COMUNE DI SAN GIORGIO DI PIANO

Servizio Lavori Pubblici

CITTA' METROPOLITANA DI BOLOGNA

Servizio Progettazione Costruzioni e Manutenzione Strade

RIORGANIZZAZIONE DELLA VIABILITÀ DI ADDUZIONE ALL'ACCESSO NORD DELL'INTERPORTO DI BOLOGNA NEL COMUNE DI SAN GIORGIO DI PIANO

SOGGETTO ATTUATORE
INTERPORTO BOLOGNA SPA

REFERENTE TECNICO
Arch. Alessandro Gaiani

COMUNE DI SAN GIORGIO DI PIANO

DIRITTORE AREA PROGRAMMAZIONE E GESTIONE DEL TERRITORIO
Arch. Elena Chiarelli

CITTA' METROPOLITANA DI BOLOGNA

DIRIGENTE DEL SERVIZIO VIABILITÀ
Ing. Pietro Luminasi

REFERENTE TECNICO
Ing. Francesco Vitale

PROGETTO DEFINITIVO

DG–DOCUMENTAZIONE GENERALE

GEOLOGIA

PARTE GENERALE

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA E D'INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

IL GEOLOGO	IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE	IL DIRETTORE TECNICO
Dott. Vittorio Boerio Ord. Geol. Lombardia N.794 **RESPONSABILE GEOLOGIA**	Ing. Michele Angelo Parrella Ord. Ingg. Avellino N. 933 **PROJECT ENGINEER**	Ing. Andrea Tanzi Ord. Ingg. Parma N. 1154

CODICE IDENTIFICATIVO																																Ordinatore:
RIFERIMENTO PROGETTO											RIFERIMENTO DIRETTORIO													RIFERIMENTO ELABORATO										
Codice Commessa						Lotto, Sub–Prog, Cod. Appalto				Fase			Capitolo		Paragrafo			WBS tipologia		WBS progressivo			PARTE D'OPERA							Tip.	Disciplina			Progressivo				Rev.	
5	7	1	0	0	1	S	P	0	1	P	D	D	G	G	E	O	G	E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	R	G	E	O	0	0	0	1	–	0

SCALA: –

spea ENGINEERING gruppo Atlantia

PROJECT MANAGER:		SUPPORTO SPECIALISTICO:	
REDATTO:	Dott. Luciano Cagnola	VERIFICATO:	–

REVISIONE	
n.	data
	MAGGIO 2020
1	–
2	–
3	–
4	–

Sommario

1 INTRODUZIONE 3

2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITA' SVOLTE 4

2.1 RACCOLTA DEI DATI PREGRESSI 4
2.2 RILEVAMENTO 4
2.3 INDAGINI GEOGNOSTICHE 5
2.3.1 Indagini bibliografiche pregresse 5
2.3.2 Indagini geognostiche pregresse (Interporto Bologna S.P.A., 02/2019) 5
2.3.3 Indagini geognostiche progettazione (2020) 5
2.4 ANALISI DELLE STRATIGRAFIE DEI SONDAGGI 6

3 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO 7

4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE 8

5 STRATIGRAFIA 10

5.1 SINTEMA EMILIANO - ROMAGNOLO SUPERIORE (AES): 13
5.1.1 Subsintema di Ravenna (AES8) 13
5.1.2 Subsintema di Villa Verucchio (AES7) 14

6 GEOMORFOLOGIA 15

6.1 INQUADRAMENTO GENERALE 15
6.2 IDROGRAFIA 15
6.3 GEOMORFOLOOGIA DELL'AREA DI INTERVENTO 16

7 ANALISI DELLA CARTOGRAFIA PRODOTTA DAGLI ENTI 16

7.1 PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI) 16
7.2 PIANO DI COORDINAMENTO GESTIONE RISCHI ALLUVIONI (PGRA) 17
7.3 PIANO TERRITORIALE DI COORDINAMENTO PROVINCIALE (PTCP) 19
7.4 PIANO STRUTTURALE COMUNALE (PSC) 20

8 ALTRI ELEMENTI DI INTERESSE 22

8.1 SUBSIDENZA 22
8.2 LIQUEFAZIONE 27
8.3 GAS 28
8.4 SINKOLE 29

9 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO GENERALE 30

9.1 IDROGEOLOGIA DELL'AREA DI STUDIO 33

10 CARTOGRAFIA TEMATICA E LEGENDE 37

10.1 GEOLOGIA 37
10.2 GEOMORFOLOGIA 38
10.3 IDROGELOGIA 38

11 ELEMENTI DI SISMICA GENERALE 39

11.1 SISMICITÀ STORICA (DAL 1000 AL 2005) 39
11.2 SISMICITÀ RECENTE (DAL 1985 AL 2020) 45
11.3 FAGLIE CAPACI 48
11.4 STRUTTURE SISMOGENETICHE 49

11.5 CLASSIFICAZIONE SISMICA 52
11.6 CLASSIFICAZIONE SISMICA DELL'AREA DI STUDIO 54

12 DESCRIZIONE DELLE AREE DI INTERVENTO 56

12.1 INTERVENTO 1 56
12.2 INTERVENTO 2 56
12.3 INTERVENTO 3 57
12.4 INTERVENTO 4 57
12.5 INTERVENTO 5 58

13 PRINCIPALI ASPETTI GEOLOGICI DI INTERESSE INGEGNERISTICO 59

1 INTRODUZIONE

La presente relazione riguarda la porzione di territorio che ricade nella piana alluvionale appenninica nei pressi del Comune di San Giorgio di Piano, nell'ambito del progetto definitivo per la riorganizzazione della viabilità di accesso all'interporto di Bologna.

Lo scopo del lavoro consiste nell'illustrare gli elementi geologici e geomorfologici utili a focalizzare i principali aspetti progettuali riconducibili alla natura ed alle caratteristiche dei terreni afferenti i 5 interventi oggetto del presente studio.

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

Gli elementi utilizzati per la redazione della planimetria geologico - geomorfologica in scala 1:5000 (con dettaglio planimetrico in scala 1:1.000 e sezione geologica in scala 1:1.000/1000 relativamente all'intervento 3) sono stati ricavati essenzialmente dall'analisi critica dei dati bibliografici e dall'esame di tutte le stratigrafie disponibili (pozzi, indagini pregresse e sondaggi/pozzetti superficiali appositamente realizzati).

La relazione geologica 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.

La definizione dell'accelerazione sismica di riferimento, della quota di falda di progetto, delle interferenze fra infrastruttura e la falda idrica, la stima quantitativa dei volumi potenzialmente instabili, la definizione degli interventi di minimizzazione/stabilizzazione, la caratterizzazione delle terre provenienti dagli scavi in ordine alla loro possibile riutilizzabilità, la definizione del modello geotecnico, i criteri per la scelta delle fondazioni delle opere non sono argomenti oggetto della presente relazione geologico – geomorfologica. Qualora la progettazione delle opere in argomento e/o i vincoli territoriali implicassero la definizione dei tematismi sopra elencati, essi sarebbero sviluppati nell'ambito di specifiche relazioni ingegneristiche.

2 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITA' SVOLTE

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

2.1 RACCOLTA DEI DATI PREGRESSI

Sono stati acquisiti dati/pubblicazioni dalle seguenti fonti:

- Servizio Geologico della Regione Emilia – Romagna: 1) cartografia geologica (progetto CARG: foglio 203 "Poggio Renatico", foglio 203 "Carta del tetto delle sabbie alluvionali e delle argille organiche deltizie subsintema di Ravenna AES8 e Villa Verucchio AES7", foglio 204 "Portomaggiore", foglio 221 "Bologna"); 2) Carta Sismotettonica della Regione Emilia - Romagna alla scala 1:250.000; 3) Carta Geologica d'Italia 1:100.000, fogli 87 (Bologna); 4) Carta geomorfologica della pianura - Geologia sismica e suoli (03/14); 5) carta dei suoli della pianura emiliano-romagnola in scala 1:50.000; 6) stratigrafie sondaggi, pozzi pubblici e privati, prove penetrometriche ad uso privato;
- Società Geologica Italiana;
- ARPA Regione Emilia Romagna: Rilievo della subsidenza nella pianura emiliano-romagnola (da portale cartografico ARPAE);
- Piani Stralcio Assetto Idrogeologico: Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po (in cui è confluita l'Autorità di Bacino del Reno) (accesso web sito AdB Reno del 01/2020);
- Piani di Coordinamento Gestione Rischi Alluvioni - PGRA (Direttiva Alluvioni 2007/60/CE Regione Emilia Romagna) – Distretto Padano ed Adb Reno (accesso web del 01/2020);
- Piano Infraregionale delle Attività Estrattive PIAE (approvaz 31/03/2014) - Città Metropolitana di Bologna (accesso web del 01/2020);
- SIT – Servizio Informativo Territoriale della Provincia di Bologna;
- Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale PTCP (delibere 2013);
- Piano Strutturale Comunale (PSC) in forma associata "Unione Reno-Galliera" del Comune di San Giorgio di Piano (aggiorn. 10/2013).

2.2 RILEVAMENTO

Al fine di identificare le caratteristiche dei depositi afferenti l'area in oggetto è stata svolta una campagna di rilevamento geologico – geomorfologico in sito. La sintesi del lavoro è rappresentata nelle tavole allegate al presente progetto.

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

Relativamente agli ambienti antropizzati, si sono cartografate le aree nelle quali risultano presenti rilevati artificiali, principalmente quelli relativi alle infrastrutture lineari (ferrovia), e quelli intercettati dalle verticali di indagine.

2.3 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 dei vari interventi in progetto, è risultato indispensabile utilizzare dati provenienti da sondaggi geognostici e da pozzi. In prima fase si è provveduto a reperire tutti i dati disponibili (presso Enti/privati o indagini pregresse realizzate all'interno dell'area in esame) per una fascia molto più ampia di quella riportata nelle planimetrie allegate al presente progetto.

Tutte le informazioni utili recuperate sono state riportate negli elaborati cartografici in scala 1:5000 in funzione della loro ubicazione plano-altimetrica e con simbologia differente in relazione alla tipologia di indagine.

2.3.1 Indagini bibliografiche pregresse

La consultazione delle stratigrafie fornite dal Servizio Geologico Regionale ha riguardato le verticali d'indagine relative al progetto CARG ed alla realizzazione di pozzi per acqua ad uso pubblico/privato: tale documentazione consiste per lo più di stratigrafie di difficile interpretazione, in quanto molto vecchie e talora derivanti da perforazioni realizzate a distruzione di nucleo (ricostruzione granulometrica derivata dall'analisi del cutting e dei fanghi). Le descrizioni sono frequentemente risultate sommarie (soprattutto per quanto attiene agli strati più superficiali e significativi ai fini della progettazione) e povere di quegli elementi indispensabili per una inequivocabile attribuzione alle unità geologiche (fuso granulometrico, colore ed alterazione dei granuli). Inoltre, non sono corredate da prove geotecniche (SPT, prove di permeabilità, etc.). Tali stratigrafie si sono comunque rivelate utili nel momento in cui sono state definite le correlazioni con le indagini geognostiche appositamente realizzate per la progettazione, con particolare riferimento all'Intervento 3.

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

2.3.2 Indagini geognostiche pregresse (Interporto Bologna S.P.A., 02/2019)

Nell'ambito del progetto richiesto dalla soc. Interporto Bologna per la realizzazione di una nuova rotatoria tra via Marconi e via IV Novembre a San Giorgio di Piano sono stati eseguiti:

- n° 1 prova penetrometrica statica con piezocono (CPTU) spinta ad una profondità di 15,06m;
- prelievo di n° 1 campione indisturbato alla profondità di 2,40-2,90m, sul quale sono state eseguite prove di identificazione ed una prova di taglio diretto;
- n° 1 prospezione sismica passiva tipo HVSR.

2.3.3 Indagini geognostiche progettazione (2020)

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

- n. 1 sondaggio geognostico verticale (sigla S-D1) spinto alla profondità di 30m, con esecuzione di prove in foro tipo SPT, prove d'acqua Lefranc e prelievo di campioni indisturbati, rimaneggiati ed ambientali; il sondaggio è stato completato mediante installazione di n° 2 celle di casagrande (a 7m ed a 23m);
- n. 6 pozzetti esplorativi superficiali (PZ-xx) spinti a profondità massima di 4m da p.c., con esecuzione di prove di carico su piastra, prove di densità e prelievo di campioni rimaneggiati ed ambientali;
- n° 1 prospezione sismica superficiale tipo MASW.

- Prove geotecniche di laboratorio eseguite sui campioni prelevati dal sondaggio geognostico e dai pozzetti esplorativi; si è trattato di prove di caratterizzazione fisica (granulometrie e limiti) e prove meccaniche (triassiali e tagli);
- Prove chimiche ambientali (analisi chimiche di laboratorio) eseguite su campioni di terreno prelevati nel sondaggio e nei pozzetti superficiali geotecnici.

Le indagini geognostiche sono state eseguite, come previsto dalla norma vigente, sulla base di un progetto redatto in maniera multidisciplinare dalla figure indicate qui di seguito: dal geologo responsabile dell'ufficio geologia (GEO) per quanto riguarda la componente geologica, dall' ingegnere responsabile dell' ufficio opere all'aperto (APE) per quanto riguarda la caratterizzazione geotecnica delle terre, dall'ingegnere responsabile dell'ufficio idraulica (IDR) per quanto riguarda l'idrologia sotterranea e dall'ingegnere responsabile del monitoraggio ambientale (MAM) per quanto riguarda la caratterizzazione chimica delle acque e delle terre da scavo.

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

2.4 ANALISI DELLE STRATIGRAFIE DEI SONDAGGI

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

3 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area oggetto di intervento interessa una porzione della pianura bolognese, che borda le propaggini collinari dell'Appennino Settentrionale; essa risulta quindi trasversale alla fasce di pertinenza fluviali, delimitate a ovest dal Fiume Reno e a est dal Canale Navile.

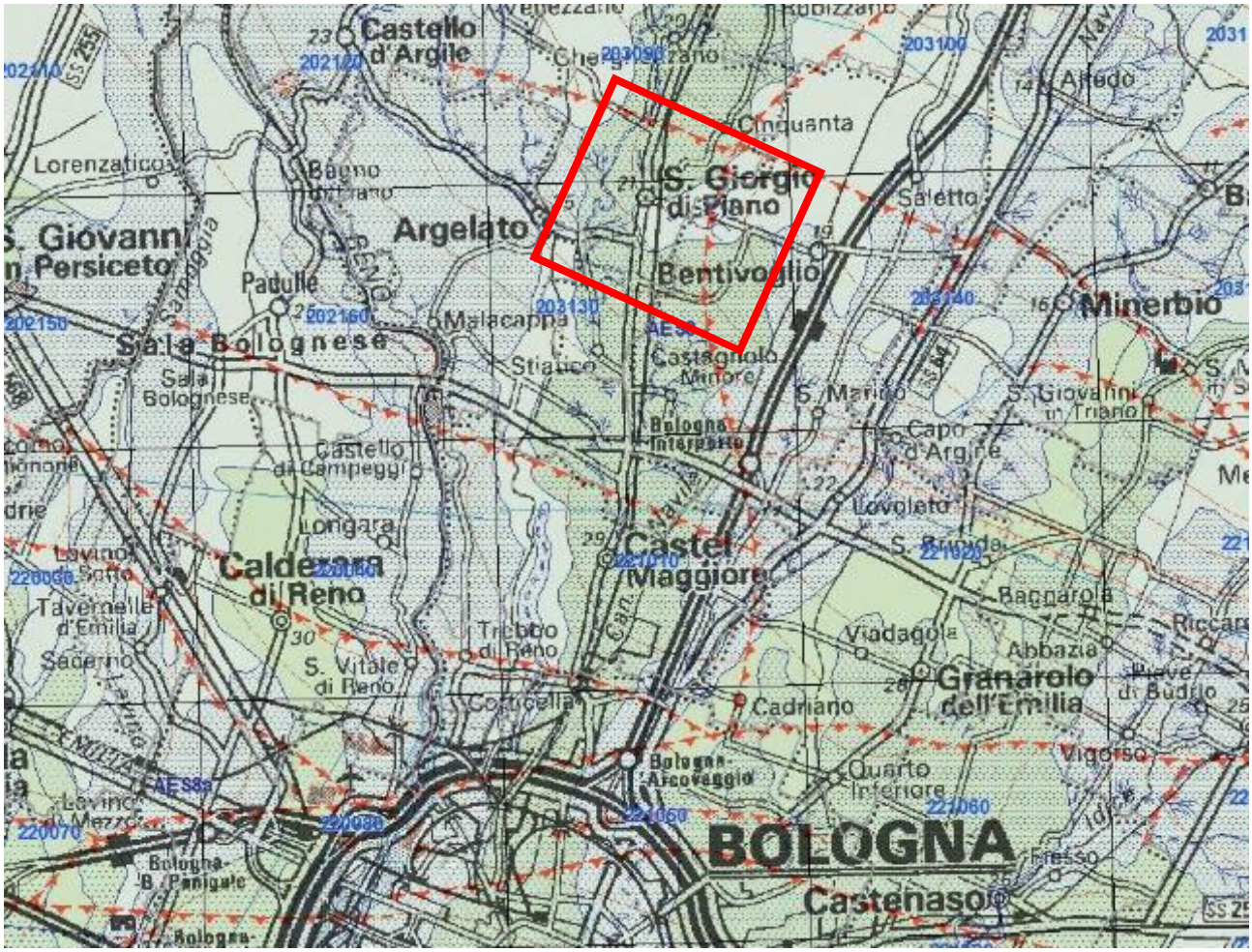


Fig.1 – Inquadramento geografico dell'area di intervento (da RER modif.)

