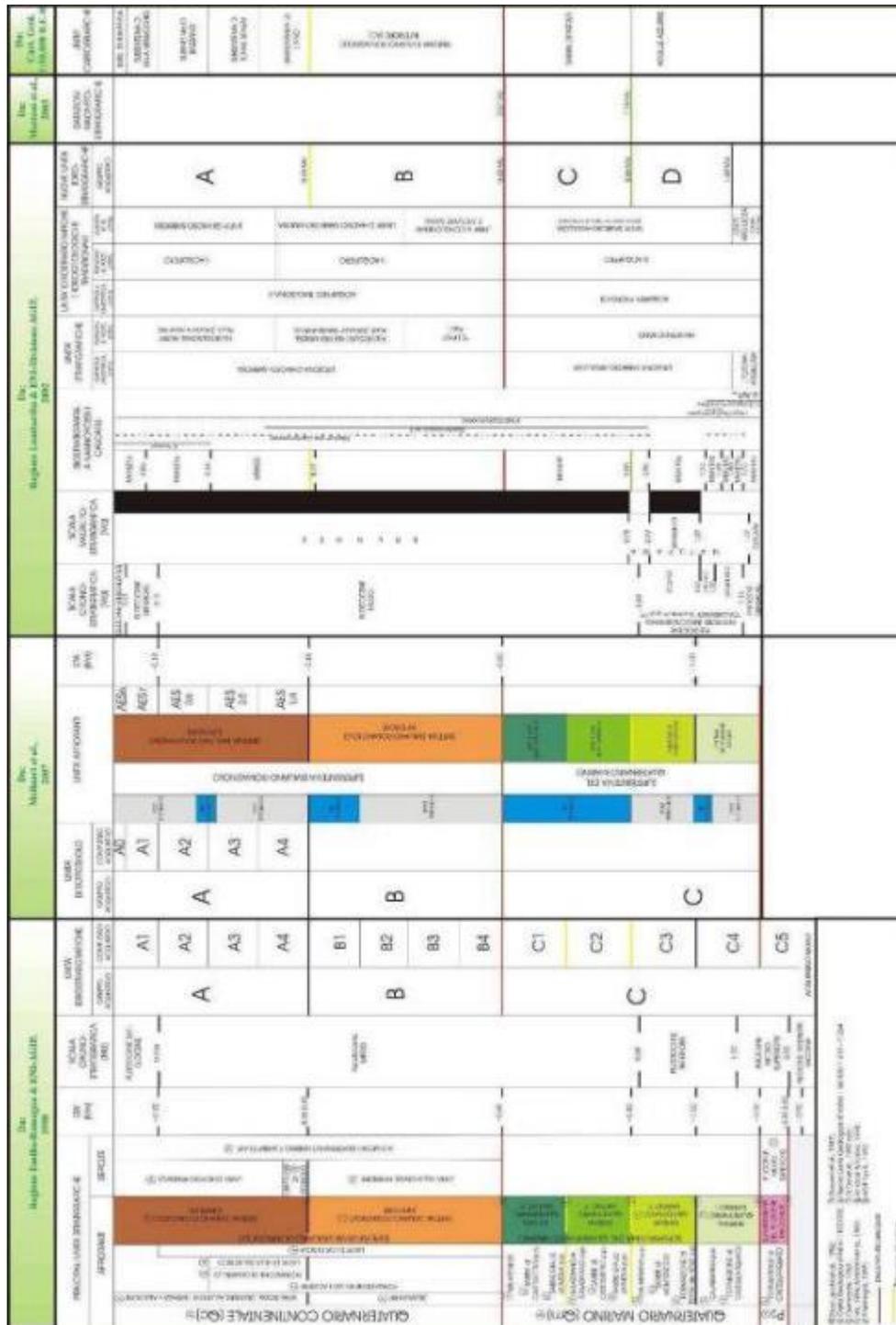


Figura 11-4 - Quadro sinottico delle unità stratigrafiche del sottosuolo padano.

| 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 |
| | | GRUPPO ACQUIFERO B | A4 | Subsistema di Liano |
| | | | 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 | |
| | | | | |

Figura 11-5 - 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" (e la sua Unità di Modena "AESa") corrisponde al complesso acquifero più superficiale "A0" ed è quello interferente con l'opera in oggetto.

11.1 LE CONOIDI ALLUVIONALI APPENNINICHE MAGGIORI

Caratteristiche geologiche

Le conoidi appenniniche sono costituite da numerose alternanze di depositi grossolani e fini di spessore variabile che raggiungono anche diverse decine di metri, con una organizzazione interna ben riconosciuta che si può riassumere, di basso verso l'alto, come segue:

- acquitardo basale - la porzione basale è costituita da alcuni metri di limi più o meno argillosi. I depositi fini basali sono caratterizzati da una grande continuità laterale;
- alternanza di depositi fini e grossolani - la porzione intermedia è composta da depositi fini dominati da limi alternati a sabbie e/o argille e comprendenti ghiaie, sia sotto forma di corpi isolati, sia sotto forma di corpi tabulari. Tale porzione è spessa alcune decine di metri;

- corpi tabulari grossolani - la porzione superiore di ogni alternanza è costituita da sedimenti ghiaiosi, amalgamati tra loro sia orizzontalmente che verticalmente, ed organizzati in potenti corpi tabulari. Lo spessore di questi depositi varia da circa 5 m fino ad alcune decine di metri e la loro continuità laterale può arrivare a 20–30 chilometri.

Nelle porzioni prossimali si formano corpi di ghiaie amalgamati tra loro senza soluzione di continuità, data l'assenza di acquitardi basali: pertanto i depositi ghiaiosi possono occupare ampie parti della superficie topografica e nella terza dimensione raggiungere spessori anche di molte decine di metri. Questi corpi di ghiaie amalgamati ed i lobi di conoide descritti in precedenza, sono sede dei principali acquiferi presenti in regione.

Il flusso idrico sotterraneo

Le zone apicali delle conoidi, dove per decine di metri sono presenti corpi ghiaiosi amalgamati, sono sede di un acquifero detto monostrato in condizioni di falda libera, caratterizzato da frequenti ed elevati scambi idrici falda–fiume, in cui il fiume rappresenta la fonte di alimentazione delle falde.

La circolazione idrica è elevata, come testimoniato dall'età delle acque che si deduce dall'analisi isotopica (Piano di Tutela delle Acque della Regione Emilia-Romagna: Attività B, 2003). In questo settore avviene la ricarica diretta delle falde dalle infiltrazioni efficaci, per dispersione dagli alvei principali e secondari; sono presenti flussi laterali provenienti dai settori delle conoidi minori, intermedi (Savena) e di conoide pedemontana. La circolazione si sviluppa all'interno dei corpi grossolani di conoide, isolati tra loro dai principali acquitardi, che costituiscono buone barriere di permeabilità.

Procedendo verso valle (Nord) i sedimenti fini si interpongono e separano tra loro i corpi ghiaiosi di conoide mentre in superficie seppelliscono le ghiaie più superficiali. Si costituisce pertanto un sistema acquifero detto multifalda, progressivamente compartimentato, caratterizzato da falda confinata e in alcune zone da falda libera, queste ultime collocate nelle porzioni di acquifero più superficiale. Lo scambio falda-fiume viene a limitarsi alle porzioni più superficiali, con alimentazione dal fiume alle falde.

I livelli piezometrici tra lobi di conoide sovrapposti possono essere diversi tra loro anche di alcune decine di metri. Fenomeni di drenanza possono avvenire tra diverse parti dell'acquifero, in particolare in presenza di forti prelievi e in relazione a forti differenze di piezometria tra le diverse falde. I movimenti verticali tra falde si sviluppano in particolare nei settori caratterizzati da litologie limoso-sabbiose o nelle porzioni più prossimali, dove gli acquitardi hanno una minore continuità laterale.

Occorre infine considerare che la pressione antropica sui sistemi naturali descritti può portare ad una modifica non trascurabile di quanto sopra descritto, ovvero:

- la continuità laterale degli acquitardi può essere indebolita o interrotta dal grande numero di pozzi presenti nelle conoidi, i quali possono indurre un flusso idrico attraverso gli acquitardi stessi;
- la presenza di prelievi di vasta entità può causare modifiche anche rilevanti del quadro piezometrico, con richiamo verso i pozzi di masse idriche e linee di flusso concentriche dal raggio di diversi chilometri.

11.2 AREA DI PROGETTO

L'area in cui si inserisce l'opera è caratterizzata dalla presenza di un acquifero superficiale principale situato in corrispondenza della zona di conoide del Reno, nel complesso dei depositi detritici e detritico-alluvionali prevalentemente ghiaiosi o ghiaioso-sabbiosi a permeabilità molto elevata; tale acquifero appartiene alla falda superficiale del Complesso acquifero A0 che, insieme ai depositi granulari più profondi individuati lungo il profilo idrogeologico appartenenti al Complesso acquifero A1, costituisce la parte sommitale del sistema idrogeologico dell'area di margine appenninico.

L'analisi della superficie piezometrica e dell'assetto idrogeologico dell'area interessata dalle opere in progetto, come già accennato, è basata sul modello di sistema acquifero multifalda stratificato proposto dalla Regione Emilia-Romagna e ENI – AGIP nel 1998 "Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna, a cura di G. Di Dio".

Le caratteristiche idrogeologiche dell'area interessata dalla realizzazione dell'opera sono state individuate secondo le seguenti fasi:

- definizione del reticolo idrografico;
- individuazione delle captazioni presenti nell'area;
- misure piezometriche;
- stima della permeabilità;
- individuazione e classificazione delle Unità idrogeologiche.

La definizione della falda di progetto e la definizione delle interferenze dell'infrastruttura con la falda idrica, sia come impatto sull'ambiente idrico, sia come ripercussioni ingegneristiche a contrasto delle azioni erosive delle acque di superficie, non è oggetto della presente relazione.

11.3 DEFINIZIONE DEL RETICOLO IDROGRAFICO

L'area in studio è solcata da una fitta trama di corsi d'acqua minori di origine artificiale, la maggior parte dei quali costituisce la rete irrigua e di bonifica sia di competenza consortile che comunale o privata.

Il territorio è stato storicamente interessato da bonifiche agrarie che hanno colmato le paludi. I corsi d'acqua naturali scorrono seguendo la topografia, blandamente degradante verso Nord; i corsi d'acqua artificiali, invece, hanno direzioni di deflusso imposte dalle necessità irrigue o idrauliche, comunque mediamente orientate dai quadranti meridionali verso quelli settentrionali.

11.4 INDIVIDUAZIONE DELLE CAPTAZIONI PRESENTI NELL'AREA

11.4.3 Ricerca bibliografica

Le amministrazioni competenti in materia di acque sotterranee sul territorio interessato dal tratto in progetto sono:

- Regione Emilia Romagna;
- Agenzia Regionale Protezione Ambientale Emilia Romagna (ARPAE) - sezione Bologna, che effettua la raccolta, l'analisi, l'interpretazione e la diffusione dei dati dalle reti automatiche e manuali;
- Autorità di Bacino distrettuale del Fiume Po (ex AdB Reno);
- Città Metropolitana di Bologna;
- Comune di Bologna.

Per quanto riguarda i documenti e le banche dati contenenti informazioni rilevanti ed utili per questo studio, si elencano le principali:

- Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna (1998), edito da S.E.L.C.A.- Firenze;
- Dati di monitoraggio piezometrico dei punti di controllo rete regionale e provinciale di ARPAE;
- Il monitoraggio delle acque sotterranee della Provincia di Bologna – report 2002÷2006, 2007 e 2008

11.4.4 Censimento dei punti di approvvigionamento idrico.

Nell'ambito degli studi afferenti alla progettazione del Passante di Bologna ed all'allargamento dell'autostrada A13 tra Bologna e Ferrara, al fine di ottenere un esauriente quadro conoscitivo della distribuzione dei pozzi presenti in un intorno significativo rispetto alla posizione dell'opera in progetto, è stata condotta una ricerca dei dati bibliografici, seguita da una fase di censimento in sito, nell'ambito del quale i dati sono stati verificati ed eventualmente integrati. In tale ambito ricade il presente progetto.

L'area studiata ha vocazione agricola, residenziale ed industriale. La metodologia adottata per il censimento delle opere di captazione e monitoraggio delle acque sotterranee è stata quindi quella della ricerca sul territorio di pozzi a diverso uso e punti di monitoraggio delle acque sotterranee. I suddetti elementi sono stati rilevati come "punti d'acqua" e sono parte integrante della planimetria idrogeologica allegata. Per ogni punto d'acqua si sono acquisiti sia i dati tecnici dell'opera sia, ove possibile, i dati relativi alla falda intercettata.

Nell'intorno significativo per il presente studio non sono presenti pozzi ad uso potabile pubblico (su segnalazione della Servizio Tutela e Risanamento Risorsa Acqua) che, nell'area bolognese, captano generalmente falde profonde.

11.4.5 Classificazione dei pozzi per tipo d'uso

I punti d'acqua censiti sono stati classificati sulla base della loro destinazione d'uso (si veda la simbologia riportata nella planimetria idrogeologica). In particolare:

- Pozzi ad uso pubblico/acquedottistico;
- Pozzi ad uso irriguo;
- Pozzi ad uso industriale;
- Pozzi per altro uso (igienico - sanitario, antincendio, scambio termico);
- Pozzi ad uso non conosciuto.

11.4.6 Schede di raccolta dati

I dati raccolti durante il censimento sono stati riportati in apposite schede (si veda l'Allegato 1 alla presente relazione), tali schede contengono i seguenti campi:

- una parte introduttiva con i dati generali del punto d'acqua: sigla, tipo di punto d'acqua, ubicazione, eventuale gestore, coordinate nel sistema Gauss-Boaga compresa quota sul livello medio del mare, distanza dall'opera;
- una sezione grafica descrittiva dell'ubicazione del punto d'acqua con un quadro per la fotografia ed uno per lo stralcio di C.T.R.;
- un quadro contenente i dati tecnici (se disponibili) relativi al punto d'acqua (profondità e diametro del rivestimento) e quelli rilevati al momento del censimento (livello statico e dinamico riferiti al p.c. ed in valore assoluto in m s.l.m., portata, Ph, temperatura, conducibilità elettrica, ecc.);
- un campo con l'annotazione della data del rilevamento, dello stato di attività, dell'uso e delle eventuali note di terreno.