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).

4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE

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

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

Il riempimento dei 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 (si veda la Fig. 2 tratta dalle note illustrative alla carta sismotettonica della regione Emilia - Romagna, scala 1.250.000).

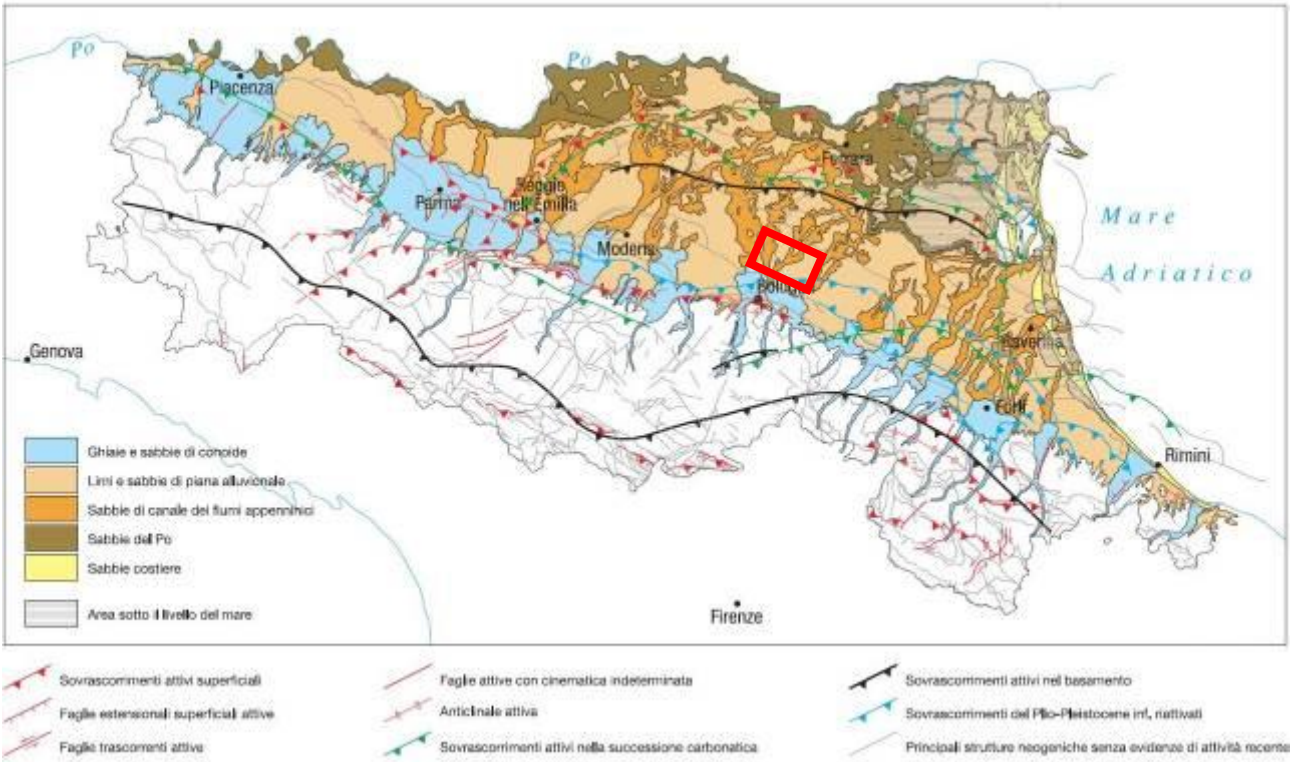


Fig. 2: Schema strutturale della pianura emiliano – romagnola (Note illustrative alla carta sismotettonica della regione Emilia-Romagna, scala 1.250.000); in rosso l'area di interesse.

Sulla base delle superfici di discontinuità affioranti sul margine appenninico e sulla base dell'estensione di tali discontinuità nel sottosuolo della pianura (dati sismici e di pozzo) è stato possibile definire il quadro stratigrafico riportato in Fig. 3.

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.

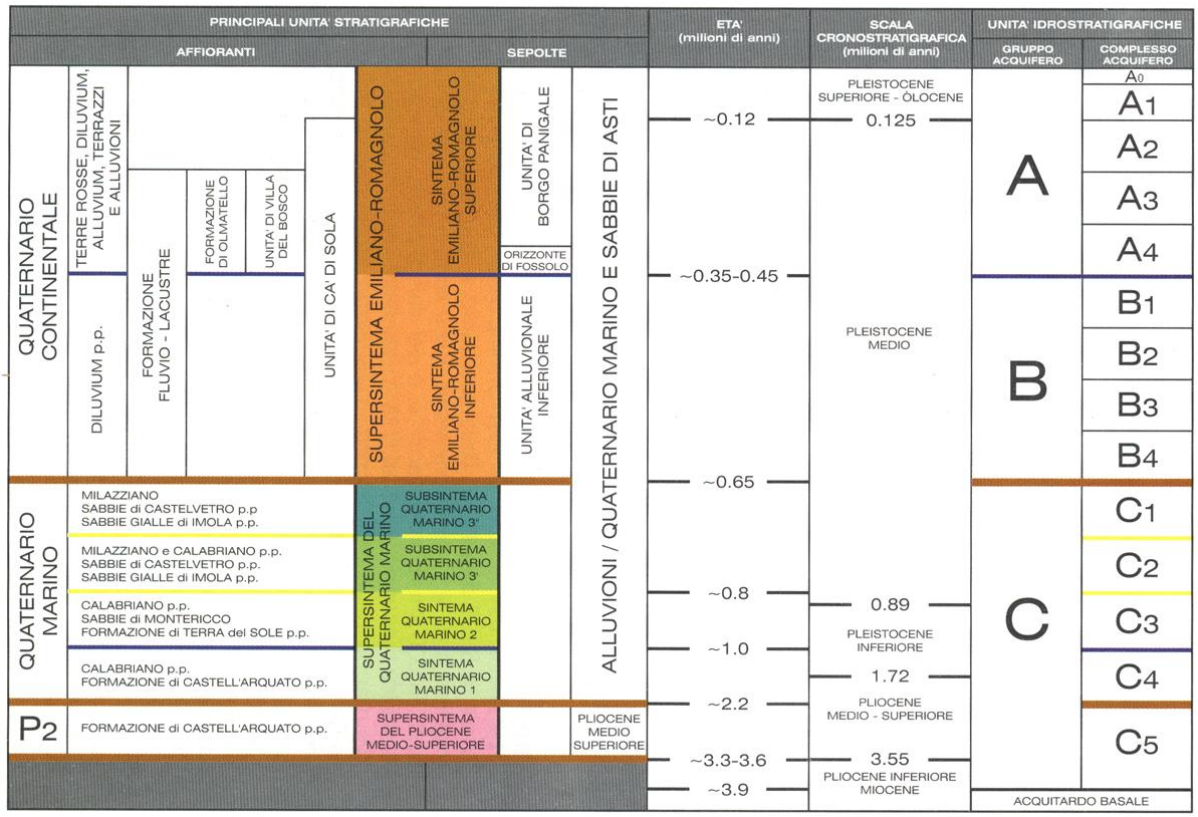


Fig. 3: Inquadramento geologico - stratigrafico dell'area di studio

5 STRATIGRAFIA

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

I medesimi depositi sono anche oggetto della classificazione fondata sui limiti stratigrafici inconformi (U.B.S.U., Salvador, 1987) che prevede la distinzione di unità stratigrafiche delimitate da superfici di discontinuità definite sintemi e subsintemi. Queste unità sono particolarmente efficaci per descrivere il territorio in base alla sua storia geologica, all'età dei suoi sedimenti e alla peculiare ciclicità degli eventi che l'hanno trasformato, tipici dell'epoca quaternaria. Lo schema più esaustivo per la rappresentazione di queste unità è quello di tipo crono stratigrafico che riporta in ascissa la distribuzione geografica delle unità ed in ordinata il tempo in cui tali unità si sono deposte. Nello schema crono stratigrafico di Fig. 4 si possono osservare le litologie e le età delle principali unità stratigrafiche utilizzate per i depositi quaternari di pianura dell'Emilia-Romagna (tratto da Note illustrative Foglio CARG n° 204 "Portomaggiore").

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).

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'unita' di rango inferiore AES8a (Unità di Modena), ove presente, costituisce il tetto stratigrafico del Subsintema di Ravenna (AES8).

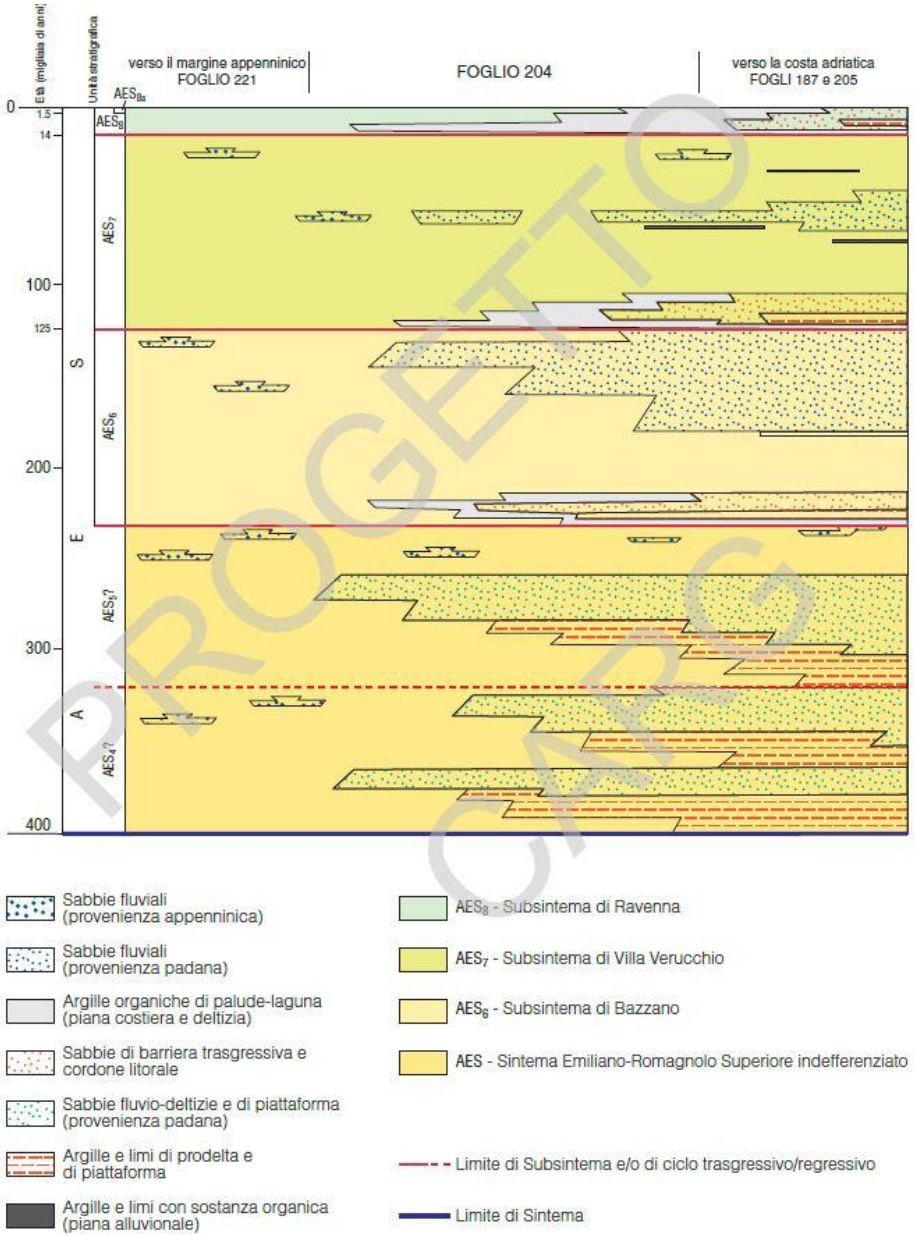
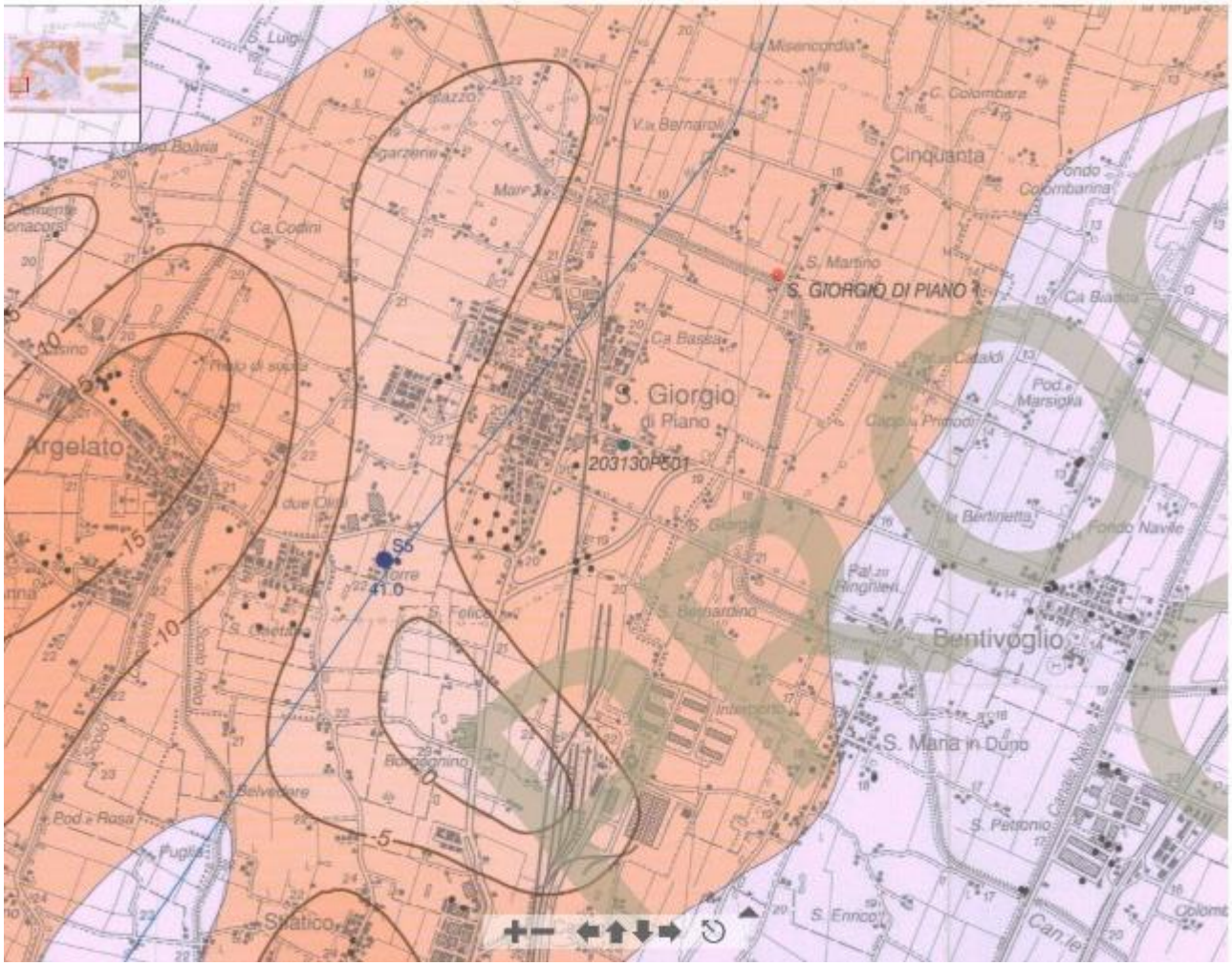


Fig. 4: Schema cronostratigrafico del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) (da Note illustrative Foglio CARG n°204 "Portomaggiore").