11.4.7 Note

Il lavoro di raccolta dati e misura dei livelli piezometrici sul terreno ha incontrato problematiche principalmente imputabili a:

- pozzi con teste di chiusura e sostegno della pompa senza aperture per il passaggio della sonda piezometrica;
- inaccessibilità dei pozzi;
- permesso di accesso ai pozzi negato dai proprietari.

Il problema che si è posto fin da subito in riferimento alla necessità di ricostruire il modello teorico di comportamento della falda, è stato quello di poter usufruire di dati sufficientemente omogenei. Difatti risulta molto difficile che i pozzi, per la loro stessa prassi realizzativa, abbiano caratteristiche costruttive tali da poter essere effettivamente utilizzati e correlati come punti significativi di monitoraggio, riconducendoli con certezza ad un medesimo corpo acquifero. Si pensi a quanto possano essere determinanti le profondità raggiunte, la diversa quota dei tratti fenestrati di captazione o la presenza di tratti cementati.

11.5 MISURE PIEZOMETRICHE POZZI ARPAE

L'analisi delle variazioni annuali del livello piezometrico del primo acquifero è stata svolta sulla base dei dati derivanti dal monitoraggio delle acque sotterranee da parte degli Enti. Sono state interrogate le seguenti banche dati attraverso il sistema di consultazione del progetto europeo "eWater", predisposto dal Servizio Tutela e Risanamento Risorsa Acqua della Regione Emilia-Romagna (<http://geo.regione.emilia-romagna.it/ewater>):

- dati della rete di monitoraggio delle acque sotterranee dell'ARPA Emilia-Romagna: il Servizio Tutela e Risanamento Risorsa Acqua è la struttura regionale responsabile per questa rete, la gestione è in carico ad ARPA Emilia-Romagna;
- dati della rete piezometrica ad alta frequenza dell'ARPA Emilia-Romagna (ARPAE);
- dati piezometrici del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna.

Nella figura seguente è indicata l'ubicazione dei pozzi monitorati da ARPAE, considerando un ambito più ampio rispetto al progetto; di seguito viene riportata anche una tabella riepilogativa con i valori minimi e massimi di soggiacenza e livello piezometrico .

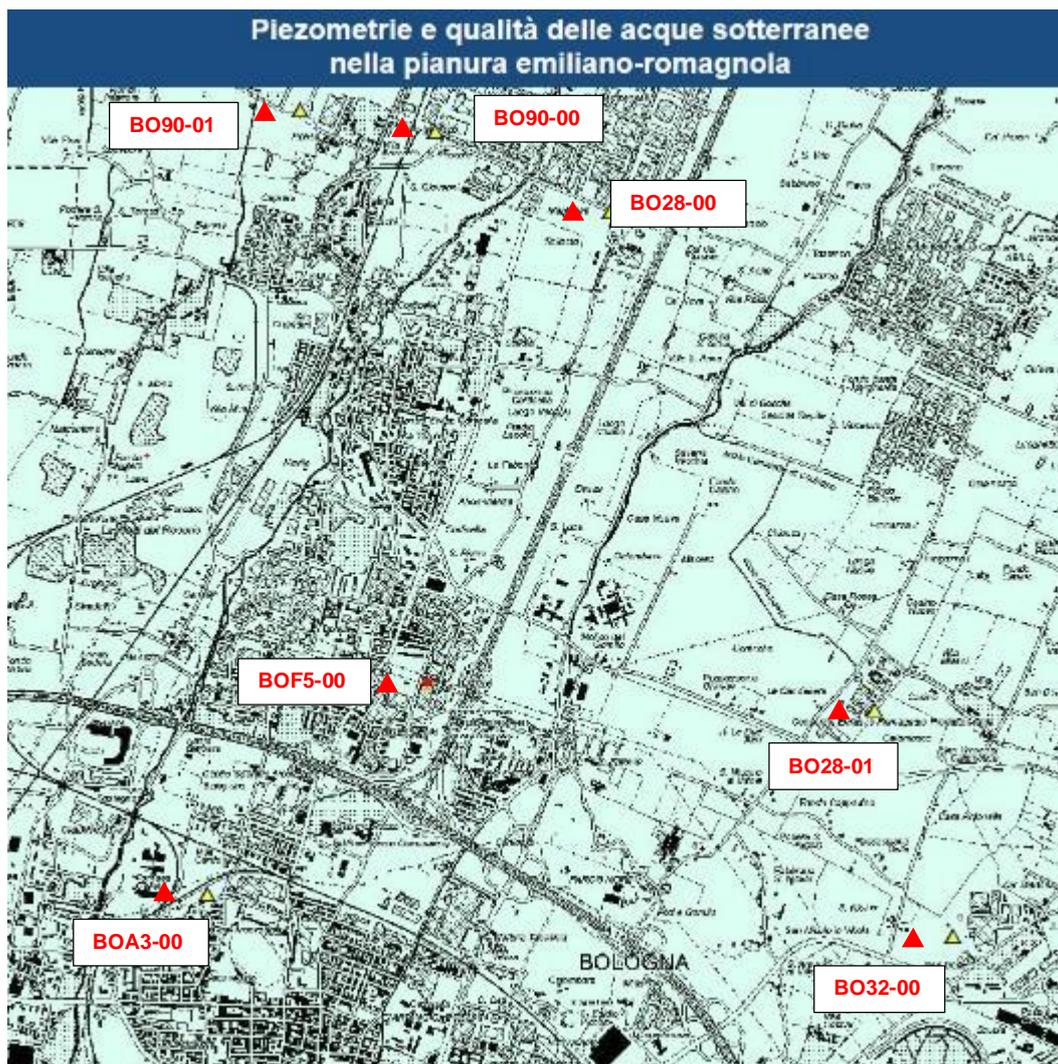


Figura 11-6 - Ubicazione dei punti di controllo delle acque sotterranee della Regione Emilia-Romagna (fonte Regione Emilia-Romagna)

| PROPRIETÀ DATO | GESTORE DATO | NOME | COMUNE | QUOTA (m s.l.m.) | PROFONDITA' (m) | USO | ACQUIFERO INTERCETTATO | TIPO_MISURA | DATA | | SOGGIACENZA (m da p.c.) | | LIVELLO PIEZOMETRICO (m s.l.m.) | |
|--|--|---------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------------|--|------------|------------|-------------------------|-------|---------------------------------|--------|
| | | | | | | | | | INIZIO | FINE | MIN | MAX | MAX | MIN |
| Servizio Tutela e Risanamento Risorsa Acqua - Regione Emilia-Romagna | ARPA - Agenzia Regionale Prevenzione e Ambiente - Regione Emilia-Romagna | BO5-00 | BOLOGNA | 36.50* | 55 | Sconosciuto | A1 | Analisi chimica e Livello piezometrico | 09/12/2004 | 15/11/2006 | 7.30 | | 29.20 | |
| | | BOA3-00 | BOLOGNA | 38.71 | 360 | Acquedottistico | A,B,C | Analisi chimica | 02/11/1988 | 04/05/2006 | ND | ND | ND | ND |
| | | BO90-01 | CASTEL MAGGIORE | 30.00 | 370.74 | Monitoraggio | A2,A3,A4,B | Analisi chimica e Livello piezometrico | 25/05/1988 | 19/12/2001 | 13.78 | | 16.22 | |
| | | BO90-00 | CASTEL MAGGIORE | 28.37 | 338 | Industriale | A2,A3,A4,B | Analisi chimica e Livello piezometrico | 25/05/1988 | 22/01/1999 | 14.15 | 19.00 | 14.22 | 9.37 |
| | | BO28-00 | CASTEL MAGGIORE | 28.80 | 67 | Industriale | A1 | Analisi chimica e Livello piezometrico | 18/06/1976 | 02/12/2008 | 11.91 | 18.49 | 16.89 | 10.31 |
| | | BO78-01 | BOLOGNA | 37.46 | 450.6 | Monitoraggio | A3,A4,B,C | Livello piezometrico | 22/04/2004 | 03/11/2009 | 42.67 | 56.07 | -5.21 | -18.61 |
| | | BO32-00 | BOLOGNA | 41.10 | 211 | Industriale | A2,A3,A4 | Analisi chimica e Livello piezometrico | 23/06/1976 | 03/11/2009 | 21.85 | 33.55 | 19.25 | 7.55 |

* quota derivata da CTR

Tab. 1 – Caratteristiche riepilogative dei pozzi monitorati da ARPA

Di seguito è riportato il grafico tempo-soggiacenza che evidenzia la variazione del livello delle falde monitorate nei pozzi ricadenti in ambito limitrofo all'opera in progetto.

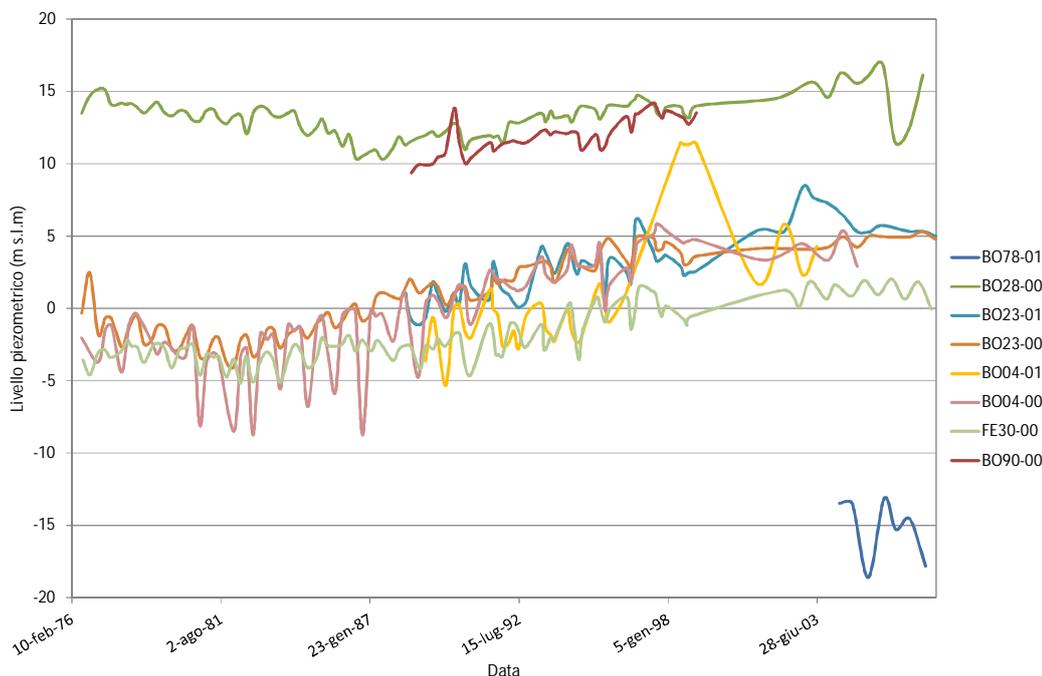


Figura 11-7 - Grafico tempo-soggiacenza relativo alle misure effettuate nei punti di controllo delle acque sotterranee da parte della Regione Emilia-Romagna (fonte Regione Emilia-Romagna).

Come già accennato, le serie di dati non sono omogenee in quanto non coprono tutte lo stesso periodo e sono riferite ad acquiferi differenti; si nota, tuttavia, la concordanza a grande scala degli andamenti.

I livelli piezometrici hanno registrato un netto abbassamento negli anni '80 ed una progressiva risalita fino al 2008. Le variazioni stagionali sono dell'ordine di 2-3 m.

Il grafico evidenzia che i livelli dell'acquifero A1, potenzialmente interferente con il progetto in quanto più superficiale, sono compresi mediamente tra 10 e 16 m s.l.m. mentre quelli del sistema A2 sono molto più bassi (compresi mediamente tra -5 e 2 m s.l.m.); i pozzi multifalda registrano livelli intermedi tra i due. Ciò dimostra che i sistemi acquiferi sono idraulicamente separati e che la pressione delle falde contenute negli acquiferi A2 è inferiore a quella delle falde ospitate nel sistema acquifero A1.

11.6 PIEZOMETRI AREA DI INTERESSE

Nelle immediate vicinanze degli assi di progetto non risultano presenti piezometri, tuttavia strumenti piezometrici realizzati nel tempo per gli studi associati al Passante di Bologna risultano ubicati appena all'esterno dell'area di interesse; grazie alle misure registrate in questi piezometri si è potuto sviluppare un modello geostatistico che ha permesso la ricostruzione delle isopiezometriche e delle linee di deflusso della falda superficiale principale, in cui ricade l'area di intervento.

11.7 PERMEABILITÀ

Per la valutazione del grado di permeabilità delle unità idrogeologiche, individuate sulla base della ricostruzione geologica del sottosuolo, sono state prese in considerazione le risultanze delle indagini in sito svolte nell'ambito delle campagne geognostiche propedeutiche alle progettazioni della terza corsia della A13, Tratta Bologna-Ferrara, e del Passante di Bologna, con particolare riferimento alle prove di permeabilità Lefranc.

Da un'analisi dei risultati di tali prove si può osservare come il coefficiente di permeabilità assuma valori da medio a bassi (10-5 - 10-7 m/s) nei livelli sabbioso-ghiaiosi arrivando a valori da bassi a molto bassi (10-6 - 10-8) nei limi e argille.

In quest'ultimo range ricade la permeabilità misurata di $2,55 \cdot 10^{-6}$ m/s scaturita dalla prova Lefranc eseguita tra 10 e 10,50m nel sondaggio S-BF1-B, eseguito specificatamente in prossimità dell'intervento.

11.8 L'INDIVIDUAZIONE E CLASSIFICAZIONE DELLE UNITÀ IDROGEOLOGICHE

La quantità d'acqua immagazzinata nel sottosuolo e la presenza di falde acquifere sono legate, oltre che a fattori esogeni (precipitazioni, assetto morfologico ed orografico) anche a fattori endogeni (caratteristiche di permeabilità delle formazioni di substrato e loro rapporti geometrici – spaziali).

Per l'individuazione e classificazione delle Unità idrogeologiche in relazione al grado e tipo di permeabilità delle formazioni esistenti sono state prese in considerazione tutte le informazioni relative alla litologia, ai dati forniti dalle misure di permeabilità eseguite nei sondaggi perforati, alla presenza e caratteristiche dei punti d'acqua ed a quanto riportato in letteratura. Sulla base di tali dati è stato possibile ricostruire il modello concettuale di circolazione delle acque sotterranee.

Il modello idrogeologico di riferimento per l'area in studio è rappresentato da una serie di acquiferi sovrapposti e più o meno separati da setti impermeabili o poco permeabili; l'opera in oggetto potrebbe determinare interferenze con l'acquifero più superficiale (Sistema acquifero A0 in letteratura). Si tratta di un acquifero a superficie libera impostato in depositi alluvionali con granulometria varia. Si passa da ghiaie e sabbie in bancate potenti con intercalati livelli argillosi ed argilloso-limosi la cui continuità laterale è variabile ed aventi spessore che raramente supera il metro. Alla scala del progetto queste lenti a granulometria fine non costituiscono veri e propri setti di separazione tra acquiferi. L'acquifero superficiale o primo acquifero poggia su serie sedimentarie più antiche riferibili al Pliocene superiore-Pleistocene inferiore ed è separato dagli acquiferi ospitati in esse da strati impermeabili consistenti e tracciabili lateralmente a scala regionale.

In planimetria è stata individuata un'unica unità idrogeologica riferibile al Complesso Acquifero A0, che affiora in corrispondenza dell'intero territorio studiato. In profilo è stata effettuata una distinzione in unità idrogeologiche sulla base della granulometria prevalente, ed in particolare:

11.8.8 Complesso acquifero A0

Il Complesso Acquifero A0 comprende le unità stratigrafiche appartenenti al Subsistema superiore AES8 (Subsistema di Ravenna-AES8 e Unità di Modena-AES8a) ed ai Depositi Alluvionali in Evoluzione individuati dai Fogli CARG n° 220 – Casalecchio di Reno e n° 221 – Bologna. Al suo interno è possibile individuare, in base alla granulometria prevalente dei depositi, due unità idrogeologiche:

- Ø Unità costituita prevalentemente da ghiaie, ghiaie sabbiose e sabbie ghiaiose, sabbie, sabbie limose e sabbie limoso-argillose;
- Ø Unità costituita prevalentemente da argille e/o limi.

11.8.9 Complesso acquifero A1

Il Complesso Acquifero A1 comprende le unità stratigrafiche appartenenti al Subsistema inferiore AES7, il cui limite superiore con il Subsistema AES8 è stato derivato dall'interpretazione di sezioni CARG e adattato, laddove evidente, in funzione delle risultanze dei carotaggi di progetto (come indicato nello studio geologico). Anche le età dei depositi appartenenti al Subsistema AES7 (Pleistocene Superiore), espresse nei fogli geologici CARG consultati, corrispondono a quanto indicato nello studio idrogeologico della Regione.

Al suo interno è possibile individuare, in base alla granulometria prevalente dei depositi, due unità idrogeologiche:

- Ø Unità costituita prevalentemente da ghiaie, ghiaie sabbiose e sabbie ghiaiose, sabbie, sabbie limose e sabbie limoso-argillose;

∅ Unità costituita prevalentemente da argille e/o limi.

11.9 PROGRAMMA UTILIZZATO PER LA SIMULAZIONE DELLA SUPERFICIE PIEZOMETRICA

La ricostruzione dell'andamento della tavola d'acqua è stata effettuata con l'ausilio di software dedicati per l'analisi spaziale dei dati (geostatistica).

Nel caso specifico è stato utilizzato Surfer di Golden Software. L'elaborazione geostatistica dei dati raccolti è stata condotta con il metodo della griglia di dati, basato sul metodo di regressione Kriging con variogramma di tipo lineare; tale metodo permette di generare una griglia interpolata regolare, a partire da una distribuzione spaziale dei dati non regolare, stimando il valore dei punti posti ai nodi della griglia creata. Il Kriging risulta uno dei metodi più flessibili, largamente raccomandato e utilizzato per molti tipi di data set.

11.9.10 Kriging References

Il metodo *Kriging* è ampiamente trattato nella letteratura scientifica: *Cressie* (1991), *Journel* and *Huijbregts* (1978), *Journel* (1989), *Isaaks* and *Srivastava* (1989).

12 CHIMISMO DELLE ACQUE SOTTERRANEE

12.1 CHIMISMO DELLE ACQUE

L'analisi chimico-fisica proposta è stata effettuata in parte in situ, tramite sonda multi-parametrica portatile, in parte in laboratori attrezzati (per quanto riguarda l'aggressività ai solfati/cloruri) e in parte è stata desunta a partire dai parametri chimico-fisici resi disponibili dalla rete di monitoraggio di ARPA Emilia-Romagna (Aggiornamento dati 2015).

I dati elaborati si riferiscono ai punti di monitoraggio chimico di ARPAE per l'area bolognese, che filtrano il gruppo acquifero più superficiale, in parte utilizzati anche per l'assetto piezometrico generale definito al par. 11.5: i dati chimici di tali pozzi sono riportati nell'Allegato 2.

12.1.11 Parametri di base

Le misurazioni sui parametri di base riguardano:

- **temperatura:** determina il grado di termalismo della stessa (vedi tabella seguente):

| | | | | |
|-------------------|--------|------------|-------------|---------|
| temperatura | <20 | ≥20 <35 | ≥35 <50 | ≥50 |
| Definizione acque | fredde | ipotermali | mesotermali | termali |

Tab. 2 – Determinazione del grado di termalismo delle acque

Dall'analisi dei dati rilevati (Allegato 2) si può desumere che tutte le acque testate risultano **acque fredde (13,9<C°<15,9)**.

- **mineralizzazione:** espressa dalla conducibilità elettrica (nS/cm) e dal Total Dissolved Solids (TDS), secondo la tabella seguente:

| | | | | |
|---|------------------------------|---------------|-------------------|----------|
| conducibilità elettrica a 25°C(μS/Cm) | <66 | ≥66<260 | ≥260<1320 | ≥1320 |
| Definizione dell'acqua | Minimamente mineralizzata | oligominerali | Medio minerali | minerali |

Tab. 3 – Determinazione della mineralizzazione delle acque

Dall'analisi dei dati rilevati (Allegato 2) si può desumere che tutte le acque testate risultano **acque medio minerali (594<nS/cm<1121)**.

- **PH:** esprime l'acidità o alcalinità dell'acqua.
 Dall'analisi dei dati rilevati (Allegato 4) si può desumere che tutte le acque testate risultano **acque neutre o leggermente alcaline (6,9<PH<8,1)**.

12.1.12 Aggressivi chimici

Alcune sostanze presenti naturalmente o per effetto delle attività antropiche nei terreni e nelle acque possono determinare il degrado del calcestruzzo nelle strutture idrauliche e in quelle parzialmente o completamente interrate a causa di reazioni chimiche che esse stabiliscono con i costituenti della matrice cementizia.

Particolare attenzione deve essere prestata alla concentrazione dello ione solfato (SO_4^{2-}); Il degrado delle strutture in cls, infatti, può essere notevolmente accelerato se esse sono in contatto con acque e terreni che contengono solfati. Questi possono essere di origine naturale, biologica oppure derivanti dall'inquinamento prodotto dalle attività antropiche, sia di tipo domestico che industriale.

Il solfato è presente naturalmente nei terreni in quanto nel corso delle diverse ere geologiche l'evaporazione dell'acqua dai mari interni ha determinato l'accumulo di sedimenti, spesso gessosi. Il solfato, inoltre, può provenire dalla decomposizione biologica in condizioni aerobiche di sostanze organiche contenenti zolfo, come avviene, ad esempio, per le piante o per i concimi.

I terreni alluvionali e quelli coerenti possono contenere pirite (solfuro di ferro) che per effetto delle cicliche oscillazioni delle acque di falda ne possono determinare l'ossidazione, con conseguente formazione di acido solforico. I solfati, infine, sono presenti nei liquami domestici e, pertanto, essi sono presenti nelle acque provenienti sia dagli impianti fognari che in quelli di depurazione ove le acque reflue confluiscono per essere sottoposte a trattamenti biofisici che hanno come obiettivo l'eliminazione dei composti di natura organica.

La norma europea EN 206 distingue tre classi di esposizione crescenti per valutare il degrado da attacco chimico dei calcestruzzi in base alla concentrazione dello ione solfato disciolto nelle acque:

| SO_4^{2-} [mg/l] | Ambiente chimico |
|-----------------------|--------------------------|
| ≥200 <600 | Debolmente aggressivo |
| ≥600 <3000 | Moderatamente aggressivo |
| ≥3000 <6000 | Fortemente aggressivo |

Tab. 4 – Definizione dell'aggressività ai solfati.

Nella tabella seguente è riportata la concentrazione dello ione solfato in alcuni punti di controllo chimico regionale, unitamente ai risultati ottenuti dal campione prelevato in corrispondenza del piezometro PB17bis (ubicato appena più a sud dell'area di intervento) e analizzato in laboratorio (Allegato 3).

| Punto di prelievo | SO_4^{2-} [mg/l] |
|----------------------|-----------------------|
| BO28-00 | <1 |
| BO32-00 | 16,9 |
| BO32-00 | 15,5 |
| PB17bis | 235,0 |

Tab. 5 – Concentrazione solfati.

Per quanto attiene l'aggressività chimica derivata dalla concentrazione di ione solfato, dall'analisi dei dati rilevati si può desumere che le acque testate risultano non aggressive, fatta eccezione per le acque campionate lungo la verticale di indagine PB17bis (ubicata appena a sud dell'intervento) che sono risultate *debolmente aggressive*, con concentrazione dello ione solfato pari a 235 mg/l.

13 CLIMATOLOGIA

Il regime pluviometrico dell'area di intervento è stato ricostruito sulla base dell'analisi delle serie storiche relative alla stazione Bologna urbana inserita all'interno del circuito di monitoraggio ARPA-SIM – Servizio Idro-Meteorologico. Il periodo monitorato va da gennaio 2004 a marzo 2021.

Si precisa che ai fini dell'elaborazione statistica dei dati acquisiti sono state considerate le sole annate complete (2005-2020), mentre per l'esame storico dei dati giornalieri si è considerato l'intero periodo di osservazione sopra indicato.

Nella seguente tabella si riportano i risultati salienti dell'analisi storica dei dati acquisiti e dell'elaborazione statistica condotta relativamente alla stazione considerata:

| Stazione | Piuvosità media annua [mm] | Giorni di pioggia medi annui [n°] | Giorni di pioggia annui con intensità > 50 mm [n°] | Giorni di pioggia annui con intensità > 100 mm [n°] |
|----------------|-------------------------------|--------------------------------------|---|--|
| Bologna urbana | 691.6 | 105 | 11 | 0 |

Nelle figure seguenti si riporta l'andamento delle precipitazioni giornaliere e annue cumulate registrate nel periodo di osservazione considerato.

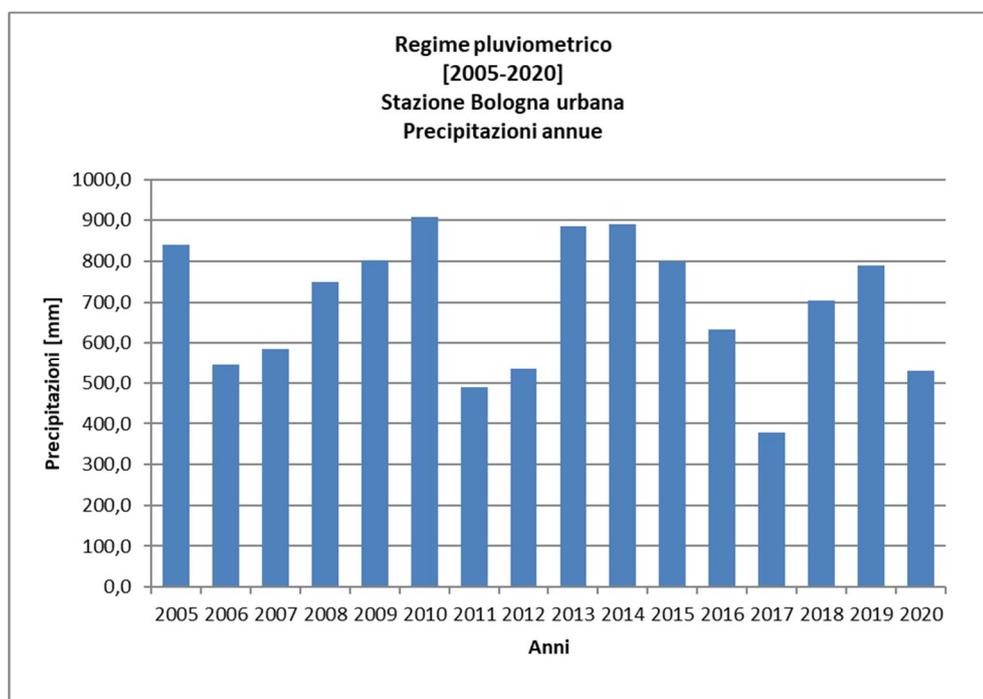


Figura 13-1 - Andamento delle precipitazioni annue cumulate registrate nel periodo di osservazione considerato.