Gli interventi oggetto del presente studio ricadono 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.

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.

Di seguito si riporta uno stralcio della sezione geologica C-C' (con relativa legenda e ubicazione planimetrica), redatta nell'ambito del foglio CARG n° 203 "Carta del tetto delle sabbie alluvionali e delle argille organiche deltizie subsintema di Ravenna AES8 e Villa Verucchio AES7" e ricadente nelle vicinanze degli interventi in progetto:


S. GIORGIO DI PIANO
S. Giorgio
di Piano
203130P501
S5
41.0
Argelato
Cinquanta
Bentivoglio
S. Maria in Duno
Statico
-5
-10
-15
0

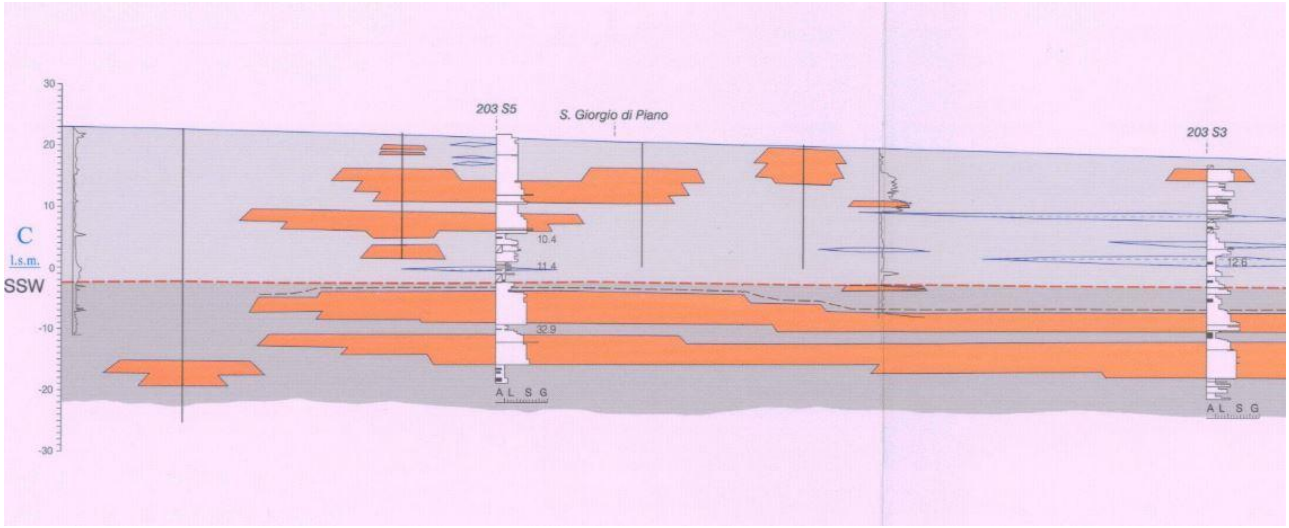

203 S5
S. Giorgio di Piano
203 S3
C
l.s.m.
SSW
10.4
11.4
32.9
12.6
A L S G
A L S G

Fig. 5 a,b,c: stralcio sez. C-C' del foglio CARG n° 203 "Carta del tetto delle sabbie alluvionali e delle argille organiche deltizie subsintema di Ravenna AES8 e Villa Verucchio AES7", con relativa legenda e ubicazione planimetrica.

Si sottolinea che nella sezione geologica redatta nell'ambito dell'intervento 3 è riportata una possibile interpretazione dei limiti tra i subsintemi AES8 ed AES7; il limite tra subsintemi è stato costruito sulla base dei limiti indicati nella sezione CARG sopra richiamata, adattando tale limite (ove possibile) sulla base delle risultanze del carotaggio di progetto. Si rammenta che le assunzioni CARG si sono basate sull'analisi di carotaggi profondi specificatamente concepiti, su datazioni al carbonio 14 e sul contenuto/tipo di pollini imprigionati nel sedimento.

Inoltre, 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 altri termini, la differenziazione tra l'Unità di rango inferiore AES8a ed il sottostante subsintema AES8 è stata definita dal CARG sulla base di elementi (archeologici e pedologici) che non trovano utilizzo in ambito geologico-tecnico, pertanto, non si è ritenuto opportuno evidenziare tale distinzione nell'ambito della sezione geologica redatta, riportando comunque una differenziazione tra corpi a diversa granulometria, aspetto che assume grande importanza dal punto di vista geotecnico.

In cartografia è stata riportata la seguente successione stratigrafica (descritta dall'unità più giovane alla più vecchia), così come indicato nel foglio CARG n° 203 "Poggio Renatico":

5.1 SINTEMA EMILIANO - ROMAGNOLO SUPERIORE (AES):

Questo sintema è costituito da ghiaie, sabbie, limi ed argille di piana intra-valliva, di conoide e di piana alluvionale; inoltre risulta parzialmente suddiviso in Subsintemi limitati da scarpate di terrazzo fluviale e da paleosuoli in superficie e da bruschi contatti fra depositi fini e depositi grossolani nel sottosuolo. Il suo spessore massimo in pianura risulta di circa 300 m e l'età è compresa tra Pleistocene medio ed Olocene.

5.1.1 Subsintema di Ravenna (AES8)

E' l'elemento sommitale del Sintema Emiliano Romagnolo Superiore ed è rappresentato da sabbie, limi ed argille di ambiente fluviale (argine e piana inondabile) ed in parte deltizio. Limite superiore dato da suoli variabili da non calcarei a calcarei. I suoli non calcarei e scarsamente calcarei hanno colore bruno scuro e bruno scuro giallastro, spessore dell'alterazione da 0,5 ad 1,5 m, contengono frequenti reperti archeologici di età del Bronzo, del Ferro e Romana. I suoli calcarei appartengono all'unita' di rango inferiore AES8a (Unità di Modena) che, dove presente, ne costituisce il tetto stratigrafico. Limite inferiore erosivo sui depositi alluvionali sottostanti (AES7). Spessore massimo 20 metri.

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

5.1.1.1 *Unità di Modena (AES8a)*

Depositi costituiti da a) alternanza di sabbie e limi di argine, canale e rotta fluviale; b) argille e limi di piana inondabile. Limite superiore sempre affiorante dato da un suolo calcareo di colore bruno olivastro e bruno grigiastro con potenza inferiore a 100 cm, privo di reperti archeologici romani, o più antichi. Limite inferiore dato dal contatto netto sul suolo non calcareo (o scarsamente calcareo) di epoca romana (o più antica). Spessore massimo di alcuni metri (<10 metri).

Età: post-romana (IV-VI sec. d.C. - Attuale; datazione archeologica)

In generale per il CARG i limiti tra le unità sono marker temporali definiti sulla base delle analisi di carotaggi specificatamente concepiti, su datazioni al C14, 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, sulla base della definizione CARG sopra riportata, si può osservare che esso non ha in generale un riscontro di tipo litotecnico, pertanto si è optato per riportare, nella sezione geologica, una distinzione tra corpi a diversa granulometria, aspetto che assume grande importanza dal punto di vista geotecnico.

5.1.2 Subsintema di Villa Verucchio (AES7)

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. Negli sbocchi vallivi prevalenti ghiaie caratterizzate da un suolo non calcareo di colore bruno scuro rossastro spesso sino a 2 m circa. Limite superiore dato da un suolo non calcareo di colore bruno scuro. Limite inferiore erosivo.

Spessore massimo nel sottosuolo della pianura c.a.100m. Depositi non affioranti nell'area di interesse.

Età: Pleistocene sup.

Nell'ambito della sezione geologica è stato ipotizzato in profondità il limite tra AES7 ed il sovrastante AES8 (limite derivato dalle sezioni CARG ed adattato in funzione delle risultanze del carotaggio di progetto).

6 GEOMORFOLOGIA

6.1 INQUADRAMENTO GENERALE

Gli interventi in progetto ricadono in una fascia di territorio definita "di cerniera" tra il "margine appenninico-padano", unità morfologica corrispondente alla zona a cavallo tra il limite morfologico Appennino-Pianura Padana e costituita dalle c6olline del basso Appennino e dalla fascia pedemontana della Pianura Padana, e la Pianura Padana in senso stretto. Questa fascia di territorio, ad assetto sub-pianeggiante, comprende le conoidi dei principali corsi d'acqua che provengono dall'Appennino (Fig. 6). Si tratta di superfici a pendenza decrescente verso Nord/Nordest, derivate dall'erosione delle litologie competenti (flysch calcareo-marnosi e ofioliti) affioranti nel settore appenninico Emiliano.

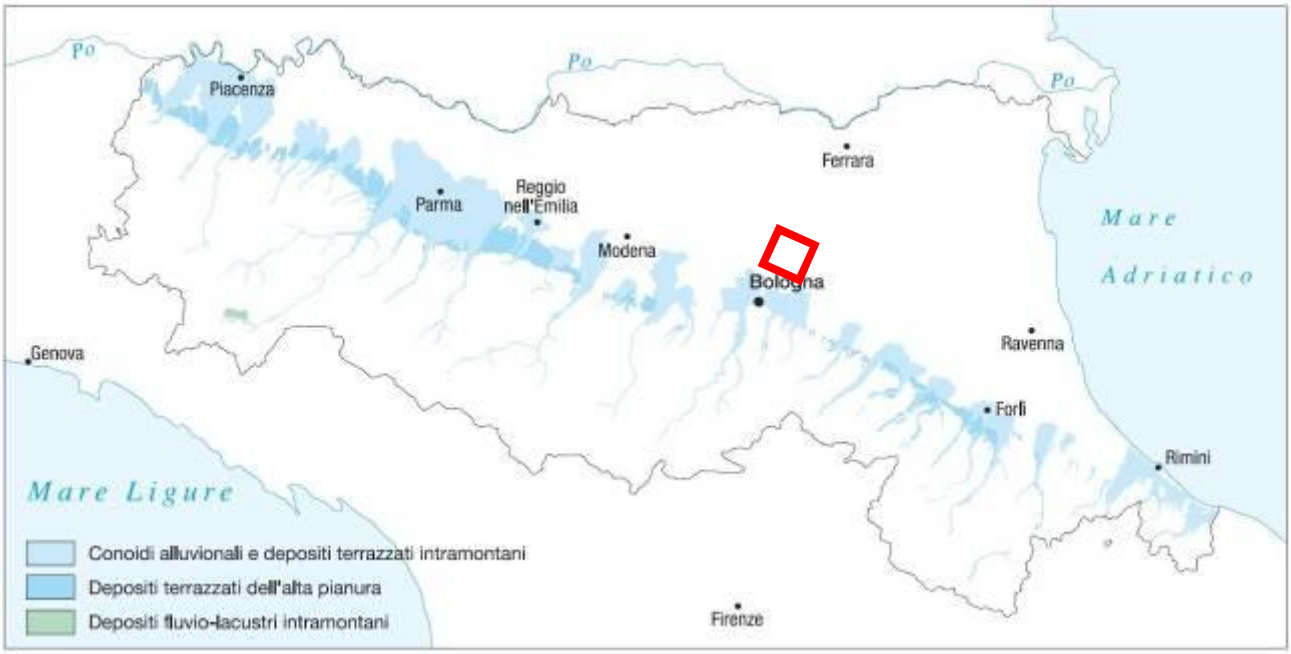


Fig. 6: Inquadramento geomorfologico della pianura emiliano – romagnola (da Note illustrative alla carta sismotettonica della regione Emilia-Romagna, scala 1.250.000). In rosso l'area di interesse.

La pianura alluvionale bolognese si è difatti originata dalla sovrapposizione di eventi alluvionali in direzione prevalente circa nord-sud; il territorio bolognese è caratterizzato da valori di altitudine (quote in m s.l.m.) che tendenzialmente diminuiscono verso nord e aumentano invece da ovest verso est. Più in dettaglio l'area di intervento è caratterizzata da un andamento plano - altimetrico compreso tra i 40 e i 55 m s.l.m.

6.2 IDROGRAFIA

In generale l'idrografia dell'area bolognese, sia per cause naturali sia per l'evolversi delle esigenze socio-economiche, ha subito nel tempo profonde modifiche; in particolare per quel che riguarda alcuni percorsi fluviali, la loro portata e l'inserimento nella rete idrografica di numerosi canali artificiali.
La rete idrografica dell'area di progetto è caratterizzata principalmente dal percorso del Fiume Reno e del Canale Navile; entrambi hanno un deflusso generale in direzione nord con un cambio repentino in direzione est (Reno).

Il Fiume Reno sottende 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.

6.3 GEOMORFOLOOGIA DELL'AREA DI INTERVENTO

L'area interessata dagli interventi in progetto è ubicata nella pianura bolognese, a nord del capoluogo, nel territorio comunale di San Giorgio di Piano. Il territorio è sub-pianeggiante e degradante da sud verso nord.

Dal punto di vista altimetrico, i punti di intervento risultano compresi fra le quote tra 20m e 22m s.l.m. e possiede le caratteristiche tipiche della grande piana alluvionale, interrotta soltanto dagli alvei dei fiumi con relative conoidi e aree golenali.

La rete idrografica è inoltre costituita da un buon numero di canali e rogge per irrigazione; si segnala infine il passaggio, nel territorio comunale di San Giorgio di Piano, del Canale Emiliano-Romagnolo, derivazione artificiale del Fiume Po realizzato per garantire l'approvvigionamento idrico alla pianura emiliano-romagnola.

7 ANALISI DELLA CARTOGRAFIA PRODOTTA DAGLI ENTI

La pianificazione territoriale nelle aree degli interventi è guidata dalle norme dei seguenti Piani vigenti: Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) (Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po, in cui è confluita l'Autorità di bacino del Reno), Piano di Coordinamento Gestione Rischi Alluvioni (PGRA) ((Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po, in cui è confluita l'Autorità di bacino del Reno UoM ITI021), Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP), attualmente in carico alla Città Metropolitana di Bologna, Piano Strutturale Comunale (PSC) in forma associata "Unione Reno-Galliera" del Comune di San Giorgio di Piano.

Nei paragrafi seguenti vengono descritti i dettagli dei piani.

7.1 PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI)

Il referente della pianificazione territoriale nei confronti della pericolosità idraulico-geologica è l'Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po, in cui è confluita 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 si compone di N°4 Piani Stralcio di Sottobacino la cui delimitazione è rappresentata nella figura seguente:

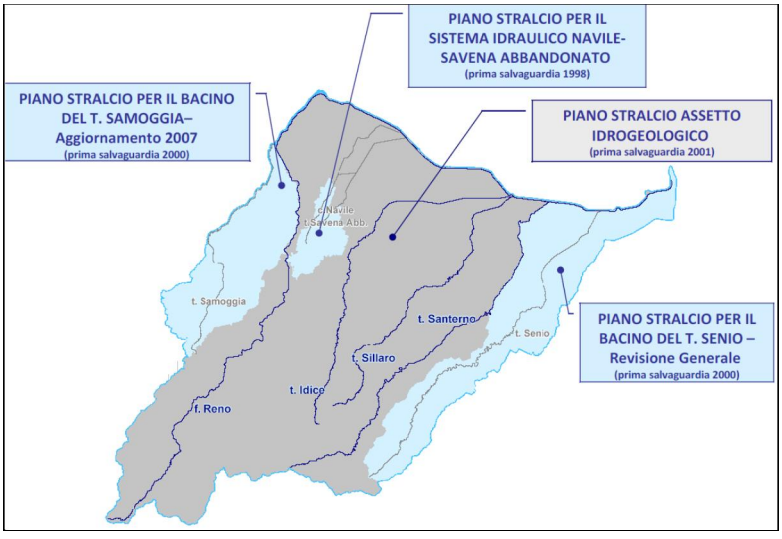


Fig.7: Piani stralci riferiti al bacino del F. Reno

Di seguito si riporta lo stralcio della tavola PAI 2.0.2 inerente il rischio idraulico e assetto rete idrografica Bacino del Fiume Reno (scala 1:100.000) in cui ricade l'abitato di San Giorgio di Primo:

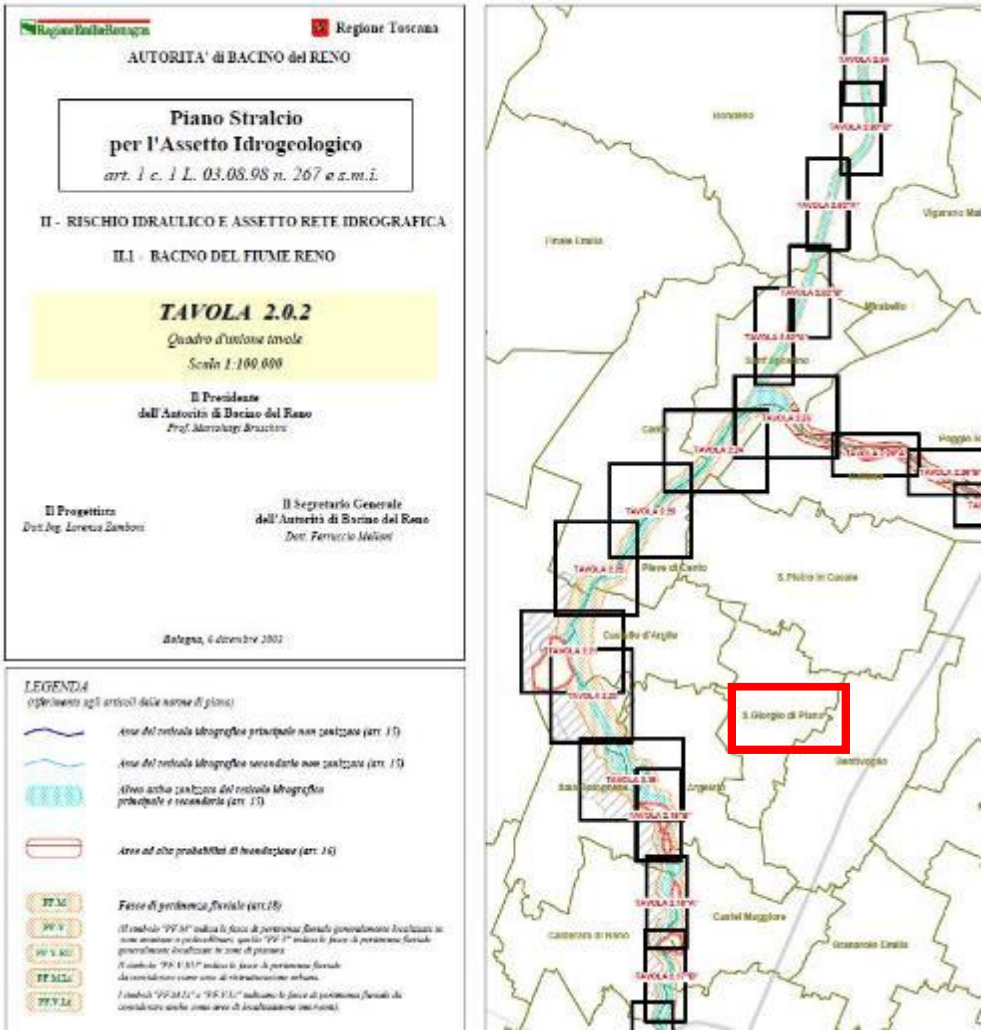


Fig. 8: Stralcio della tavola PAI 2.0.2 inerente il rischio idraulico e assetto rete idrografica Bacino del Fiume Reno

(In rosso l'area di intervento)

7.2 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 negative derivanti dalle alluvioni soprattutto per la vita e la salute umana, l'ambiente, il patrimonio culturale, l'attività economica e le infrastrutture. La Direttiva e il D.lgs. 49/2010 privilegiano un approccio di pianificazione a lungo termine, scandito in tre tappe successive e tra loro concatenate. Nella prima fase è prevista la valutazione preliminare del rischio di alluvioni, nella seconda fase vengono elaborate mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni, infine viene data la predisposizione ed attuazione di piani di gestione del rischio di alluvioni.

Attualmente i Piani di gestione del rischio di alluvioni (art. 7 Direttiva 2007/60/CE e D.Lgs. 49/2010) adottati a partire dal 17 dicembre 2015, sono stati approvati il 3 marzo 2016 dai Comitati Istituzionali delle Autorità di Bacino Nazionali: l'area di intervento ricade nell'ambito dell'Autorità di bacino distrettuale del Fiume Po in quanto nel 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 all'Autorità di bacino distrettuale del Fiume Po.

Si precisa che le Mappe di pericolosità da alluvioni (tavola 203SO aggiorn. 23/12/2013, scala 1:25.000) sono presenti nei database dell'AdB Reno (Unit of Management Reno ITI021) come elaborati di "Variante di coordinamento tra PGRA e piani di bacino", nonché sono visionabili nello specifico portale dell'Autorità di bacino.

Le mappe della pericolosità hanno individuato 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.
- Alluvioni poco frequenti (P2) con tempo di ritorno compreso tra 100÷200 anni;
- Alluvioni rare (P1) con scarsa probabilità di accadimento (fino a 500 anni dall'evento).

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

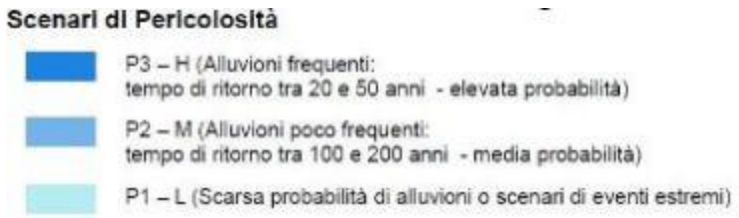


Fig. 9a,b: Stralcio cartografia PGRA e relativa legenda (in rosso l'area di intervento)

Tutti gli interventi previsti ricadono in un'area a pericolosità da alluvioni media (P2).

7.3 PIANO TERRITORIALE DI COORDINAMENTO PROVINCIALE (PTCP)

Il Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale di Bologna è stato approvato con DCP n.19 dell'30/03/04. Il piano è stato modificato a seguito delle seguenti Varianti; sistema della mobilità provinciale (DCP n°29 del 31/03/2009), materia di insediamenti commerciali (POIC) (DCP n°30 del 07/04/2009), recepimento del Piano di Tutela delle Acque (PTA) della Regione (DCP n°15 del 04/04/2011), per il recepimento dei Piani Stralcio per i Bacini dei Torrenti Samoggia e Senio e aggiornamenti-rettifiche di errori materiali (DCP n°27 del 25/06/2012), per modifica puntuale della perimetrazione delle zone di protezione delle acque sotterranee nel territorio pedecollinare e di pianura (DCP n°36 del 24/06/2013) e in materia di riduzione del rischio sismico (DCP del n°57 del 28/10/2013).

Per quel che riguarda gli emungimenti invece della falda acquifera, la normativa vigente (Art. 5.3. PTCP del D.C.P. n.19/2004) identifica una zona di tutela assoluta ricadente in un'area circolare con raggio di 10 m da ogni singolo pozzo, e una zona di rispetto ricadente invece in un'area circolare con raggio di 200 m individuata geometricamente.

Di seguito si riporta lo stralcio della tavola 1 I del PTCP inerente la tutela dei sistemi ambientali (scala 1:25.000) in cui ricade l'abitato di San Giorgio di Primo (accesso web del 27/01/2020):

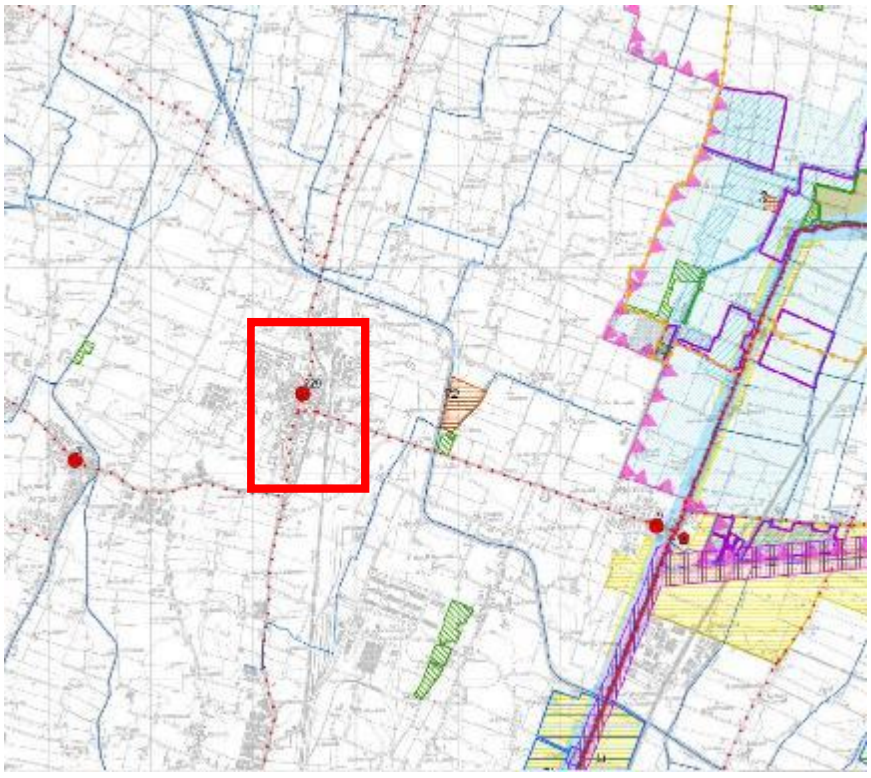


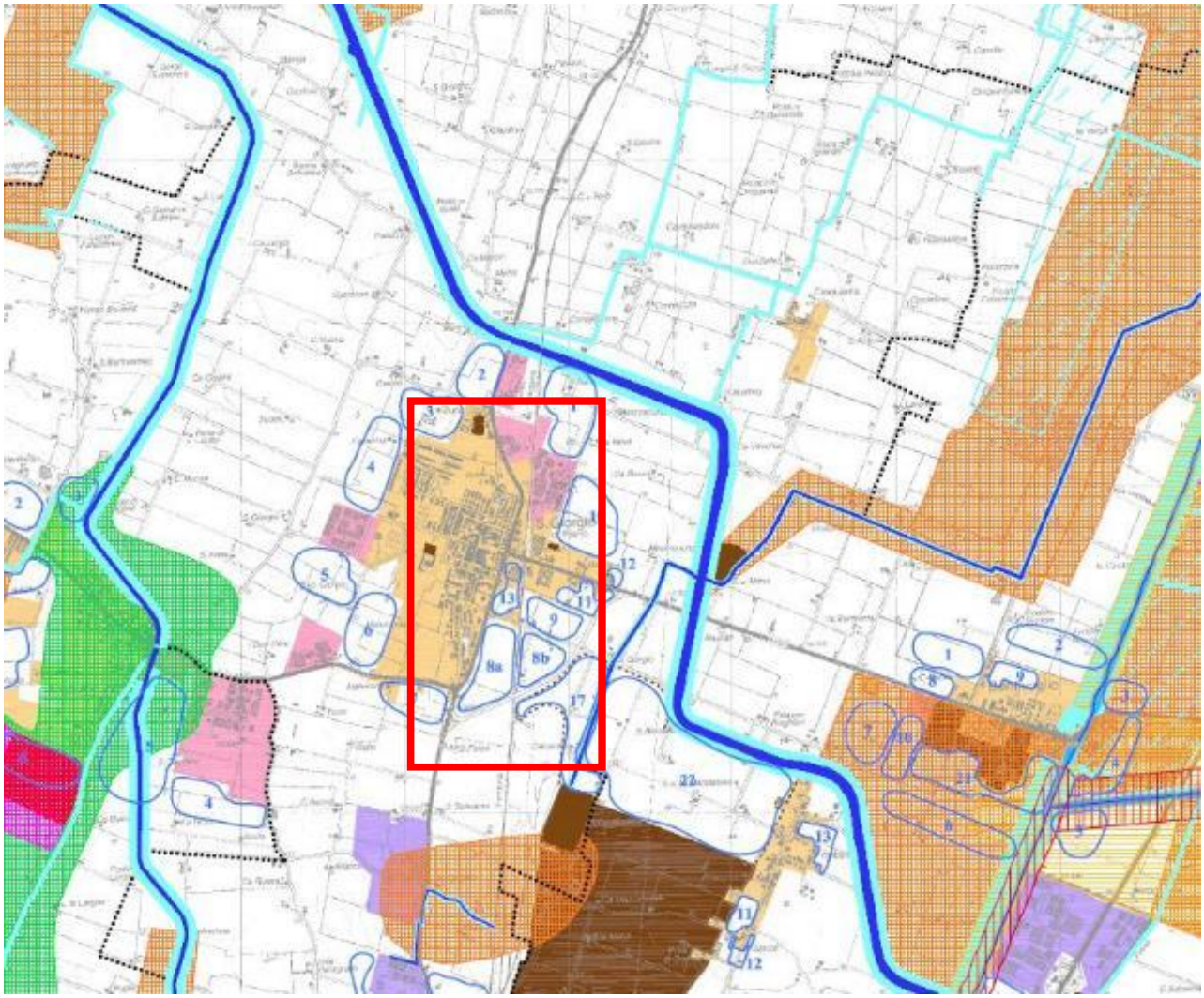
Fig.10a,b: Stralcio della tavola 1I del PTCP inerente la tutela dei sistemi ambientali e relativa legenda

(in rosso l'area di intervento)

7.4 PIANO STRUTTURALE COMUNALE (PSC)

La rete idrografica minore 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 di coordinamento provinciale (PTCP) né dal piano stralcio di assetto idrogeologico (PSAI) ma fa riferimento alle norme contenute nei piani strutturali comunali (PSC) dei comuni interessati dalle opere.

Le fasce di **Tutela Fluviale** sono definite in relazione a connotati paesaggistici, ecologici e idrogeologici; comprendono le aree significative ai fini della tutela e valorizzazione dell'ambiente fluviale (Art.4.3 del PTCP). In riferimento alla Tavola AV.1 VALSAT del PSC Reno-Galliera (scala 1:25.000) si riporta di seguito uno stralcio cartografico con relativa legenda:



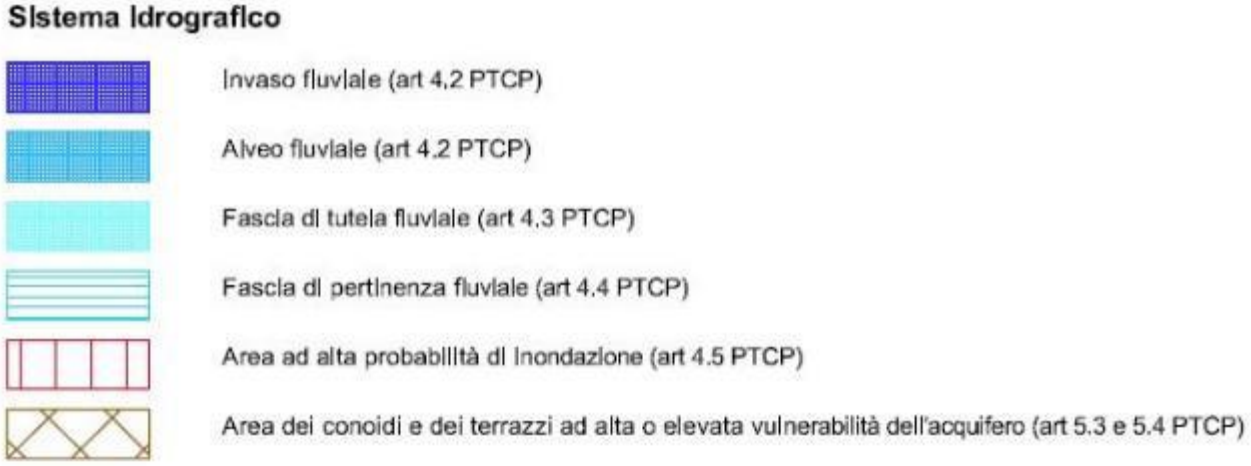


Fig.11a,b: Stralcio della tavola AV.1 VALSAT del PSC e relativa legenda (aggiorn. Novembre 2006)
(in rosso l'area di intervento)

8 ALTRI ELEMENTI DI INTERESSE

8.1 SUBSIDENZA

L'ARPA, in collaborazione con l'Università di Bologna, ha centralizzato dal 1997 le informazioni riguardanti la subsidenza. Il monitoraggio della subsidenza fino ad allora era avvenuto, a partire dagli anni '60, ad opera di vari Enti che hanno istituito e misurato, in epoche diverse, reti di livellazione in ambiti locali più o meno limitati. Tali iniziative, se efficaci a livello locale, mostravano i loro limiti se osservate in un contesto regionale evidenziando lacune e disomogeneità tali da rendere, in gran parte dei casi, difficoltosa la definizione organica e univoca del fenomeno.
Nel 1997-1998, a partire dal vasto patrimonio di capisaldi esistenti e sulla scorta delle esperienze precedenti è stata progettata e realizzata una rete regionale di monitoraggio della subsidenza costituita, in particolare, da una rete di livellazione geometrica di alta precisione con oltre 2300 capisaldi e una rete di circa 60 punti GPS (Fig. 12).