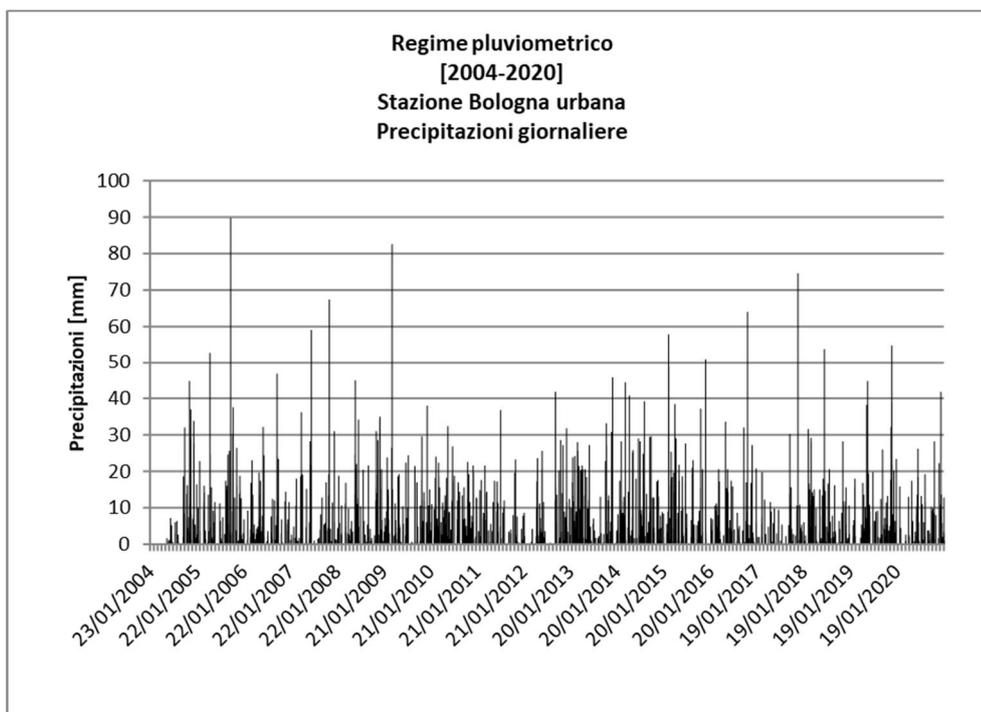


Figura 13-2 - Andamento delle precipitazioni giornaliere registrate nel periodo di osservazione considerato.

L'esame dei dati di piovosità annua evidenzia variazioni su scala pluriennale con valori massimi e minimi anche significativamente distanti dalla media, come riassunto nella seguente tabella:

| Stazione | Piovosità media annua [mm] | Piovosità annua massima [mm] | Anno | Piovosità annua minima [mm] | Anno |
|----------------|----------------------------|------------------------------|------|-----------------------------|------|
| Bologna urbana | 691.6 | 908.2 | 2010 | 488.4 | 2011 |

Molto significativo è poi l'esame dei grafici relativa alla piovosità giornaliera che evidenziano picchi che oscillano intorno a valori anche superiori a 40÷50 mm, con punte comprese tra gli 80 e i 90 mm, come riassunto nella seguente tabella, in cui sono riportati i 3 eventi con la massima piovosità giornaliera registrati:

| Stazione | Evento [mm] | Data |
|----------------|-------------|------------|
| Bologna urbana | 89.8 | 10/10/2005 |
| | 82.6 | 27/03/2009 |
| | 74.6 | 13/11/2017 |

Per quanto concerne la distribuzione della piovosità nell'arco dell'anno, nel grafico seguente si mostra l'andamento delle precipitazioni medie mensili registrate.

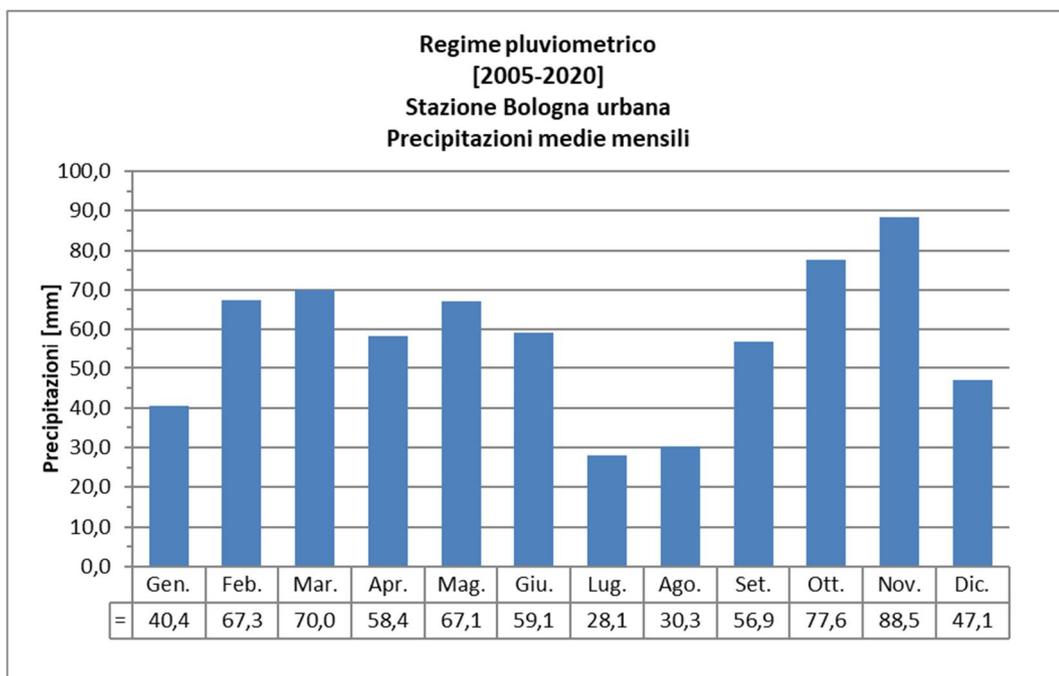


Figura 13-3- Andamento delle precipitazioni medie mensili registrate nel periodo di osservazione considerato.

L'andamento delle precipitazioni nell'arco dell'anno evidenzia la presenza di un picco di piovosità autunnale registrato nel mese di ottobre e di un minimo estivo registrato nel mese di luglio; si individuano poi un picco secondario primaverile, tra febbraio e marzo, e un minimo secondario invernale tra dicembre e gennaio.

Le temperature medie mensili mostrano un minimo di 4.4°C nel mese di gennaio e un massimo di 24.3 °C nel mese di agosto. L'escursione termica annua, differenza tra la temperatura media del mese più caldo (luglio) e la temperatura media del mese più freddo (gennaio) è pari a 19.9°C. Il regime termico dell'area è riportato nel grafico seguente.

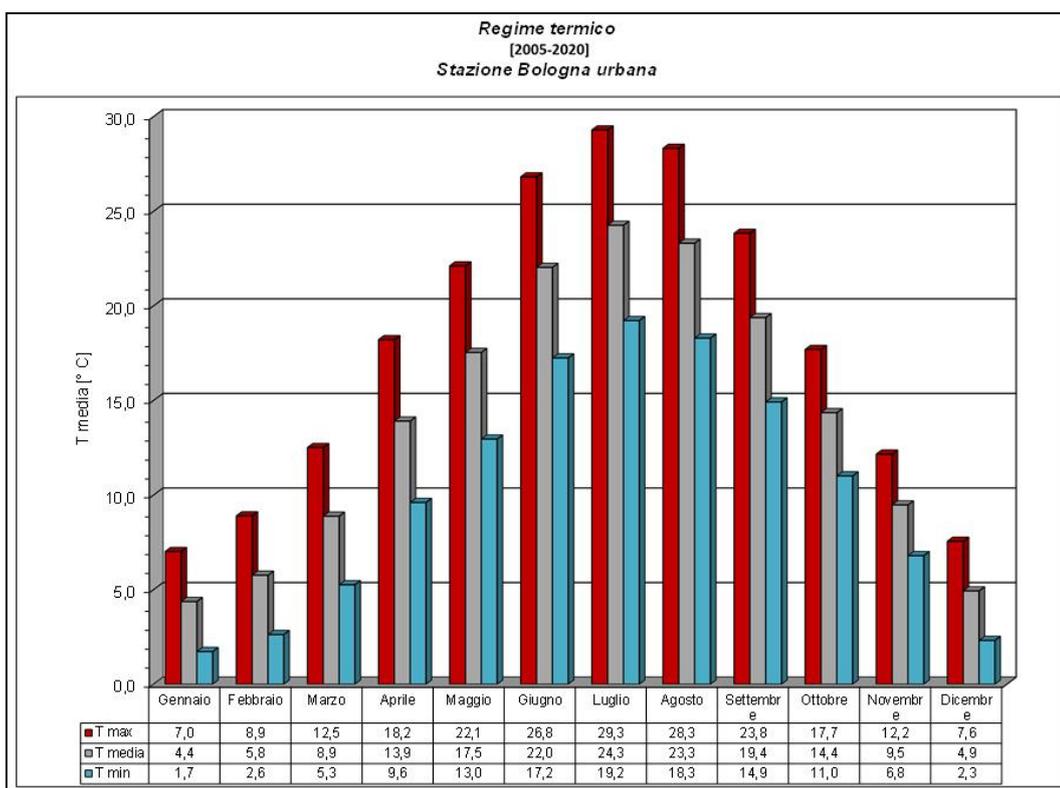


Figura 13-4- Andamento del regime termico nel periodo di osservazione considerato.

A partire dai dati climatici di base sopra riportati si è poi proceduto all'elaborazione del climatogramma di Peguy relativo al territorio in esame, nel quale vengono messi in relazione i valori medi di precipitazioni e di temperatura mensile, confrontando l'andamento climatico ottenuto con un diagramma di riferimento generale in cui sono distinti i campi relativi a: mesi di gelo, mesi freddi, mesi temperati, mesi caldi e mesi aridi. Il climatogramma ottenuto è mostrato nel grafico seguente.

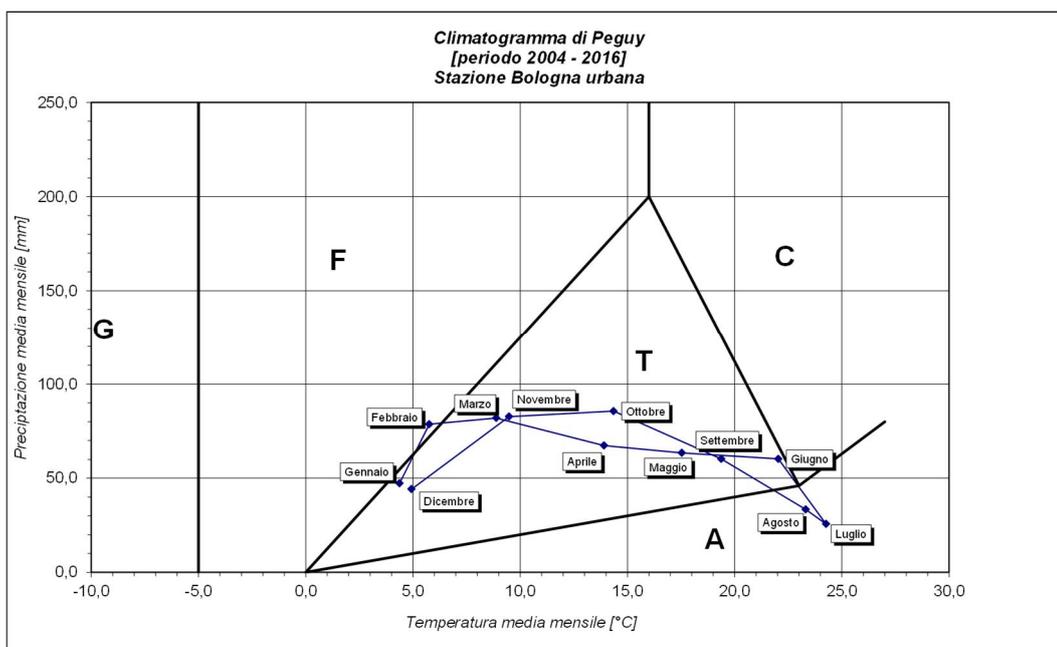


Figura 13-5 - Climatogramma del periodo di osservazione considerato.

L'esame del climatogramma dell'area considerata evidenzia la presenza di 9 mesi temperati (da marzo a giugno e da settembre a gennaio) di 2 mesi aridi (luglio e agosto) e di 1 mese freddo (febbraio); non sono presenti mesi di gelo.

Utilizzando i dati di temperatura media mensile del periodo di osservazione si è infine proceduto al calcolo della evapotraspirazione potenziale mensile a mezzo della formula di Thornthwaite:

$$Etp_i = 16 p_i (10 t_i / I)^{(0.5 + 0.016 I)}$$

dove:

- Ø Etp_i = evapotraspirazione potenziale del mese i-esimo [mm]
- Ø p_i = indice correttivo funzione della latitudine
- Ø t_i = temperatura media del mese i-esimo [°C]
- Ø I = indice calorico annuo = $S_{i=1,12} (t_i / 5)^{1.514}$

L'evapotraspirazione potenziale media annua ammonta complessivamente a 809 mm circa, con un differenziale negativo di circa 78 mm rispetto alle precipitazioni. Nell'arco dell'anno il valore massimo si registra nel mese di luglio (159.0 mm) mentre il valore minimo viene registrato nel mese di gennaio (7.5 mm).

La distribuzione mensile dei valori medi di evapotraspirazione potenziale (Etp) e di precipitazioni (P), riportata nel grafico seguente, consente di valutare il bilancio idrico della zona in esame, che evidenzia l'instaurarsi di una situazione di deficit idrico prolungata tra metà aprile e fine settembre, in cui vengono intaccate le riserve idriche del suolo, con una perdita potenziale stimata in circa 375 mm, mentre nei rimanenti periodi dell'anno si hanno condizioni di surplus idrico che favoriscono la ricarica delle riserve idriche, con un eccesso potenziale stimato in circa 296 mm.

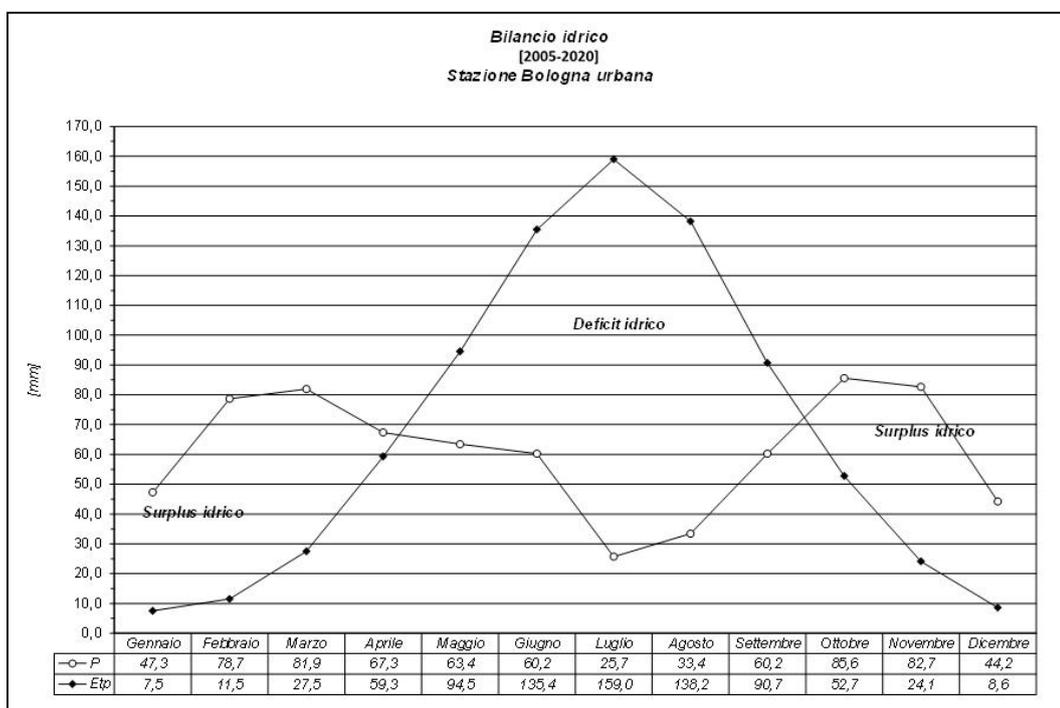


Figura 13-6 - Bilancio idrico del periodo di osservazione considerato.

14 ELEMENTI DI SISMICA GENERALE

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

- CPT15 Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 dal 1000 al 2005: (Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016. 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).

14.1 SISMICITÀ STORICA

Con riferimento all'analisi della sismica storica sono stati esaminati i dati riportati nel database DMI 2015, che contiene 86.071 M.D.P. (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 riporta di seguito una tabella inerente alle intensità macrosismiche registrate dal 1000 al 2011 relativamente al Comune di Bologna.

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_0) e la magnitudo momento (M_w).

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

| | | | | | |
|-----|------------------------|--------------------------|------|-----|------|
| 3 | 1891 06 07 01 06 14.00 | Valle d'Ilasi | 403 | 8-9 | 5.87 |
| NF | 1891 08 01 13 32 22.00 | Lugo | 15 | 4-5 | 4.36 |
| 2-3 | 1892 08 09 07 58 | Valle d'Alpone | 160 | 6-7 | 4.91 |
| NF | 1892 12 29 13 47 48.00 | Castel del Rio | 36 | 5-6 | 4.37 |
| 2 | 1894 02 09 12 48 05.00 | Valle d'Ilasi | 116 | 6 | 4.74 |
| 3 | 1894 11 27 05 07 | Bresciano | 183 | 6 | 4.89 |
| NF | 1895 03 23 | Comacchio | 33 | 6 | 4.65 |
| 4 | 1895 05 18 19 55 12.00 | Fiorentino | 401 | 8 | 5.5 |
| 2-3 | 1895 08 07 19 49 32.00 | Appennino tosco-emiliano | 84 | 5 | 4.67 |
| NF | 1895 08 09 17 38 20.00 | Adriatico centrale | 103 | 6 | 5.11 |
| NF | 1896 07 08 01 51 28.00 | Porretta Terme | 17 | 5 | 4.37 |
| 3 | 1897 12 18 07 24 20.00 | Alta Valtiberina | 132 | 7 | 5.09 |
| 3 | 1898 01 16 13 10 | Romagna settentrionale | 110 | 6 | 4.59 |
| 4 | 1898 03 04 21 05 | Parmense | 313 | 7-8 | 5.37 |
| 3 | 1899 06 26 23 17 22.00 | Valle del Bisenzio | 138 | 7 | 5.02 |
| 3 | 1901 10 30 14 49 58.00 | Garda occidentale | 289 | 7-8 | 5.44 |
| NF | 1902 12 04 16 35 01.00 | Lunigiana | 36 | 5 | 4.35 |
| 3 | 1904 02 25 18 47 50.00 | Reggiano | 62 | 6 | 4.81 |
| 3 | 1904 06 10 11 15 28.00 | Frignano | 101 | 6 | 4.82 |
| NF | 1904 11 17 05 02 | Pistoiese | 204 | 7 | 5.1 |
| 3-4 | 1908 06 02 22 30 | Frignano | 18 | 4-5 | 4.5 |
| 6 | 1909 01 13 00 45 | Emilia Romagna orientale | 867 | 6-7 | 5.36 |
| 3 | 1911 02 19 07 18 30.00 | Forlivese | 181 | 7 | 5.26 |
| NF | 1911 09 13 22 29 02.00 | Chianti | 115 | 7 | 5.08 |
| 3 | 1913 07 21 22 35 | Appennino romagnolo | 43 | 5-6 | 4.79 |
| 5 | 1914 10 27 09 22 | Lucchesia | 660 | 7 | 5.63 |
| 3 | 1915 01 13 06 52 43.00 | Marsica | 1041 | 11 | 7.08 |
| 5 | 1916 05 17 12 50 | Riminese | 132 | 8 | 5.82 |
| 5 | 1916 08 16 07 06 14.00 | Riminese | 257 | 8 | 5.82 |
| 2 | 1918 05 06 08 05 | Reggiano | 8 | 5-6 | 4.41 |
| 4-5 | 1918 11 10 15 12 28.00 | Appennino forlivese | 187 | 9 | 5.96 |
| 4-5 | 1919 06 29 15 06 13.00 | Mugello | 565 | 10 | 6.38 |
| 5 | 1920 09 07 05 55 40.00 | Garfagnana | 750 | 10 | 6.53 |
| NF | 1920 10 06 22 47 | Mantovano | 19 | 4-5 | 4.14 |
| 3 | 1922 05 24 21 17 25.00 | Ferrarese | 7 | 4 | 3.7 |
| 3-4 | 1926 01 01 18 04 03.00 | Carniola interna | 63 | 7-8 | 5.72 |
| 6 | 1929 04 10 05 44 | Bolognese | 87 | 6 | 5.05 |
| 4 | 1929 04 11 00 56 | Bolognese | 10 | 4 | 4.72 |
| 4 | 1929 04 12 00 32 | Bolognese | 7 | 4 | 4.82 |
| 5-6 | 1929 04 19 04 16 | Bolognese | 82 | 6-7 | 5.13 |
| 4 | 1929 04 19 22 40 | Bolognese | 12 | 5-6 | 4.54 |
| 5 | 1929 04 20 01 10 | Bolognese | 109 | 7 | 5.36 |
| 5 | 1929 04 22 08 26 | Bolognese | 41 | 6-7 | 5.1 |
| 5 | 1929 04 22 14 19 | Bolognese | 12 | 5-6 | 4.61 |
| 5 | 1929 04 28 19 40 | Bolognese | 20 | 6 | 4.73 |
| 5 | 1929 04 29 18 36 | Bolognese | 45 | 6 | 5.2 |
| 4 | 1929 05 01 21 13 | Imolese | 3 | 4 | 4.57 |
| 5 | 1929 05 11 19 23 | Bolognese | 64 | 6-7 | 5.29 |
| 2-3 | 1929 07 18 21 02 | Mugello | 56 | 6-7 | 4.96 |
| 3 | 1929 08 17 04 25 | Bolognese | 10 | 4-5 | 3.89 |
| 4 | 1930 10 24 00 52 | Appennino tosco-emiliano | 12 | 4 | 3.97 |
| 4 | 1930 10 26 07 14 | Appennino tosco-emiliano | 14 | 4 | 4.21 |
| 3 | 1930 10 26 07 31 | Modenese | 11 | 4 | 4.12 |
| 2 | 1930 10 30 07 13 | Senigallia | 268 | 8 | 5.83 |
| 3 | 1931 04 11 01 26 | Faentino | 19 | 4-5 | 4.81 |
| 3 | 1931 06 10 17 02 | Modenese | 14 | 4 | 4.59 |

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

Tab. 6 – Intensità macrosismiche storiche.

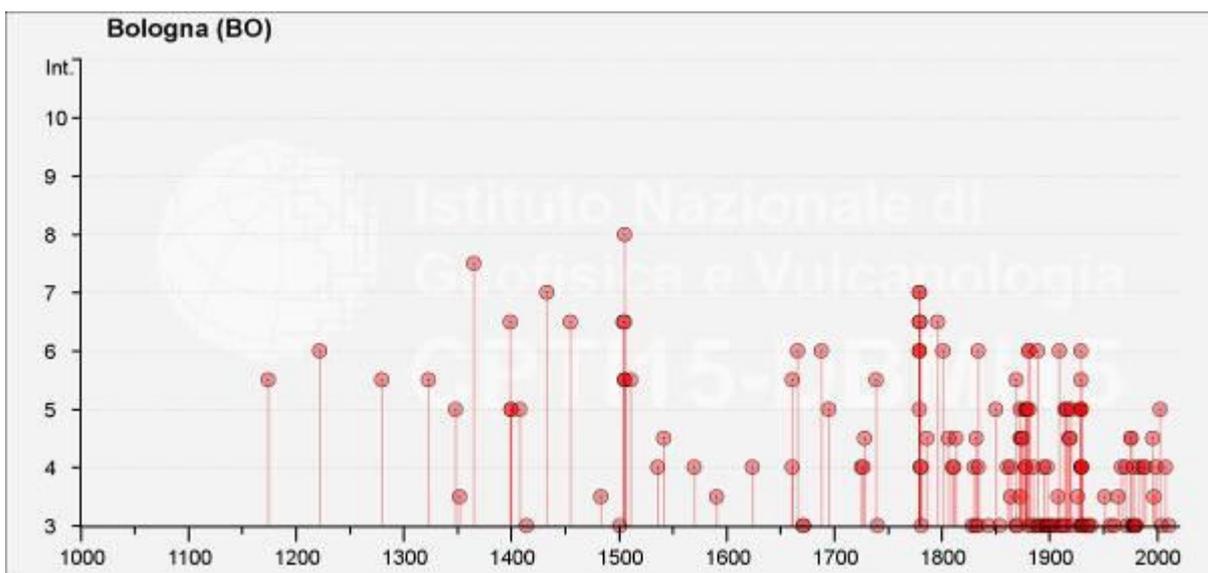


Figura 14-1 - Intensità macrosismiche dal 1000 al 2005 nel Comune di Bologna

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

14.2 SISMICITÀ RECENTE (DAL 1985 AL 2021)

Per quanto concerne i sismi che hanno interessato l'area di Bologna dal 01 gennaio 1985 al 19 novembre 2021, i dati sono stati recuperati dal database ISIDE dell'INGV considerando un'area di raggio 30 km (che include le aree epicentrali dei terremoti più intensi di cui al paragrafo precedente) dal Comune di Bologna.

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

Nella seguente immagine sono evidenziati i terremoti avvenuti dal 1985 ad oggi nelle aree più prossime alle aree di intervento (Fig. 14-2).

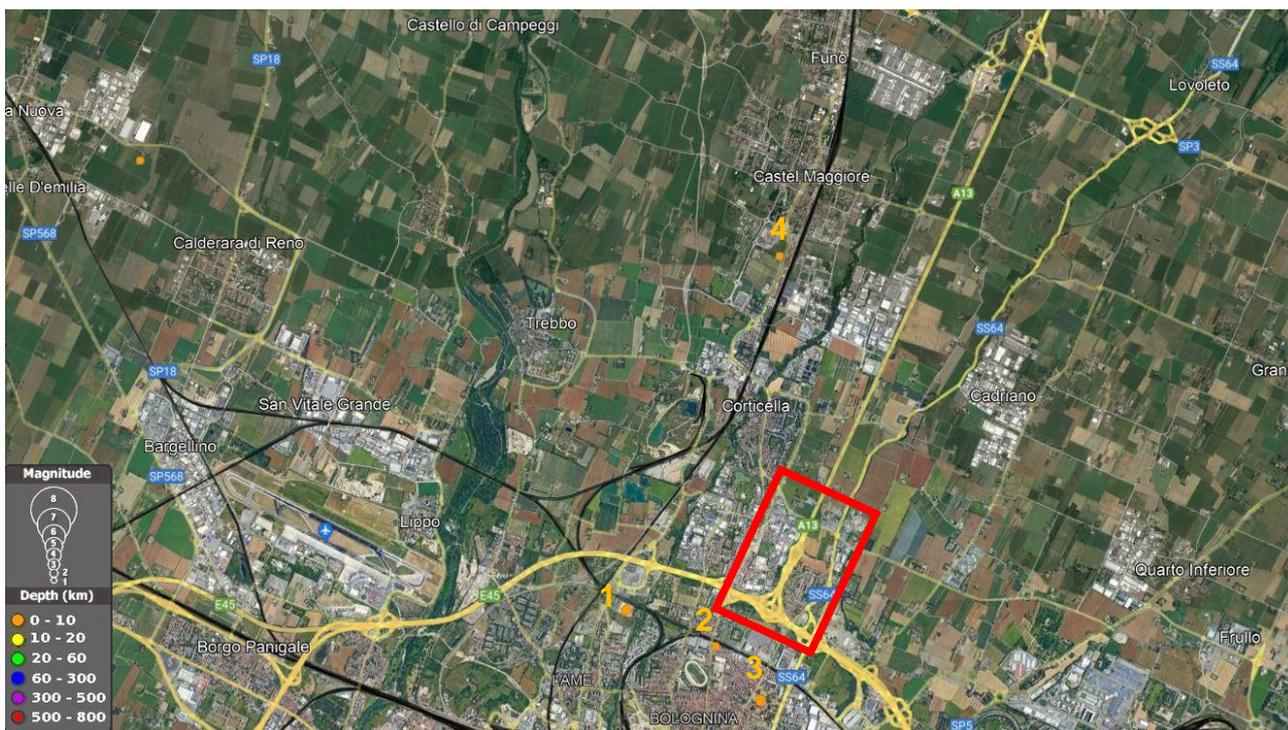


Figura 14-2 – Database ISIDE - periodo 1985-2021 (in rosso l'area di intervento complessiva).