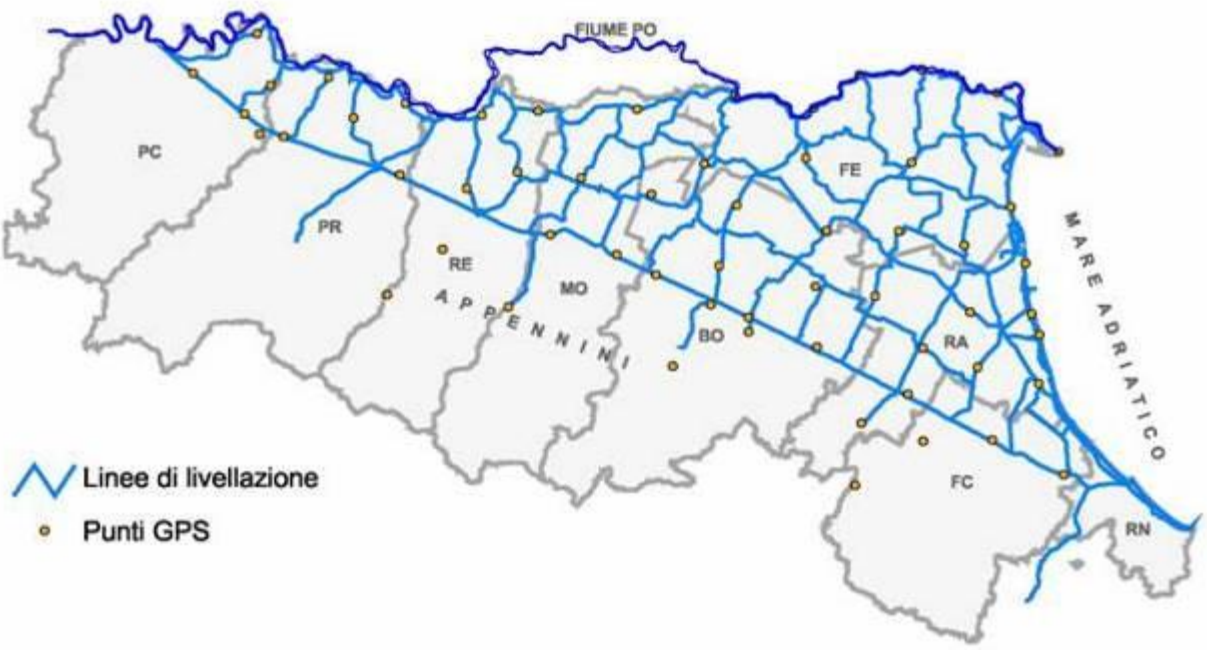


Fig. 12: Rete di monitoraggio ARPA per la subsidenza della pianura emiliano-romagnola.

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 2005-2007 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 km^2.

I risultati ottenuti, per la prima volta, forniscono un quadro sinottico di dettaglio del fenomeno della subsidenza a scala regionale. In particolare, sulla base della disponibilità dei dati satellitari, a oggi sono state realizzate diverse cartografie a curve isocinetiche:

- relative al periodo 1992-2000, fa riferimento all´elaborazione dei dati provenienti da due satelliti dell´Agenzia Spaziale Europea (ESA) ERS1 e ERS2 e si basa sulle velocità di movimento relative a circa 160.000 punti (fig. 13);
- relative al periodo 2002-2006, fa riferimento all´elaborazione dei dati provenienti dal satellite ENVISAT (ESA) e RADARSAT (Agenzia Spaziale Canadese) basandosi sulle velocità di movimento relative a circa 140.000 punti (fig. 14);
- relative al periodo 2006-2011 (fig. 15);
- relative al periodo 2011-2016 (fig. 16); il rilievo della subsidenza è stato realizzato in due fasi: nella prima fase (2016-2017), è stata effettuata l'analisi interferometrica di dati radar satellitari con la quale è stato possibile individuare e localizzare i punti di misura, quasi 2 milioni, e stimare le loro velocità medie annue di spostamento (mm/anno); nella seconda fase, conclusa nel 2018, sono stati elaborati i dati acquisiti da 33 stazioni GPS permanenti al fine di calibrare i risultati dell'analisi interferometrica, ed elaborata la carta a curve isocinetiche relativa all'intera area di pianura regionale per il periodo 2011-2016.

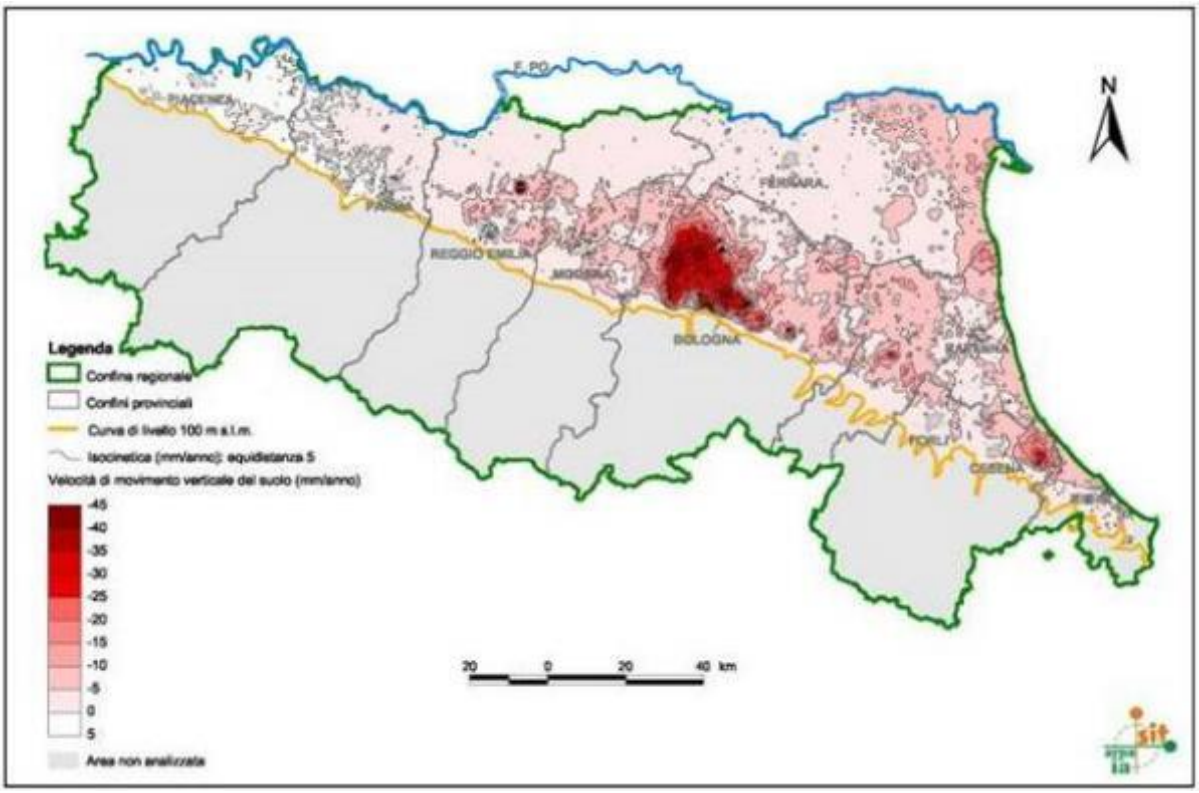


Fig. 13: Isocinetiche relative al periodo 1992-2000.

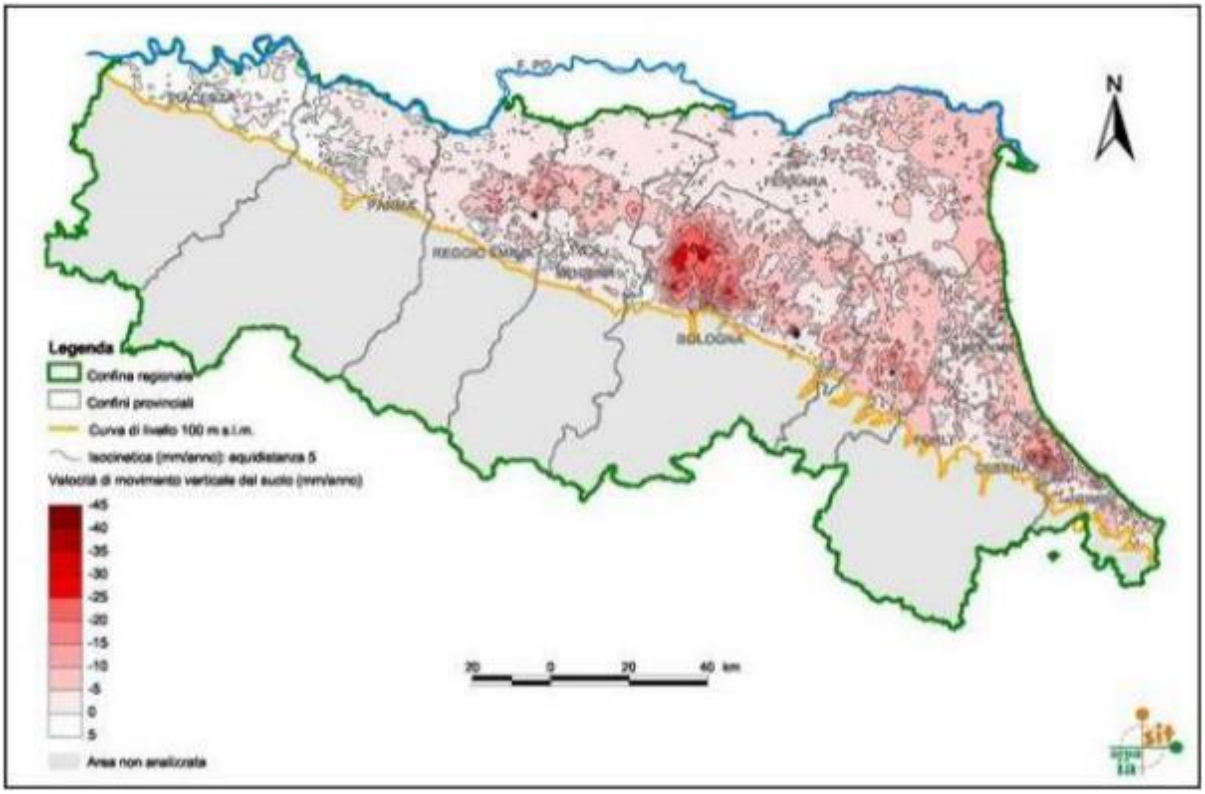


Fig. 14: Isocinetiche relative al periodo 2002-2006.

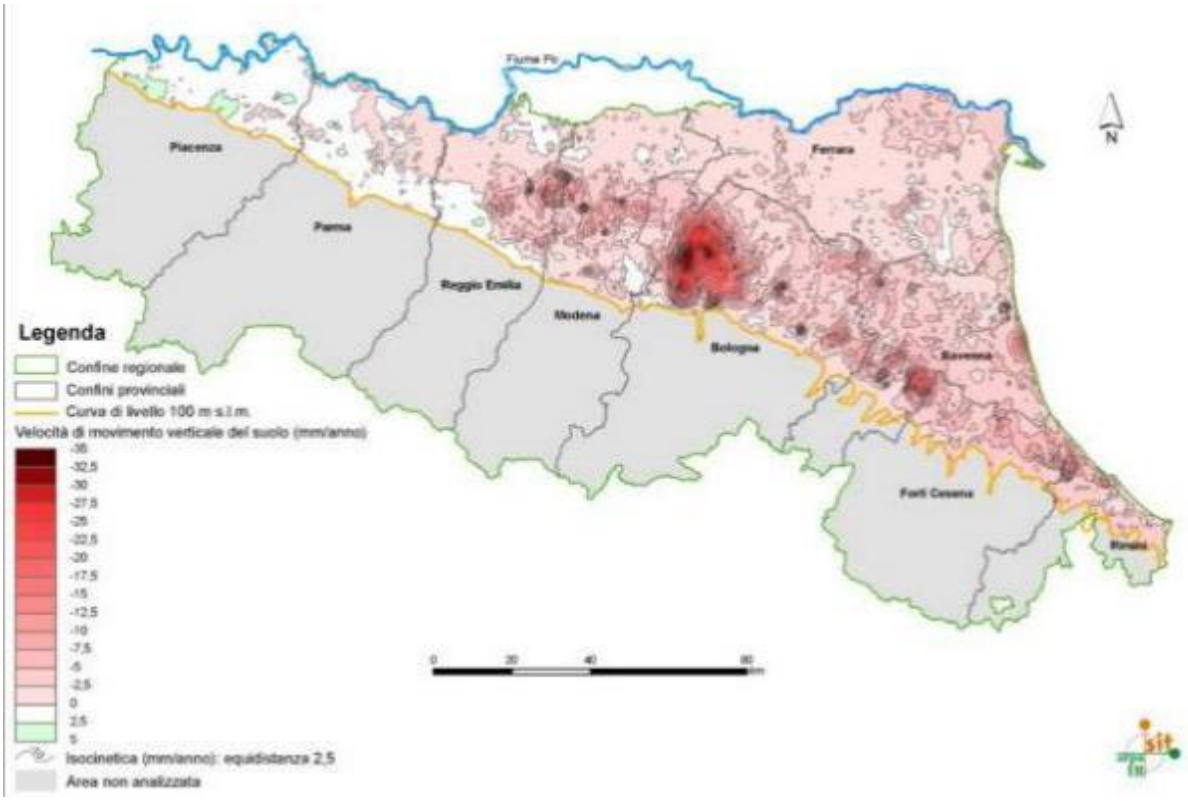


Fig. 15: Isocinetiche relative al periodo 2006-2011.

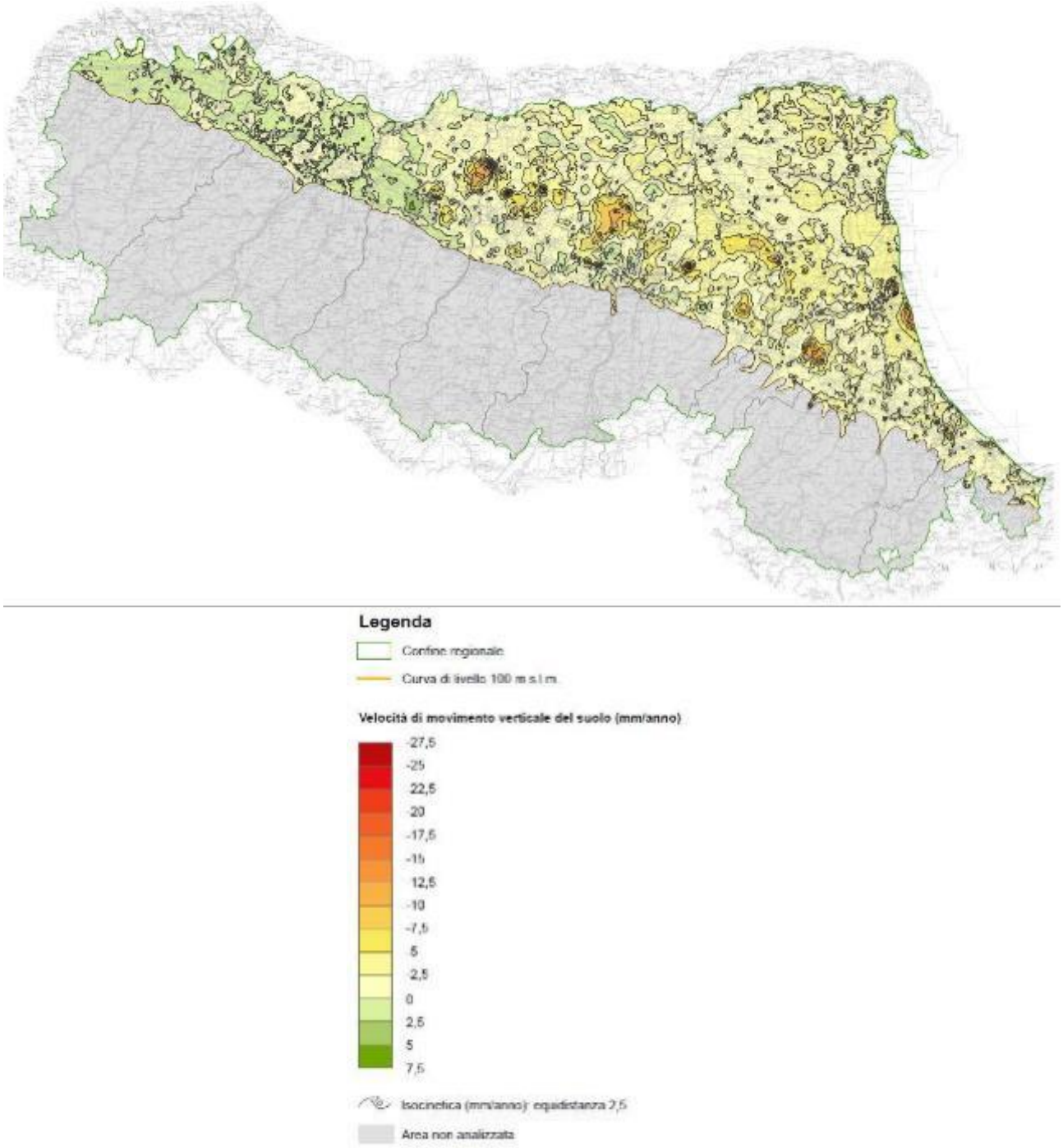


Fig. 16: Isocinetiche relative al periodo 2011-2016.