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

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

14.3 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 si riporta uno stralcio planimetrico della distribuzione delle faglie capaci desunta dal “Progetto ITHACA” relativamente all’area di interesse.

GEO0001

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

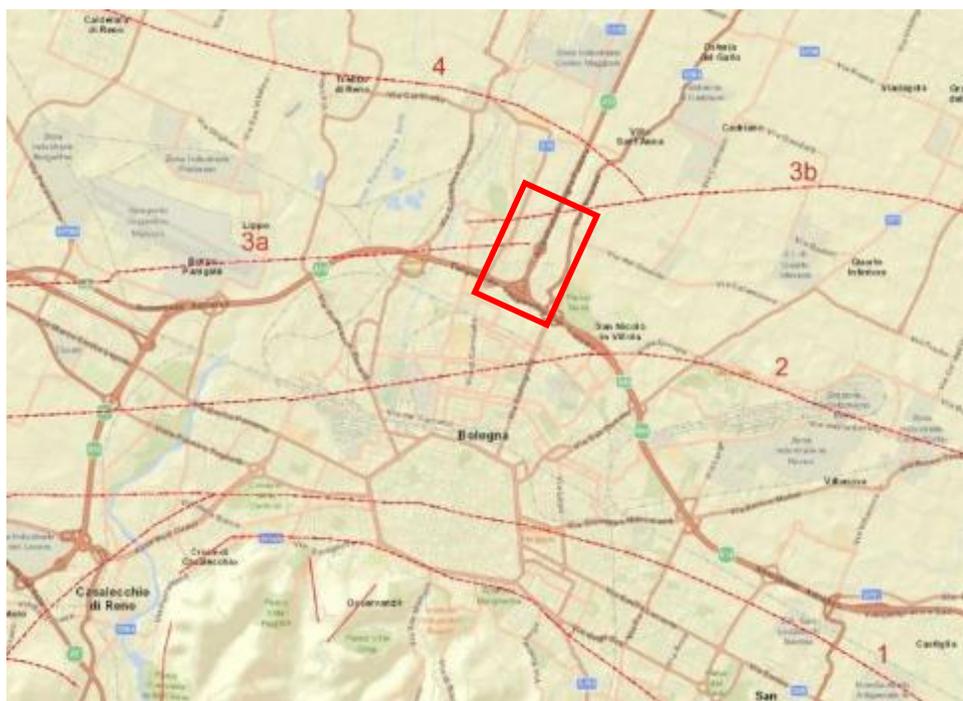


Figura 14-1 - Distribuzione faglie capaci "Progetto ITHACA"

Dalla figura si evince l'estrema vicinanza/interferenza del tracciato oggetto di intervento con due faglie capaci, le cui principali caratteristiche vengono di seguito riassunte:

| | 3a | 3b |
|-------------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| FAULT NAME | Borgo Panigale - Bologna | Castenaso - Bologna |
| FAULT CODE | 90521 | 90608 |
| MACROZONE | 3 | 3 |
| REGION NAME | Emilia Romagna | Emilia Romagna |
| SYSTEM NAME | Bologna | Bologna - Ravenna thrust system |
| KINEMATICS | Reverse | Reverse |
| RANK | Primary | Primary |
| AVERAGE STRIKE | 90 | 85 |
| DIP | 0 | 0 |
| LENGTH (Km) | 23 | 8 |
| DEPTH (Km) | 0 | 0 |
| ACTIVITY RELIABILITY | Low reliability | Low reliability |
| STUDY QUALITY | LOW | LOW |
| MAX CREDIBLE MAGNITUDE | 6,6 | 6,1 |

14.4 STRUTTURE SISMOGENETICHE

Benché le moderne investigazioni della sismotettonica regionale siano iniziate più di 30 anni fa, la conoscenza delle sorgenti sismogenetiche è ancora incerta; ciò dipende soprattutto dal fatto che l'attività tettonica è collegata ai movimenti di sistemi di faglie cieche, le cui caratteristiche (es. lunghezza del singolo segmento, entità dello scivolamento, ecc.) non può essere definita solamente attraverso la classica analisi geomorfologica, ma derivano dall'applicazione di algoritmi che permettono di definire la geometria della sorgente dai dati puntuali di distribuzione dell'intensità dei terremoti storici.

L'identificazione delle sorgenti che sono state definite silenti permette di riconoscere le aree potenzialmente affette da un alto livello di pericolosità sismica.

La seguente figura evidenzia le aree sismogenetiche (poligoni color marrone), definite quali proiezione in superficie dei sistemi di strutture sismogenetiche ritenute attive, caratterizzabili da un punto di vista geometrico e parametrico in maniera coerente con le sorgenti sismogenetiche incluse (poligoni arancioni):

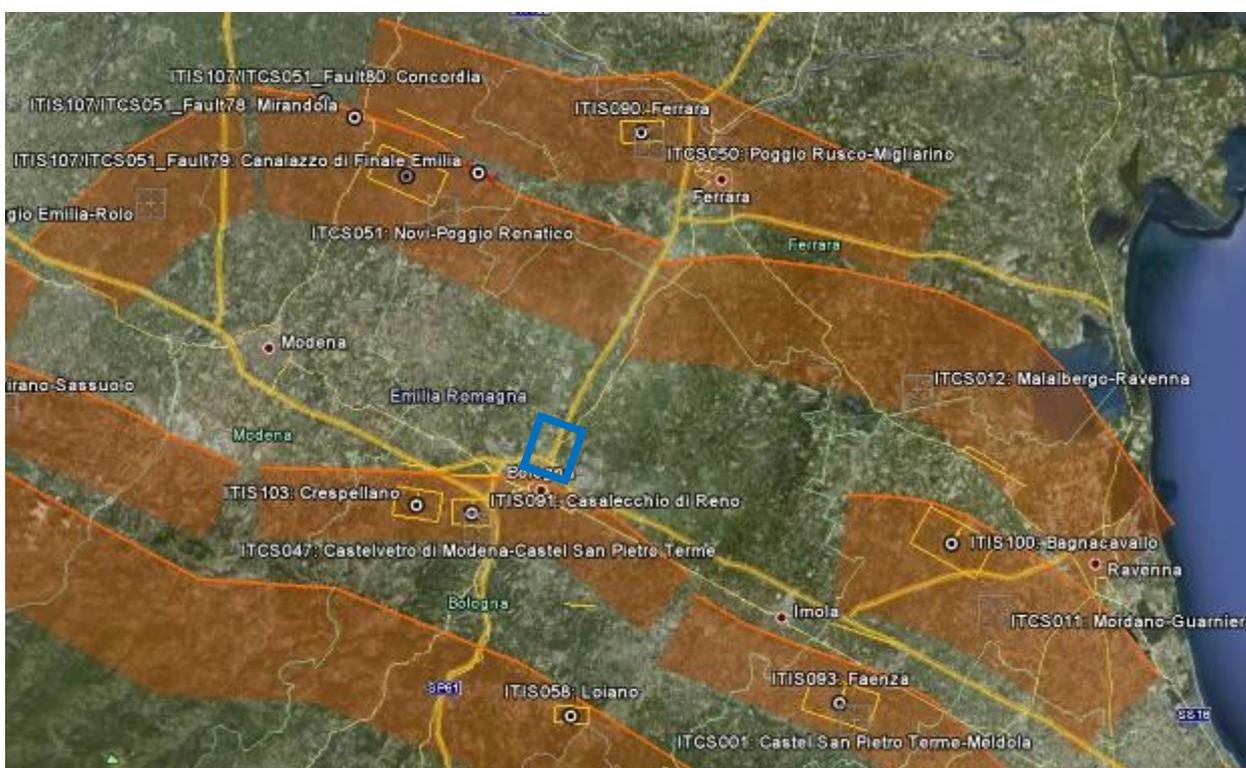


Figura 14-4 - Mappa delle aree sismogenetiche di interesse - Database DISS3.

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

14.5 CLASSIFICAZIONE SISMICA (INGV)

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. 14-5):

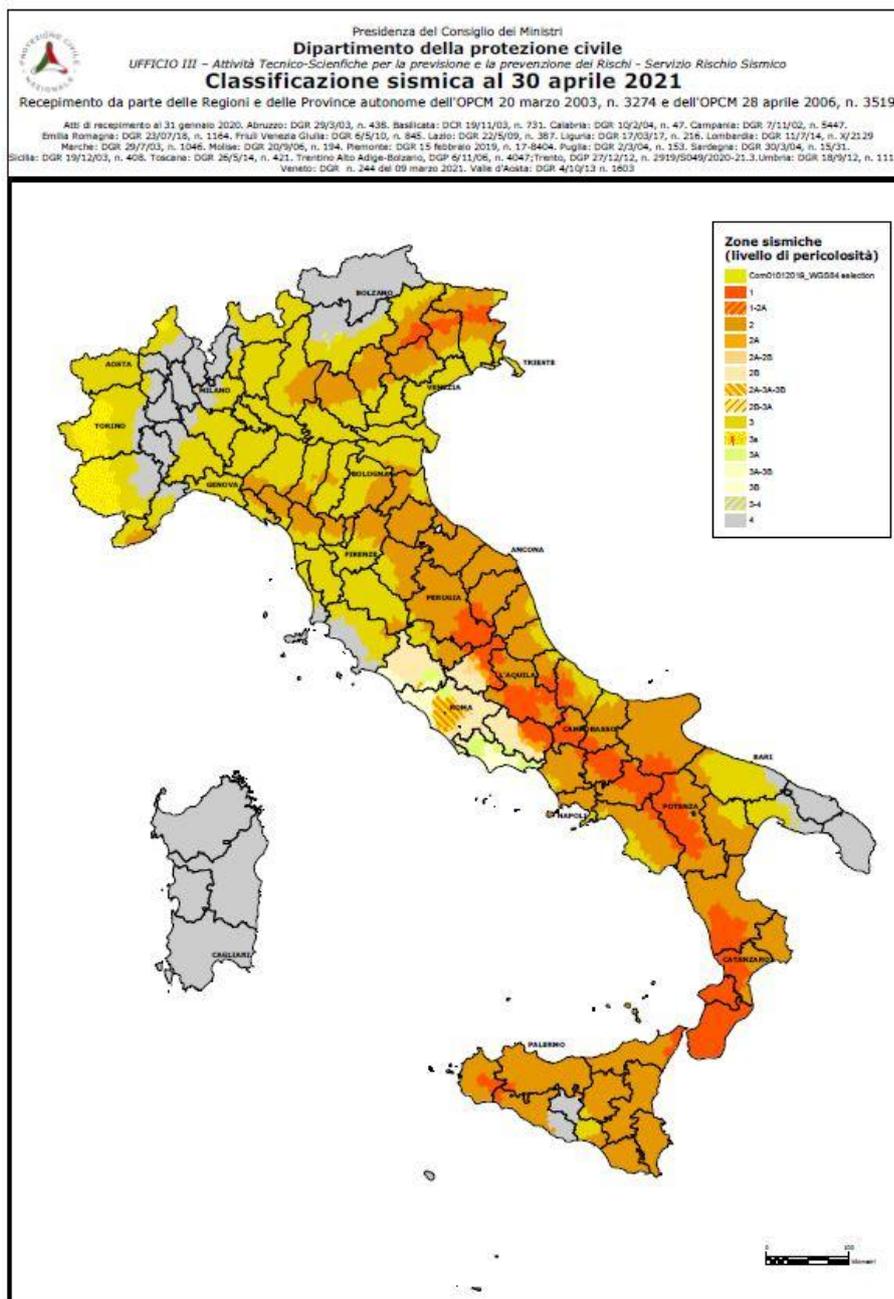


Figura 14-5 - Classificazione Sismica ad aprile 2021 (Fonte: Protezione Civile).

14.6 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. 14-6):

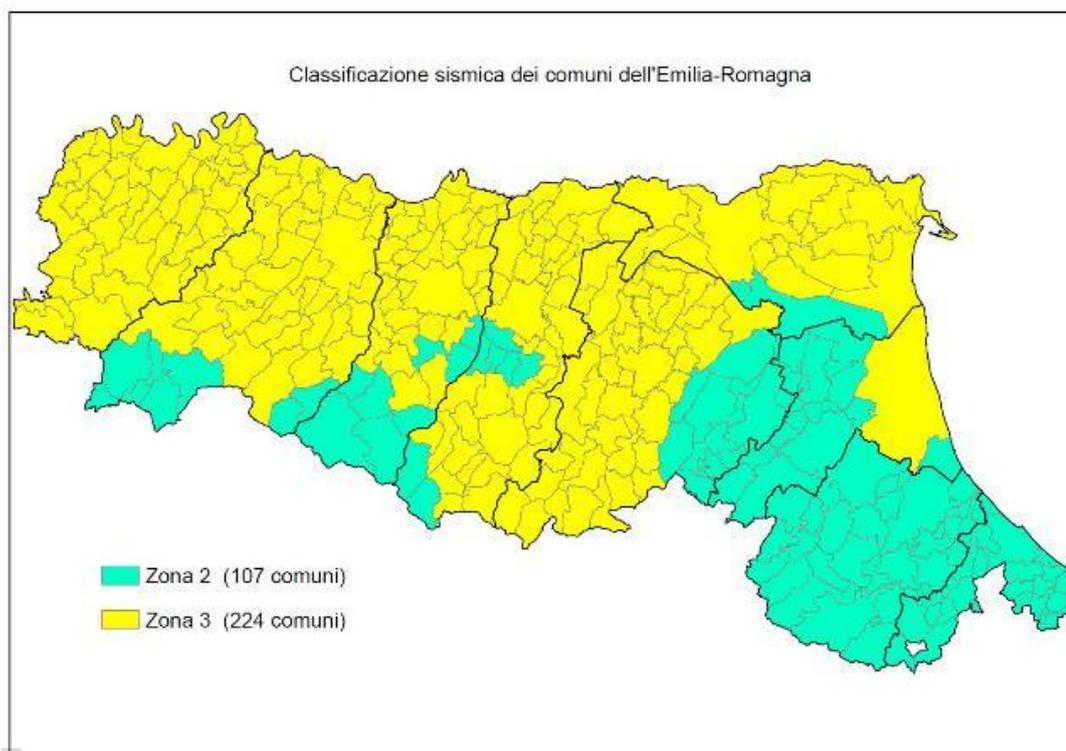


Figura 14-6 - "Aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei comuni dell'Emilia-Romagna" – DGR n° 1164 del 23/07/2018

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

| Regione | Provincia | Codice Istat | Comune | Classificazione Aprile 2021 |
|----------------|-----------|--------------|---------|-----------------------------|
| Emilia Romagna | Bologna | 8037006 | Bologna | 3 |

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

14.7 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 paleovalle del Fiume Reno - e, in minor misura, in alcune aree della provincia di Modena localizzate lungo rami abbandonati del Fiume Panaro. La Regione Emilia-Romagna ha pertanto introdotto aggiornamenti normativi e tecnici ed istituito, insieme al Dipartimento della Protezione Civile, un gruppo di lavoro interdisciplinare – denominato "Gruppo di lavoro Liquefazione" - per programmare ed avviare indagini geotecniche e geofisiche di approfondimento sul tema, al fine di individuare le aree in cui si ritiene necessario verificare la presenza di condizioni predisponenti alla liquefazione.

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

Le condizioni predisponenti del terreno sono:

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

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

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

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

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

15 DESCRIZIONE DEL TRACCIATO

L'integrazione di dati di superficie e di sottosuolo ha permesso la redazione della carta geologica, geomorfologica ed idrogeologica (scala 1:5.000) e di due profili geologici; i documenti sono riportati in allegato alla relazione.

Nell'ambito del presente capitolo si descrivono i principali elementi geologici-geomorfologici ed idrogeologici riscontrabili lungo i due assi in progetto.

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

- Ø argille e/o limi prevalenti (terreni prettamente coesivi);
- Ø ghiaie, ghiaie sabbiose, sabbie ghiaiose, sabbie, sabbie limose, sabbie limoso-argillose (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 profilo geologico deve essere assunta come verosimile ma non come l'unica possibile.

L'intervento previsto lungo l'asse Ovest e quello previsto lungo l'asse est si sviluppano sui terreni afferenti all'Unità di Modena (AES8a) che è contenuta nel subsistema di Ravenna (AES8) con limiti non conformi e che ne costituisce il tetto stratigrafico.

A profondità nell'ordine dei 15-20m dal piano campagna si ipotizza il passaggio ai depositi del Subsistema di Villa Verucchio (AES7).

La litologia del terreno di substrato preminente risulta quella coesiva, in cui sono intercalate lenti di terreno granulare; inoltre, da c.a. 30m di profondità è presente un cospicuo livello sabbioso-ghiaioso piuttosto continuo. La descrizione dettagliata della litostratigrafia dei terreni attraversati (in particolare i livelli torbosi) è contenuta nelle stratigrafie dei sondaggi e dei pozzetti raccolte negli appositi elaborati allegati al presente progetto.

Dal punto di vista geomorfologico si segnala che la porzione iniziale dei due assi si sviluppa, secondo il P.S.C. di Bologna, nell'ambito di un dosso fluviale.

Dal punto di vista idrogeologico i terreni di substrato presentano una permeabilità da bassa a molto bassa, essendo diffusamente limoso-argillosi; si evidenzia che, sulla base del modello isopiezometrico sviluppato per il progetto del Passante di Bologna (dati piezometrici riferibili a febbraio-marzo 2021), è possibile ipotizzare la presenza di una falda principale con soggiacenza di c.a. 7-9m. Tale andamento risulta compatibile con l'unica misura piezometrica disponibile per il sondaggio S-BF1-B, pari a 9,06 m da p.c. misurata a giugno 2011, ed ubicato presso il nuovo scatolare previsto in asse est.

Infine è possibile ipotizzare la presenza di una falda ancora più superficiale, a carattere locale, la cui correlazione si è basata sulle misurazioni registrate nel mese di luglio 2018 durante le prove penetrometriche CPTUx-PE (tra 2,40m e 3,30m da p.c.) e dal datalogger installato nel sondaggio PB17bis in ambito Passante di Bologna (c.a. 4,5m da p.c.).

16 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 dell'opera in oggetto sono quelle descritte nel seguito:

- presenza di materiali con scadenti caratteristiche meccaniche (riporto antropico, depositi fini, livelli torbosi talora contenenti resti lignei) ed elevata compressibilità. In particolare la presenza diffusa di terreni compressibili di natura limoso-argillosa, 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. Il materiale antropico è invece contraddistinto da caratteristiche (granulometriche e spessore) molto variabili;
- 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;
- presenza di fenomeni di Sinkhole in aree limitrofe a quella del progetto (territorio comunale di Sala Bolognese e zona Parco dei Gessi bolognesi);
- presenza di strutture tettoniche identificate da ISPRA nel database ITHACA come "faglie capaci" ed interferenti/limitrofe all'area di intervento;
- presenza di strutture sismogenetiche.

ALLEGATI

ALLEGATO 1:

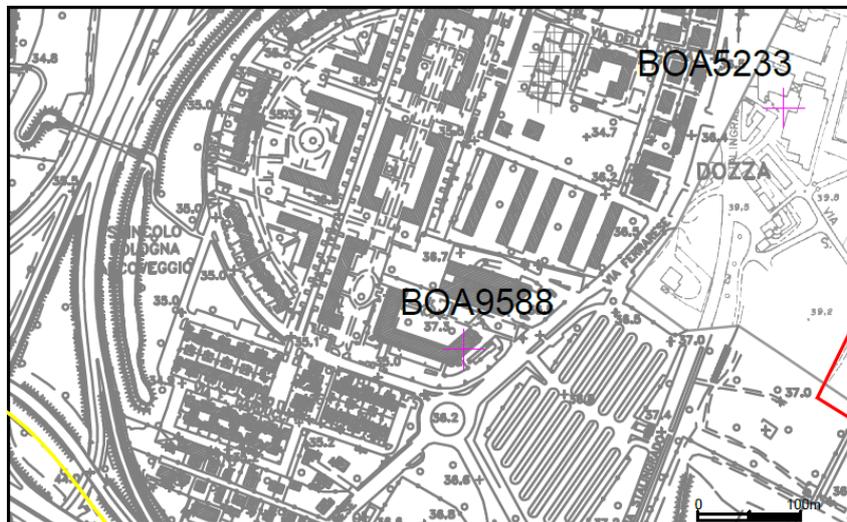
SCHEDE DI CENSIMENTO DEI PUNTI D'ACQUA

SCHEDA RILIEVO PUNTI D'ACQUA

| | |
|--|---|
| Committente | TECNE Gruppo Autostrade per l'Italia S.p.A. |
| Commessa | Autostrada A14 Bologna - Bari - Taranto Tratto: Bologna Borgo Panigale – Bologna San Lazzaro Potenziamento in sede del sistema Autostradale e Tangenziale di Bologna (Passante) Progetto Definitivo e Progetto Esecutivo |
| Lotto | - |
| Data | 25/02/2021 |
| Comune | Bologna |
| Località | Dozza |
| Sigla identificativa del punto d'acqua | BOA9588 |
| Gestore | Sol.Bat srl |

UBICAZIONE PUNTO D'ACQUA

| | | | | |
|-------------------------|-------------|-----|-------------|-----|
| Coordinate Gauss Boaga | X = 1687842 | m E | Y = 4933131 | m N |
| Quota (m s.l.m.) | 37,3 | | | |
| Distanza dall'opera (m) | 357,0 | | | |



| DESCRIZIONE GENERALE DEL PUNTO D'ACQUA | | | | |
|---|---|--|---|--|
| Contesto strutturale | In roccia | | In terreno | |
| | Interfaccia T/R | | In corrispondenza di fratture in roccia | |
| | Interfaccia tra litologie a differente permeabilità | | In corrispondenze di zone di faglia | |
| Punto d'acqua captato | si | | No | |
| Tipologia d'uso | idropotabile | | Industriale | |
| | irriguo | | Altro | |
| Bacino di utenza | Privato | | | |
| Periodo di utilizzazione | permanente | | Saltuario | |
| | stagionale | | Dismesso | |
| Litologie interessate | nd | | | |
| Formazioni | nd | | | |
| TIPOLOGIA PUNTO D'ACQUA | | | | |
| Pozzo | - | | | |
| Dimensioni pozzo (ømm) | - | | | |
| Profondità pozzo (m) | - | | | |
| Profondità tratto captato | - | | | |
| Livello statico (m da pc) | - | | | |
| Livello dinamico (m da pc) | - | | | |
| Tipo di falda | freatica | | in pressione | |
| | mista | | | |
| Portata (l/s) | | | | |
| Temperatura (°C) | | | | |
| Conducibilità elett. (µS) | | | | |
| PH | | | | |
| TDS (ppm) | | | | |
| Stratigrafia | - | | | |
| Sorgente | | | | |
| Periodo di osservazione | | | | |
| Frequenza misurazioni | | | | |
| Tipologia di sorgente | Di emergenza della falda | | Di trabocco | |
| | Di contatto | | Di sbarramento | |
| | Di fessura | | | |
| Tipologia opera di captazione | | | | |
| Portata | | | | |
| Temperatura | | | | |
| Conducibilità elettrica | | | | |

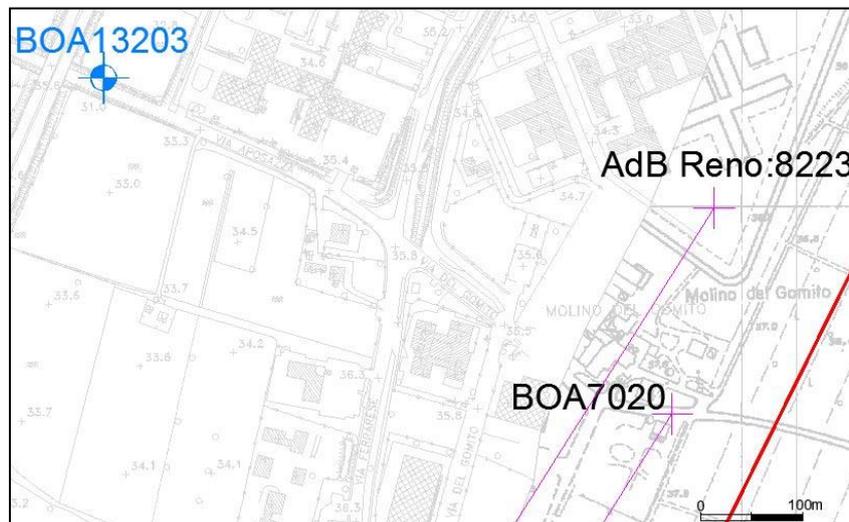
NOTE - Nuova area di servizi e uffici (agenzia entrate), pozzo non rilevato.