Si può inoltre osservare, dalla comparazione tra gli studi effettuati, 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 appena concluso e relativo al periodo 2011-2016.

Lo studio, affidato dalla Regione Emilia-Romagna ad ARPAE, mostra che il 18% del territorio di pianura analizzato presenta una riduzione del fenomeno; nella parte restante la situazione resta stabile rispetto al precedente rilievo (2006-2011).
In particolare, i miglioramenti si segnalano proprio nelle aree storicamente più interessate: decisi, ad esempio, sono quelli relativi alla pianura bolognese, principalmente grazie al maggiore utilizzo di acque di superficie a uso potabile e quindi alla riduzione dei prelievi da falda. Diminuisce la tendenza alla subsidenza anche sull'intera costa regionale.

Accedendo al sito online dell'ARPAE è possibile visionare in dettaglio la cartografia più recente inerente il periodo 2011-2016, con particolare riferimento all'areale in esame (fig. 17):

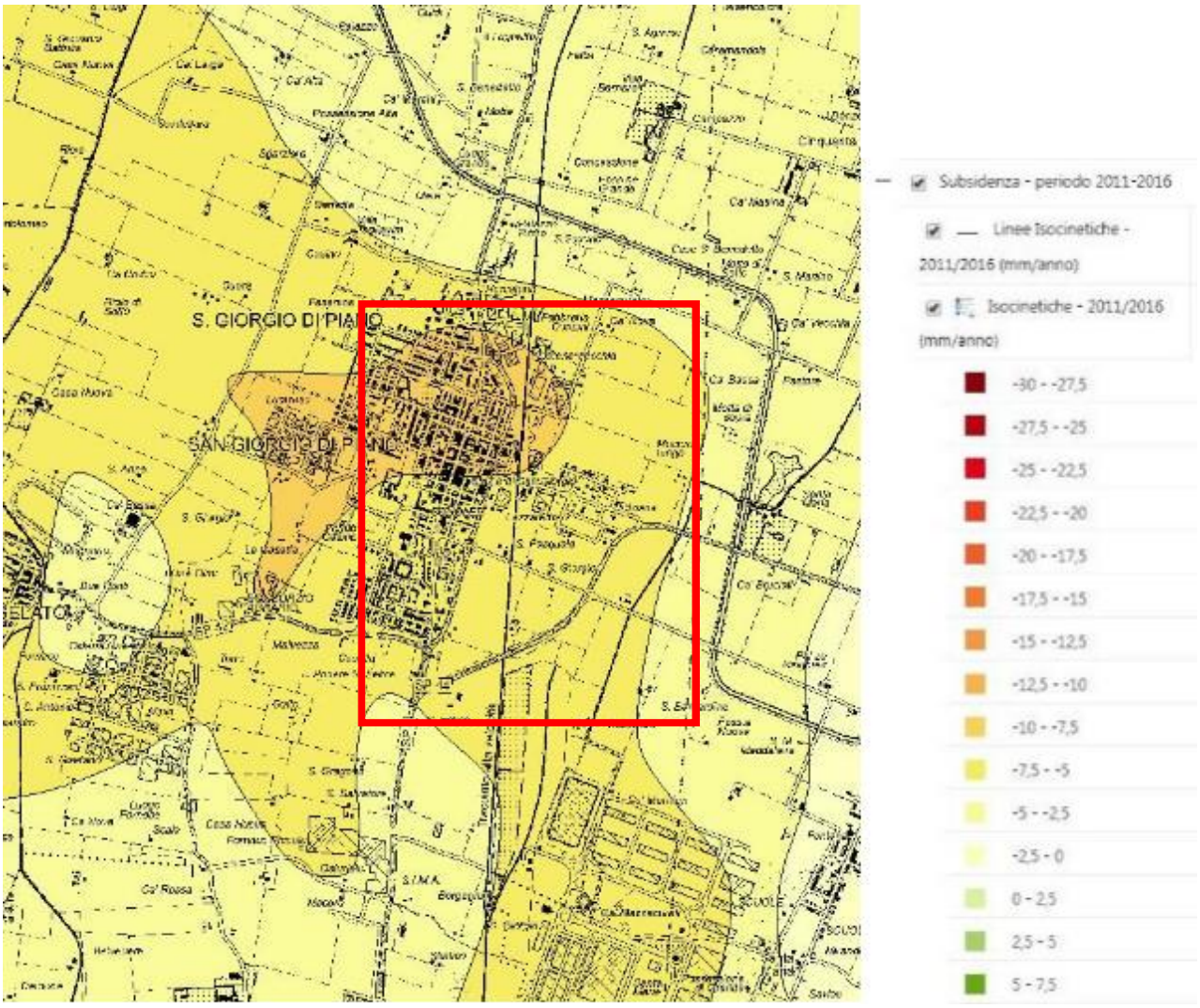


Fig. 17: Isocinetiche relative al periodo 2011-2016 e relativa legenda (in rosso l'area di intervento).

In sintesi si può osservare che la subsidenza inerente il periodo 2011-2016 riferibile all'area di intervento risulta compresa tra -5 e -10mm/anno.

Anche nel PSC Reno-Galliera sono state redatte tavole inerenti la subsidenza (aggiorn. settembre 2006), di cui si riporta di seguito uno stralcio planimetrico con relativa legenda:

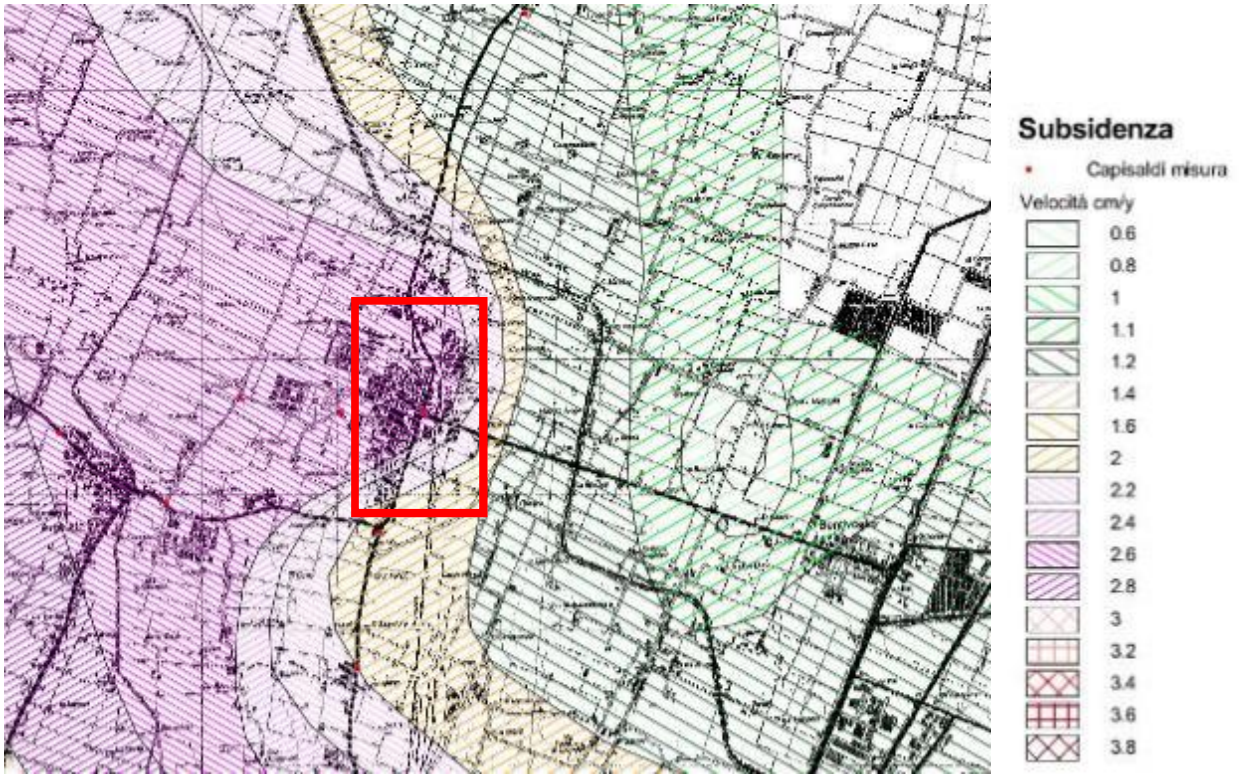


Fig. 18: Stralcio tavola "Subsidenza" PSC Reno-Galliera e relativa legenda (in rosso l'area di interesse).

Dal precedente stralcio cartografico di PSC si evince che la porzione di territorio comunale di San Giorgio di Piano oggetto di intervento presenta una subsidenza (a settembre 2006) compresa tra 1,2 e 2,6cm/anno.

8.2 LIQUEFAZIONE

Con il termine "liquefazione" si indicano vari fenomeni fisici (liquefazione ciclica, mobilità ciclica, fluidificazione), osservati nei depositi e nei pendii sabbiosi saturi durante i terremoti forti (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.

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

Le condizioni predisponenti del terreno sono:

- profondità dello strato potenzialmente liquefabile < 15-20 m dal p.c.
- profondità della falda < 5 m
- densità relativa Dr < 60%

- diametro medio 0.02 mm < D50< 2 mm
- frazione di fini (diametro < 0.005 mm) < 15%

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

- magnitudo > 5.5
- PGA > 0.15 g
- durata > 15-20 sec

Tra i fattori geologici e geotecnici risultano fondamentali, oltre alla profondità della falda (<5 m), la presenza e lo spessore degli strati non liquefabili superficiali (condizioni presenti lungo la sezione redatta per l'intervento 3), l'assenza di cementazione fra i grani, l'origine e l'età del deposito, la presenza di strati drenanti grossolani intercalati alla sabbia fine liquefabile, la morfologia; per quanto riguarda la natura geologica dei siti le zone a più alto rischio sono: letti di fiume antichi e recenti, paludi, terreni di bonifica, argini, pianure di esondazione, spiagge, zone dunari e interdunari.
Per valutazioni specifiche sulla liquefazione inerente la tratta in oggetto si rimanda alla relazione geotecnica.

8.3 GAS

In Emilia Romagna da decenni si estraggono gas naturale e petrolio in profondità, in particolare a nord dell'area di intervento (San Piero in Casale) si può osservare la presenza di aree di concessione per l'estrazione di idrocarburi liquidi/gassosi, mentre a Est (Minerbio) è presente una centrale di stoccaggio con relativa area di concessione (fig. 19 tratta dal sito del Ministero dello sviluppo economico, Direzione generale per la sicurezza anche ambientale delle attività minerarie ed energetiche, Ufficio nazionale minerario per gli idrocarburi e le georisorse, accesso web del 27/01/2020).

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

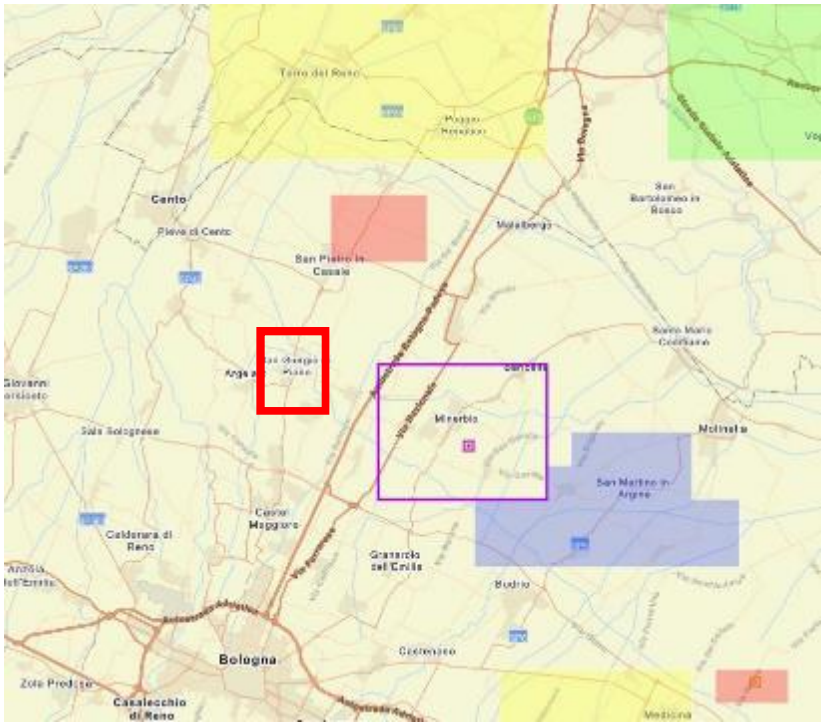


Fig. 19: Stralcio mappatura concessioni stoccaggio/estrazione idrocarburi/georisorse (dal sito del Ministero dello sviluppo economico, Direzione generale per la sicurezza anche ambientale delle attività minerarie ed energetiche, Ufficio nazionale minerario per gli idrocarburi e le georisorse, accesso web del 27/01/2020) (in rosso l'area di interesse).

8.4 SINKOLE

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

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

Nell'area di interesse una recente pubblicazione ("I sinkhole in pianura padana", 2008) evidenzia fenomeni di questa natura più a ovest-sudovest dell'area di intervento, nel comune di Sala Bolognese (fig. 20).

Fig. 20: Ubicazione Sinkhole area nord di Bologna; in verde i punti in cui si sono registrati fenomeni di sprofondamento (in blu l'area di intervento).

9 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO GENERALE

Nel sottosuolo della pianura e sul margine appenninico padano sono stati riconosciuti tre Gruppi Acquiferi separati da barriere di permeabilità di estensione regionale, informalmente denominati A, B, C che costituiscono le Unità Idrostratigrafiche fondamentali; all'interno di ogni Gruppo Acquifero sono riconoscibili diverse unità idrostratigrafiche secondarie denominate Complessi acquiferi.

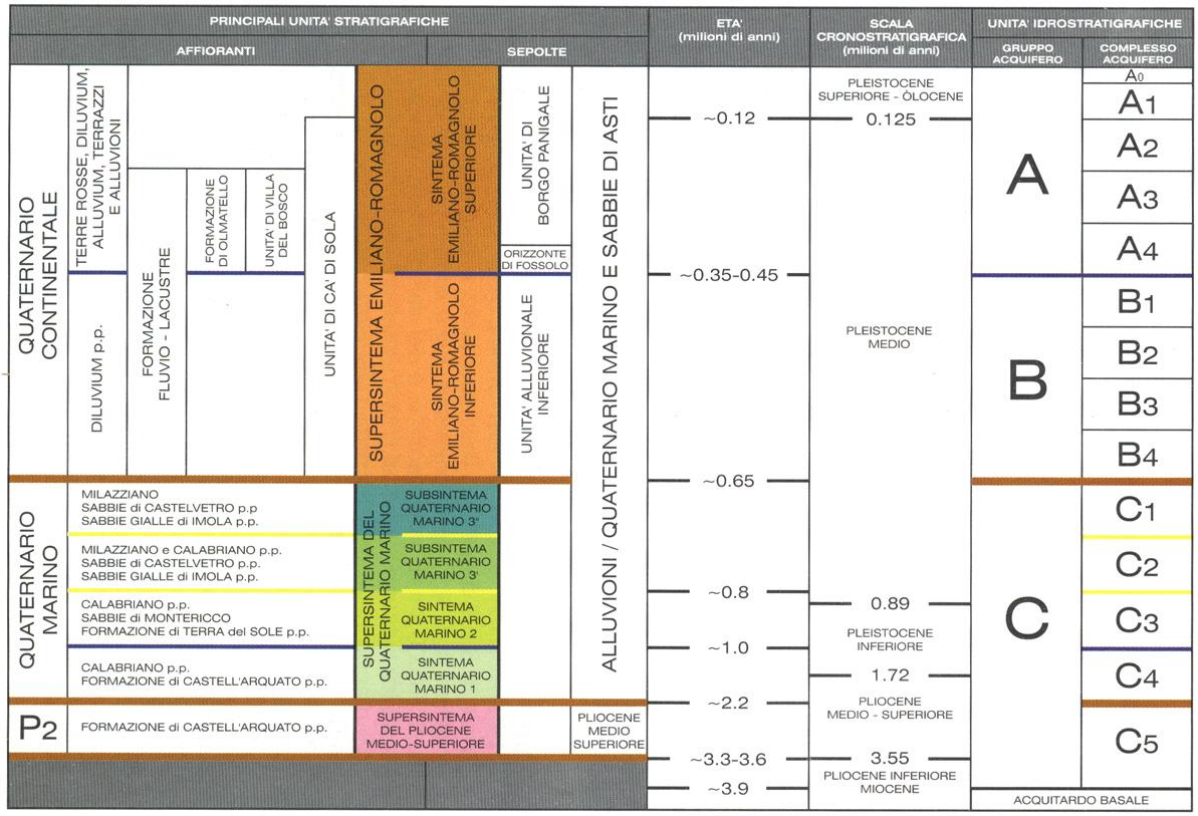


Fig. 21: Inquadramento geologico - stratigrafico ed idrostratigrafico della pianura Emiliano - Romagnola e del Margine Appenninico Padano (da Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna)

La principale partizione verticale delle unità sepolte ha portato all'identificazione di tre gruppi acquiferi (A,B,C); in particolare il gruppo acquifero A è rappresentato dal Sintema emiliano - romagnolo Superiore (AES), costituito da complessi idrogeologici in cui si concentrano i prelievi idrici nella pianura emiliano - romagnola e riconducibili a:

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

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

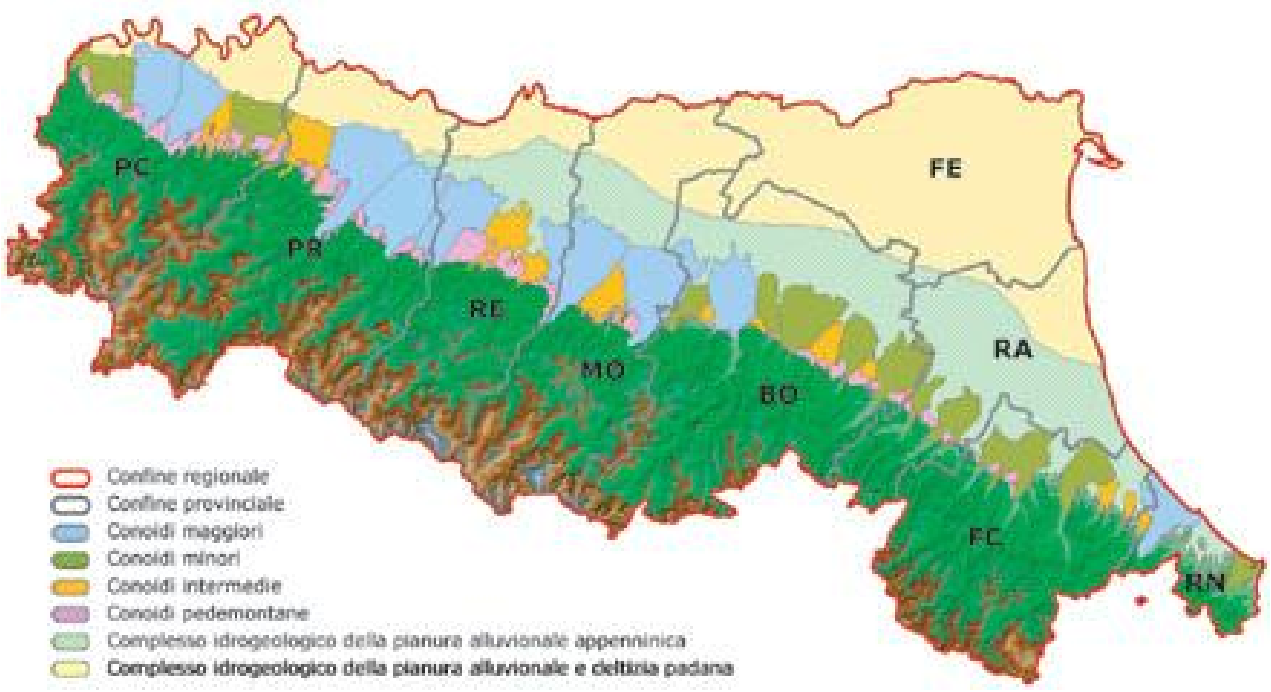


Fig. 22: Distribuzione delle conoidi e dei complessi idrogeologici all'interno del gruppo acquifero A

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 questi corpi sedimentari nel sottosuolo è schematicamente rappresentata nella sezione di fig. 23 che attraversa tutta la pianura da Sud a Nord, ovvero dal margine appenninico, che separa gli acquiferi montani da quelli di pianura, al Fiume Po.

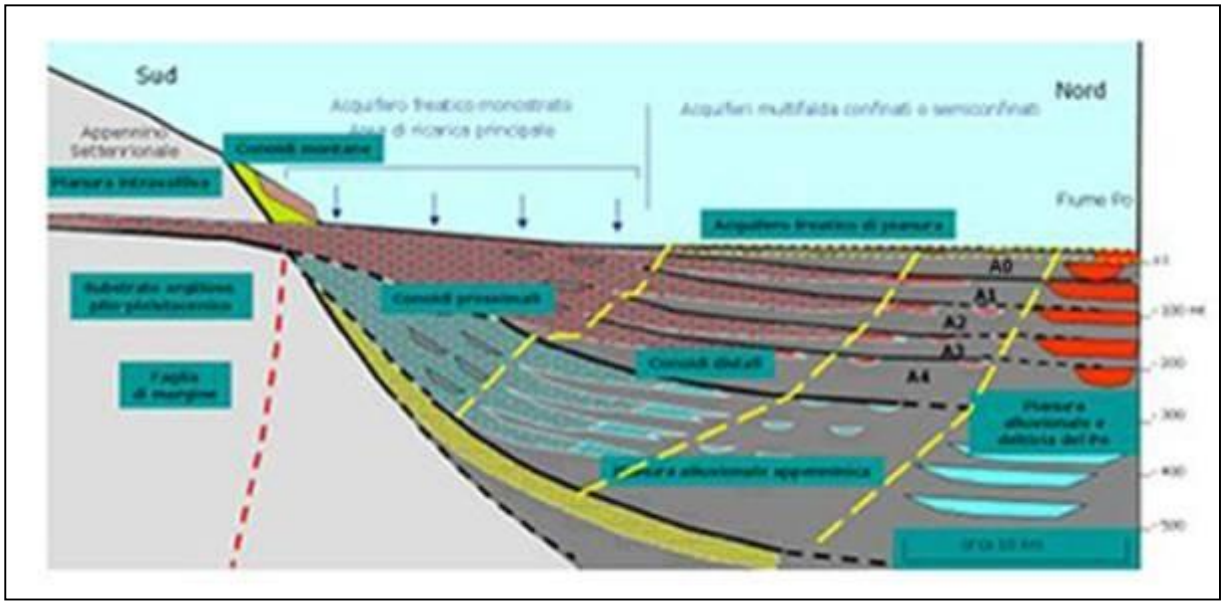


Fig. 23: Schema della struttura dei Complessi Acquiferi della Pianura Emiliano-Romagnola.

In riferimento alle unità Idrostratigrafiche dell'Emilia–Romagna, di cui al modello concettuale adottato a scala regionale (Regione Emilia-Romagna & ENI-AGIP, 1998), 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 con le sigle da A0 ad A4 e corrispondenti ai subsintemi della stratigrafia delle unità quaternarie rispettivamente da AES8 ad AES4 (fig. 24-25).

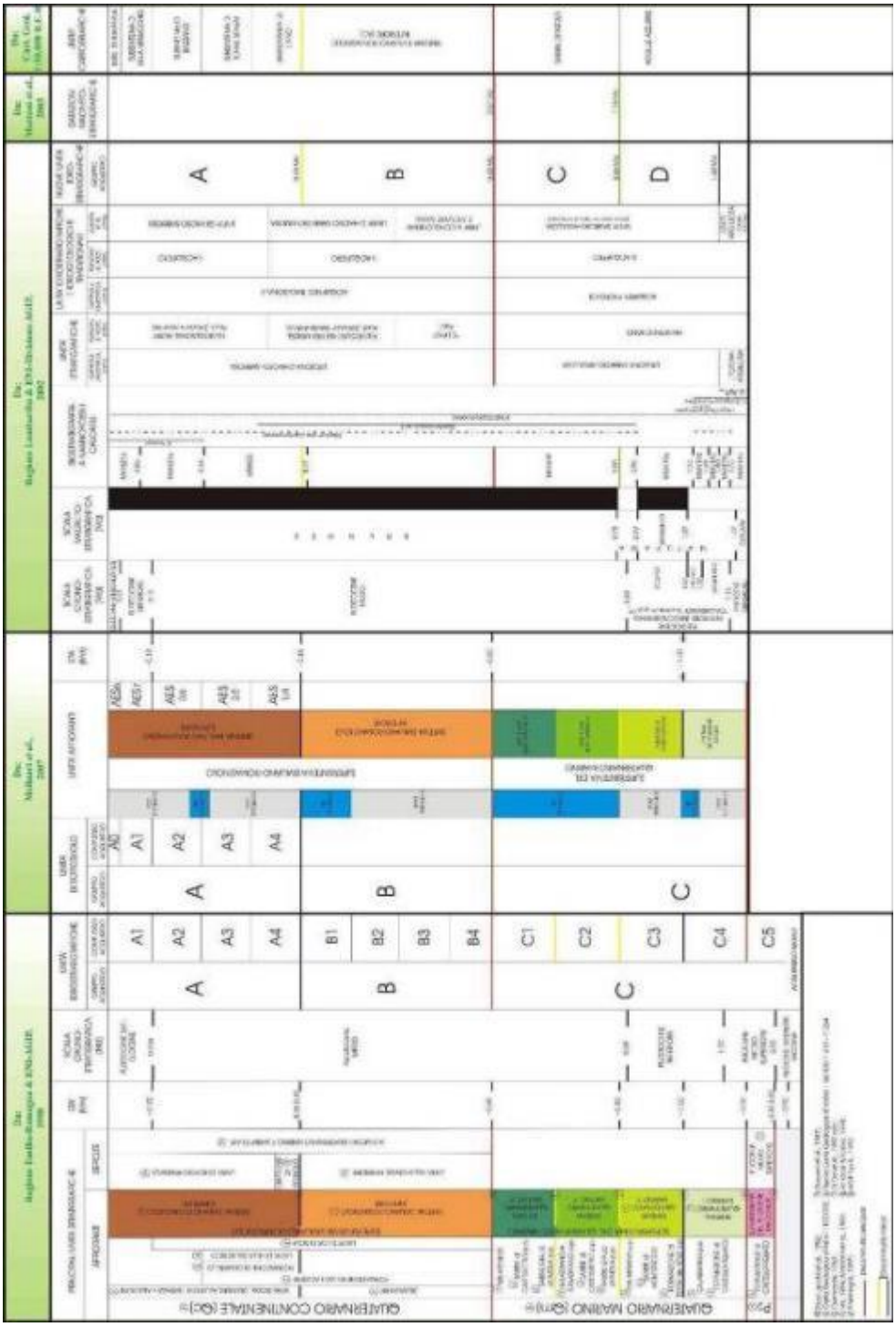


Fig. 24: Quadro sinottico delle unità stratigrafiche del sottosuolo padano.

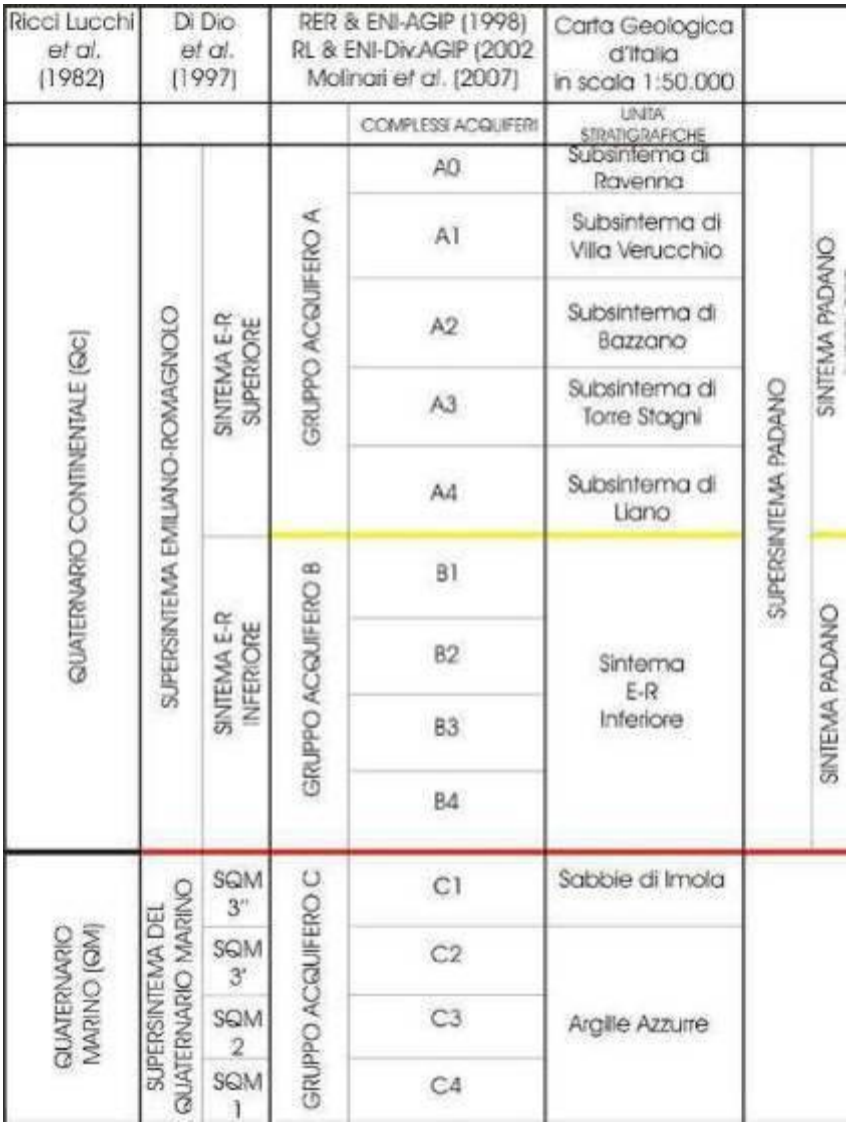


Fig. 25: Corrispondenza tra Gruppo Acquifero e unita stratigrafiche.

Il gruppo acquifero A è il più superficiale ed è anche quello più esteso (sia in affioramento che nel sottosuolo) e più sfruttato, nonché quello interessato dallo studio oggetto della presente relazione. Il Subsintema di Ravenna (AES8) corrisponde al complesso acquifero più superficiale A0, interferente con le opere in oggetto.

9.1 IDROGEOLOGIA DELL'AREA DI STUDIO

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

Gli acquiferi delle principali conoidi Reno (a ovest) e Savena (a est) appartengono alla falda superficiale di Bologna che assieme a quella profonda costituisce il sistema idrogeologico dell'area di margine appenninico.

Tali conoidi sono costituiti da depositi ghiaiosi e suoli mediamente permeabili a seconda della granulometria. Le suddette zone di conoide costituiscono dunque aree di ricarica temporanea o stagionale, per infiltrazione di acque superficiali nei depositi profondi.