SCHEMA RILIEVO PUNTI D'ACQUA

| | |
|--|---|
| Committente | TECNE Gruppo Autostrade per l'Italia S.p.A. |
| Commissa | Autostrada A14 Bologna - Bari - Taranto Tratto: Bologna Borgo Panigale – Bologna San Lazzaro Potenziamento in sede del sistema Autostradale e Tangenziale di Bologna (Passante) Progetto Definitivo e Progetto Esecutivo |
| Lotto | - |
| Data | 19/03/2021 |
| Comune | Bologna |
| Località | Molino del Gomito |
| Sigla identificativa del punto d'acqua | BOA13203 |
| Gestore | Privato |

UBICAZIONE PUNTO D'ACQUA

| | | |
|-------------------------|---------------------|---------------------|
| Coordinate Gauss Boaga | X = 687290 m E | Y = 934358 m N |
| Quota (m s.l.m.) | 32,8 | |
| Distanza dall'opera (m) | 1153,0 | |



| DESCRIZIONE GENERALE DEL PUNTO D'ACQUA | | | | |
|---|---|--|---|--|
| Contesto strutturale | In roccia | | In terreno | |
| | Interfaccia T/R | | In corrispondenza di fratture in roccia | |
| | Interfaccia tra litologie a differente permeabilità | | In corrispondenze di zone di faglia | |
| Punto d'acqua captato | si | | No | |
| Tipologia d'uso | idropotabile | | Industriale | |
| | irriguo | | Altro | |
| Bacino di utenza | Privato | | | |
| Periodo di utilizzazione | permanente | | Saltuario | |
| | stagionale | | Dismesso | |
| Litologie interessate | nd | | | |
| Formazioni | nd | | | |
| TIPOLOGIA PUNTO D'ACQUA | | | | |
| Pozzo | - | | | |
| Dimensioni pozzo (ømm) | - | | | |
| Profondità pozzo (m) | - | | | |
| Profondità tratto captato | - | | | |
| Livello statico (m da pc) | - | | | |
| Livello dinamico (m da pc) | - | | | |
| Tipo di falda | freatica | | in pressione | |
| | mista | | | |
| Portata (l/s) | | | | |
| Temperatura (°C) | | | | |
| Conducibilità elett. (µS) | | | | |
| PH | | | | |
| TDS (ppm) | | | | |
| Stratigrafia | - | | | |
| Sorgente | | | | |
| Periodo di osservazione | | | | |
| Frequenza misurazioni | | | | |
| Tipologia di sorgente | Di emergenza della falda | | Di trabocco | |
| | Di contatto | | Di sbarramento | |
| | Di fessura | | | |
| Tipologia opera di captazione | | | | |
| Portata | | | | |
| Temperatura | | | | |
| Conducibilità elettrica | | | | |

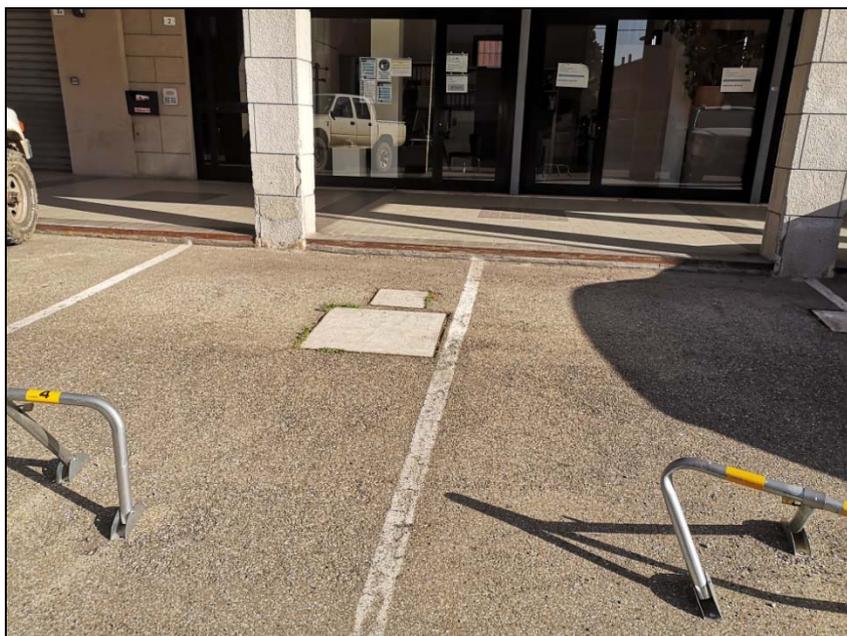
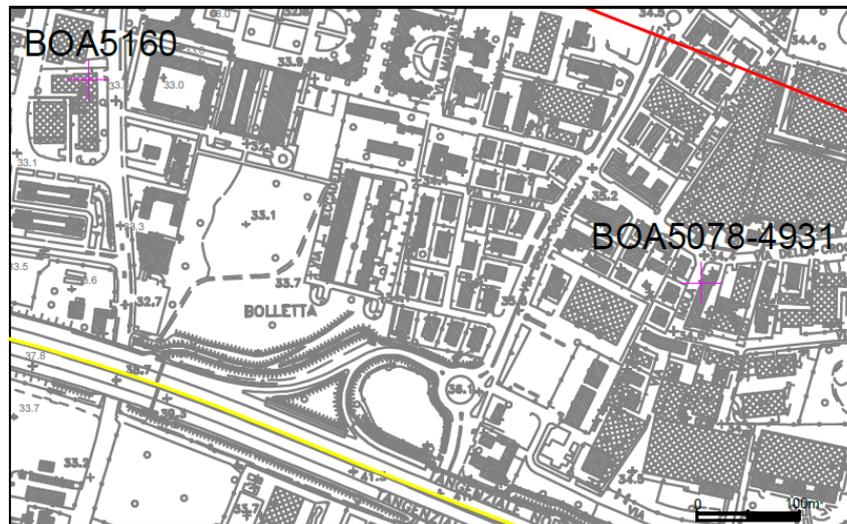
| |
|---|
| NOTE - Area agricola, presenza di impianto idrico, pozzo non rilevato. |
| |

SCHEDA RILIEVO PUNTI D'ACQUA

| | |
|--|---|
| Committente | TECNE Gruppo Autostrade per l'Italia S.p.A. |
| Commessa | Autostrada A14 Bologna - Bari - Taranto Tratto: Bologna Borgo Panigale – Bologna San Lazzaro Potenziamento in sede del sistema Autostradale e Tangenziale di Bologna (Passante) Progetto Definitivo e Progetto Esecutivo |
| Lotto | - |
| Data | 25/02/2021 |
| Comune | Bologna |
| Località | Bolletta |
| Sigla identificativa del punto d'acqua | BOA5078 |
| Gestore | Donini International |

UBICAZIONE PUNTO D'ACQUA

| | | |
|-------------------------|-----------------|-----------------|
| Coordinate Gauss Boaga | X = 1687098 m E | Y = 4933470 m N |
| Quota (m s.l.m.) | 34,4 | |
| Distanza dall'opera (m) | 289,0 | |



| DESCRIZIONE GENERALE DEL PUNTO D'ACQUA | | | | |
|---|---|--|---|--|
| Contesto strutturale | In roccia | | In terreno | |
| | Interfaccia T/R | | In corrispondenza di fratture in roccia | |
| | Interfaccia tra litologie a differente permeabilità | | In corrispondenze di zone di faglia | |
| Punto d'acqua captato | si | | No | |
| Tipologia d'uso | idropotabile | | Industriale | |
| | irriguo | | Altro | |
| Bacino di utenza | Privato | | | |
| Periodo di utilizzazione | permanente | | Saltuario | |
| | stagionale | | Dismesso | |
| Litologie interessate | nd | | | |
| Formazioni | nd | | | |
| TIPOLOGIA PUNTO D'ACQUA | | | | |
| Pozzo | - | | | |
| Dimensioni pozzo (ømm) | - | | | |
| Profondità pozzo (m) | - | | | |
| Profondità tratto captato | - | | | |
| Livello statico (m da pc) | - | | | |
| Livello dinamico (m da pc) | - | | | |
| Tipo di falda | freatica | | in pressione | |
| | mista | | | |
| Portata (l/s) | | | | |
| Temperatura (°C) | | | | |
| Conducibilità elett. (µS) | | | | |
| PH | | | | |
| TDS (ppm) | | | | |
| Stratigrafia | - | | | |
| Sorgente | | | | |
| Periodo di osservazione | | | | |
| Frequenza misurazioni | | | | |
| Tipologia di sorgente | Di emergenza della falda | | Di trabocco | |
| | Di contatto | | Di sbarramento | |
| | Di fessura | | | |
| Tipologia opera di captazione | | | | |
| Portata | | | | |
| Temperatura | | | | |
| Conducibilità elettrica | | | | |

NOTE - Area residenziale e parcheggi, pozzo non rilevato.

ALLEGATO 2:

RETE DI MONITORAGGIO CHIMICO DI ARPAE:

PARAMETRI CHIMICI 2015

| ID | DATA | Parametri di base | | | | | | Inquinanti inorganici | | | | | | | | Metalli | | | | | | | | | | | | | |
|---------|------------|-------------------|---------|--------------------|---------------|--------------|------------|-----------------------|------------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | | Temp. °C | PH - | Cond. El. µS/cm | CaCO3 mg/l | HCO3 mg/l | O2 mg/l | B µg/l | Cl mg/l | F µg/l | PO4 mg/l | SO4 mg/l | NO3 mg/l | NO2 µg/l | NH4 µg/l | Ca mg/l | Mg mg/l | Na mg/l | K mg/l | Fe µg/l | Mn µg/l | As µg/l | Ba µg/l | Cd µg/l | Cr µg/l | Ni µg/l | Pb µg/l | Cu µg/l | Zn µg/l |
| BO20-00 | 07/04/2015 | 14,4 | 7,1 | 1004 | 552 | 517 | 0,6 | 185 | 60,1 | <50 | <0,01 | 141 | 69,3 | <30 | <20 | 190 | 36,8 | 30,1 | 2,8 | <20 | <5 | <1 | 139 | <0,5 | <2 | 3 | <2 | <5 | 35 |
| BO20-00 | 03/11/2015 | | 6,9 | 1121 | 521 | 508 | <0,5 | 183 | 59,7 | 116 | <0,01 | 123 | 63,6 | <30 | 30 | 181 | 36,5 | 29 | 3,2 | <20 | <5 | <1 | 149 | <0,04 | <2 | 2 | <1 | 7 | 54 |
| BO26-00 | 19/05/2015 | 15,9 | 8 | 715 | 300 | 514 | 3,2 | | 9,4 | 361 | 0,28 | <1 | <1 | <30 | 3860 | 60 | 34,1 | 66,3 | 1,5 | | | | | | | | | | |
| BO26-00 | 29/10/2015 | 15 | 7,7 | 704 | 263 | 505 | 2,8 | 470 | 9,2 | 353 | 0,16 | <1 | <1 | <30 | 4520 | 57 | 33 | 65,8 | 1,5 | 23 | 55 | 57 | 226 | <0,04 | <2 | <1 | <1 | <5 | <10 |
| BO28-00 | 21/05/2015 | 15 | 7,4 | 594 | 268 | 430 | 0,7 | 189 | 6,8 | 174 | 0,06 | <1 | <1 | <30 | 2380 | 91 | 18,8 | 29,9 | 1,5 | 247 | 385 | <1 | 276 | <0,5 | <2 | <2 | <2 | <5 | 26 |
| BO32-00 | 19/05/2015 | 14 | 7,6 | 698 | 360 | 461 | 1 | | 12 | 166 | 0,14 | 16,9 | <1 | <30 | 571 | 107 | 21,5 | 32,8 | 2,5 | | | | | | | | | | |
| BO32-00 | 29/10/2015 | 13,9 | 7,2 | 749 | 306 | 471 | 0,5 | 130 | 12,6 | 151 | <0,01 | 15,5 | <1 | <30 | 414 | 105 | 21,9 | 34,5 | 2,7 | <20 | 169 | <1 | 176 | <0,04 | <2 | <1 | <1 | <5 | <10 |
| BO33-00 | 19/05/2015 | 14,7 | 8,1 | 700 | 328 | 440 | 0,9 | | 11,6 | 146 | 0,13 | 38,8 | <1 | <30 | 1110 | 99 | 21,1 | 43,1 | 2,4 | | | | | | | | | | |
| BO33-00 | 29/10/2015 | 14,4 | 7,8 | 715 | 304 | 428 | 0,7 | 148 | 13,5 | 176 | 0,02 | 52,6 | <1 | <30 | 1020 | 101 | 23 | 36,7 | 2,5 | <20 | 166 | <1 | 182 | <0,04 | <2 | 4 | <1 | <5 | 30 |

Fonte dati: ARPAE - Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente - Dati Ambientali Emilia-Romagna

Aggiornamento dati: **2015**

ALLEGATO 3:

CERTIFICATI DI ANALISI CHIMICA DEI SOLFATI E CLORURI
(PRELIEVI DI ACQUA)

Laboratorio Prove Ambientali Rapporto di prova n. 2861/16

Pag. 1 di 1

| | |
|----------------------------|--|
| Committente: | ISM GEO s.r.l. - Via Pastrengo 9, 24068 Seriate |
| Campione prelevato da: | Committente |
| Descrizione campione: | N° 3 campioni di acqua, n° 2 campioni di terreno |
| Data ricevimento campione: | 29.11.2016 |
| Accettazione n°: | 2861 |
| Data inizio analisi: | 10.01.2017 |
| Data fine analisi: | 10.01.2017 |

| DENOMINAZIONE CAMPIONE | PARAMETRI RICERCATI | Valori Rilevati | Norme di riferimento |
|------------------------|-----------------------------|-----------------|---|
| Acqua PB 17 bis | Cloruri | 33,2 mg/L | APAT CNR-IRSA Metodi analitici per le acque Vol.2 Met.4020 (2003) |
| Acqua PB 17 bis | Solfati | 235 mg/L | APAT CNR-IRSA Metodi analitici per le acque Vol.2 Met.4020 (2003) |
| Acqua PB 21 bis | Cloruri | 19,4 mg/L | APAT CNR-IRSA Metodi analitici per le acque Vol.2 Met.4020 (2003) |
| Acqua PB 21 bis | Solfati | 18,9 mg/L | APAT CNR-IRSA Metodi analitici per le acque Vol.2 Met.4020 (2003) |
| Acqua PB 28 | Cloruri | 19,7 mg/L | APAT CNR-IRSA Metodi analitici per le acque Vol.2 Met.4020 (2003) |
| Acqua PB 28 | Solfati | 10,0 mg/L | APAT CNR-IRSA Metodi analitici per le acque Vol.2 Met.4020 (2003) |
| Terreno PB 7 | Cloruri (solubili in acqua) | 10,7 mg/kg | Solubilizzazione in acqua+APAT CNR-IRSA Metodi analitici per le acque Vol.2 Met.4020 (2003) |
| Terreno PB 7 | Solfati (solubili in acqua) | 13,7 mg/kg | Solubilizzazione in acqua+APAT CNR-IRSA Metodi analitici per le acque Vol.2 Met.4020 (2003) |
| Terreno PB 12 | Cloruri (solubili in acqua) | < 10 mg/kg | Solubilizzazione in acqua+APAT CNR-IRSA Metodi analitici per le acque Vol.2 Met.4020 (2003) |
| Terreno PB 12 | Solfati (solubili in acqua) | < 10 mg/kg | Solubilizzazione in acqua+APAT CNR-IRSA Metodi analitici per le acque Vol.2 Met.4020 (2003) |

Seriate, li 16.01.2017

L'Analista

Il Responsabile del Laboratorio
(ANDREO COTTI Franco Carlo)



I risultati contenuti nel presente Rapporto si riferiscono esclusivamente all'oggetto provato.
Il documento non può essere riprodotto parzialmente, salvo approvazione scritta del Laboratorio.