Di seguito si riporta uno stralcio (area ampia e di dettaglio) della Carta Idrogeologica (scala 1:25.000) redatta a supporto del PSC Unione Reno-Galliera (dati settembre 2003):

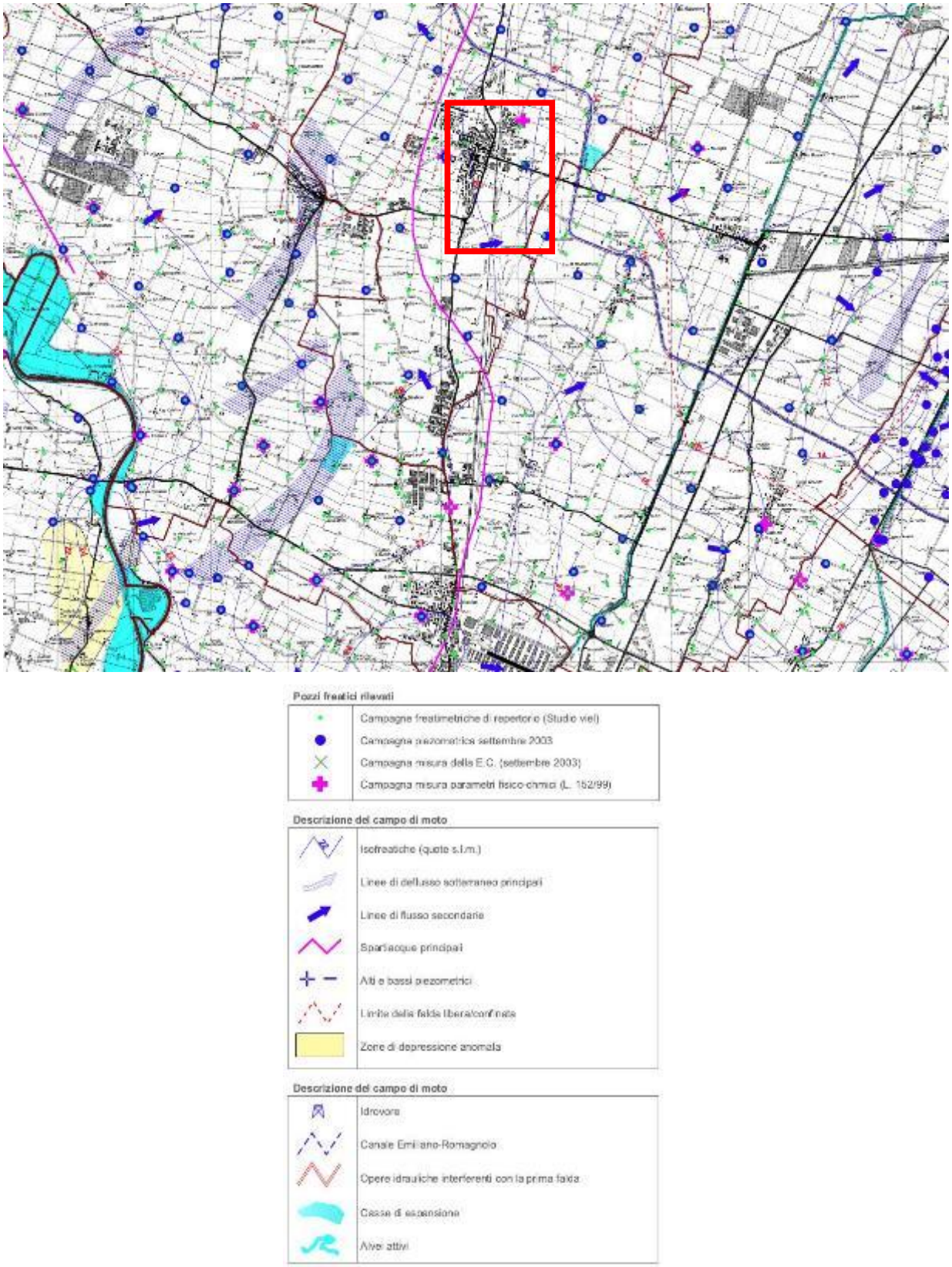


Fig. 26: Stralcio Carta Idrogeologica PSC Reno-Galliera 1:25.000 e relativa legenda (in rosso l'area di intervento)

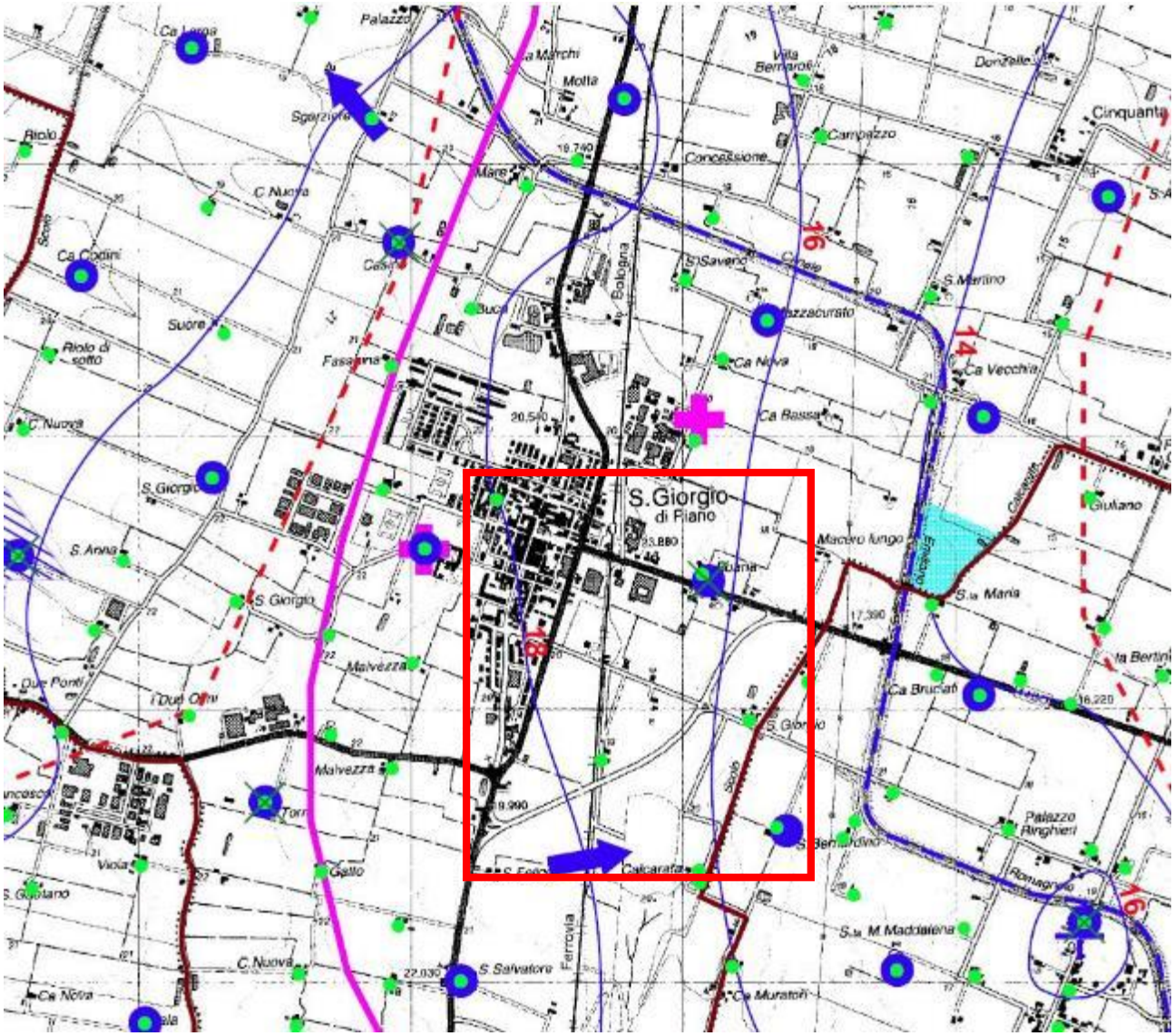


Fig. 27: Stralcio Carta Idrogeologica PSC Reno-Galliera 1:25.000 – dettaglio

(in rosso l'area nella quale si inseriscono i 5 interventi)

Dallo stralcio cartografico di dettaglio sopra riportato si può osservare che, sulla base dei dati di misura della falda riferiti a settembre 2003, le isopiezometriche afferenti l'areale di intervento determinano una soggiacenza pari a c.a. 2m da piano campagna.

Tale condizione trova riscontro anche nelle misure piezometriche registrate in tempi diversi nelle verticali di indagine ricadenti nell'area di interesse, ed in particolare per l'ambito di intervento 3 (si veda la sezione geologica):

- Pozzo per acqua 203130P406 indica una quota di falda di 1,20m da p.c. (marzo 1988);
- Pozzo per acqua 203130P407 indica una quota di falda di 1,60m da p.c. (marzo 1988);
- Prova penetrometrica CPTU1 indica una quota di falda di c.a. 2,4m da p.c. (febbraio 2019);
- Sondaggio S-D1 indica una quota di falda di 2,42m da p.c. per la cella installata a 7m, di 5,53m da p.c. per la cella installata a 23m (marzo 2020).

Si segnala altresì la presenza di un impianto di sollevamento/pompaggio acque in corrispondenza del sottopasso ferroviario presso l'intervento 3, ciò a dimostrazione della presenza di una falda prossima al piano campagna.

Inoltre, durante l'esecuzione dei pozzetti superficiali avvenuta a fine febbraio 2020 sono state registrate le seguenti venute d'acqua:

- PZ-A1 emergenza idrica a 3,60m da p.c.
- PZ-B1 emergenza idrica a 3,80m da p.c.
- PZ-C1 emergenza idrica a 3,70m da p.c.
- PZ-D1 emergenza idrica a 3,70m da p.c.
- PZ-E1 emergenza idrica a 3,80m da p.c.

Dal punto di vista idrogeologico, per i terreni afferenti gli interventi in progetto è possibile distinguere (fig. 24-25):

- Complesso Acquifero A0, comprendente le unità stratigrafiche appartenenti al Subsintema superiore AES8 (Subsintema di Ravenna-AES8 e Unità di Modena-AES8a)
- Complesso Acquifero A1, comprendente le unità stratigrafiche appartenenti al Subsintema inferiore AES7, il cui limite superiore con il Subsintema 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).

Per entrambi i complessi è possibile individuare al proprio interno, in base alla granulometria prevalente dei depositi, due unità idrogeologiche:

1. costituita prevalentemente da sabbie, sabbie limose e sabbie limoso-argillose; i valori del coefficiente di permeabilità desunti da dati di letteratura risultano mediamente pari a $10^{-7} \div 10^{-6}$ m/s;
2. costituita prevalentemente da argille e/o limi; i valori del coefficiente di permeabilità desunti da dati di letteratura e dalla prova Lefranc eseguita a carico idraulico variabile nel sondaggio S-D1 risultano mediamente pari a $10^{-8} \div 10^{-7}$ m/s;

10 CARTOGRAFIA TEMATICA E LEGENDE

La collocazione di tutti gli elementi bibliografici acquisiti e quelli rilevati, nonché l'analisi delle stratigrafie disponibili ha portato alla compilazione di documenti di sintesi, in particolare è stata redatta una planimetria geologica-geomorfologica in scala 1:5.000, con dettaglio planimetrico e sezione geologica in scala 1:1.000/1.000 relativamente all'Intervento 3. Inoltre è stata riportata l'ubicazione delle indagini geognostiche.

10.1 GEOLOGIA

Per quanto concerne gli elementi geologici, sono state riportate in planimetria le successioni stratigrafiche e le distinzioni granulometriche dei terreni superficiali (mediante appositi soprassegni) proposte dalla Regione Emilia-Romagna (cartografia regionale progetto CARG scala 1:50.000): si segnalano spesso discrepanze tra le risultanze dei primissimi metri delle stratigrafie di indagine e quanto segnalato superficialmente dal CARG; per questo motivo è sempre opportuno fare riferimento ai dati puntuali di geognostica di recente acquisizione.

Sono inoltre riportate tutte le indagini geognostiche disponibili.

SEZIONE GEOLOGICA INTERVENTO 3:

L'intervento 3 rappresenta l'unico ambito di progetto dove sono presenti opere che coinvolgono, almeno parzialmente, il sottosuolo; al fine di evidenziare le caratteristiche litologiche dei terreni è stata redatta una sezione geologica di dettaglio in scala 1:1.000/1.000, derivata dall'interpretazione delle carte e delle sezioni tematiche CARG nonché e soprattutto delle risultanze della geognostica. Ciò ha consentito l'individuazione di due classi principali di terreni, suddivise in funzione della composizione granulometrica prevalente:

- argille e/o limi prevalenti (terreni prettamente coesivi)
- sabbie, sabbie limoso-argillose (terreni sabbiosi con contenuto di matrice fine variabile)

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

In generale per il CARG 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 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 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), pertanto non correlabili direttamente con variazioni delle caratteristiche litotecniche riscontrabili a profondità maggiori. Per questi motivi si è optato di non differenziare AES8a da AES8, riportando in sezione geologica una distinzione tra corpi a diversa granulometria, aspetto che assume grande importanza dal punto di vista geotecnico.

Viceversa, nella sezione geologica è riportata una possibile interpretazione dei limiti tra i subsintemi AES8 ed AES7 (si rammenta che i subsintemi sono unità stratigrafiche delimitate da superfici di discontinuità - U.B.S.U.); il limite tra subsintemi è presunto ed è stato costruito sulla base dei limiti indicati nella sezione CARG che si sviluppa nelle vicinanze dell'area di intervento, adattando tale limite (ove possibile) sulla base delle risultanze dei carotaggi di progetto. Tutto ciò si è reso necessario perché esistono orizzonti simili al marker disposti anche a livelli stratigrafici differenti.

Da ultimo, in sezione, sono stati indicati i principali depositi antropici ed i livelli piezometrici disponibili (soggiacenza in m da p.c.).

Per quanto concerne gli elementi geomorfologici sono stati riportati gli antichi ventagli di esondazione (da CARG), gli alvei fluviali abbandonati (da CARG) e i principali depositi antropici;

10.2 GEOMORFOLOGIA

Per quanto attiene agli elementi geomorfologici, in planimetria sono stati riportati gli antichi ventagli di esondazione (da CARG), gli alvei fluviali abbandonati (da CARG), gli specchi d'acqua/marcite ed i principali depositi antropici.

10.3 IDROGELOGIA

Per quanto attiene agli elementi idrogeologici, in planimetria è stato riportato l'andamento delle curve isopiezometriche (settembre 2003) e delle linee di deflusso così come indicate nell'elaborato "Carta Idrogeologica" redatto a supporto del PSC Reno-Galliera - Terre di Pianura (scala 1:25.000, dati piezometrici settembre 2003).

11 ELEMENTI DI SISMICA GENERALE

Il presente paragrafo descrive la sismicità storica del territorio esaminato e presenta un inquadramento sismico riferito agli assetti normativi in vigore. I dati di base utili per la definizione degli elementi di sismica generale sono stati ricavati dai seguenti documenti e/o siti internet:

- CPT15 Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 dal 1000 al 2014: (Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016. CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia: https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15
- DBMI15 - Database Macrosismico Italiano 2015 (L'utilizzo, anche parziale, del database è consentito a condizione che la fonte sia sempre citata come segue: Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia: https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15
- Sismicità recente (dal 01/01/1985 al 2020) INGV Centro Nazionale Terremoti: 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, disponibile on-line all'indirizzo: http:// http://sgi2.isprambiente.it/mapviewer/
- Strutture sismogenetiche: Database DISS3 (Database of Individual Seismogenitic Sources) disponibile on-line all'indirizzo: http://diss.rm.ingv.it/diss
- Classificazione sismica nazionale: disponibile on-line all'indirizzo: http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/classificazione.wp
- Classificazione sismica dei Comuni dell'Emilia Romagna (DGR n°1164 del 23/07/2018).

11.1 SISMICITÀ STORICA (DAL 1000 AL 2005)

Con riferimento all'analisi della sismica storica sono stati esaminati i dati riportati nel database DMI 2015, che contiene 86.071 MDP (Macroseismic Data Points) relativi a 1.684 terremoti il cui epicentro ricade all'interno dell'area CPTI15 (Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2015); i dati sono riferiti a 15.416 località di cui 14.150 in territorio italiano. In particolare si riportano di seguito alcune tabelle inerenti le intensità macrosismiche registrate dal 1000 al 2005 relativamente al Comune di Bologna (meglio rappresentato) ed al Comune di San Giorgio di Piano (ove ricadono gli interventi).

Nelle tabelle seguenti viene riportato, per ciascuno dei Comuni analizzati, l'elenco dei terremoti (rappresentati anche da relativo grafico), i valori relativi alla intensità al sito, il tempo all'origine (anno, mese, giorno, ora UTC), l'area epicentrale, il numero progressivo, l'intensità epicentrale e la magnitudo momento. Si specifica che il grafico rappresentativo dei terremoti storici di ogni singolo Comune d'Italia generato direttamente dal sito dell'INGV non prevede la rappresentazione dei terremoti con Is (Intensità al sito di interesse) inferiori a 3 e di quelli classificati NF, ossia "non avvertito".

Si specifica che l'Intensità macrosismica (IS) misura gli effetti di un terremoto sulle costruzioni, sull'uomo e sull'ambiente, classificandoli in dodici gradi attraverso la scala Mercalli; l'intensità non è quindi una misura dell'energia di un terremoto, ma del grado di danneggiamento, perché le conseguenze dipendono dalla violenza dello scuotimento ma anche da come sono state costruite le case e da quante persone vivono nell'area colpita.

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'Illasi	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'Illasi	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

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

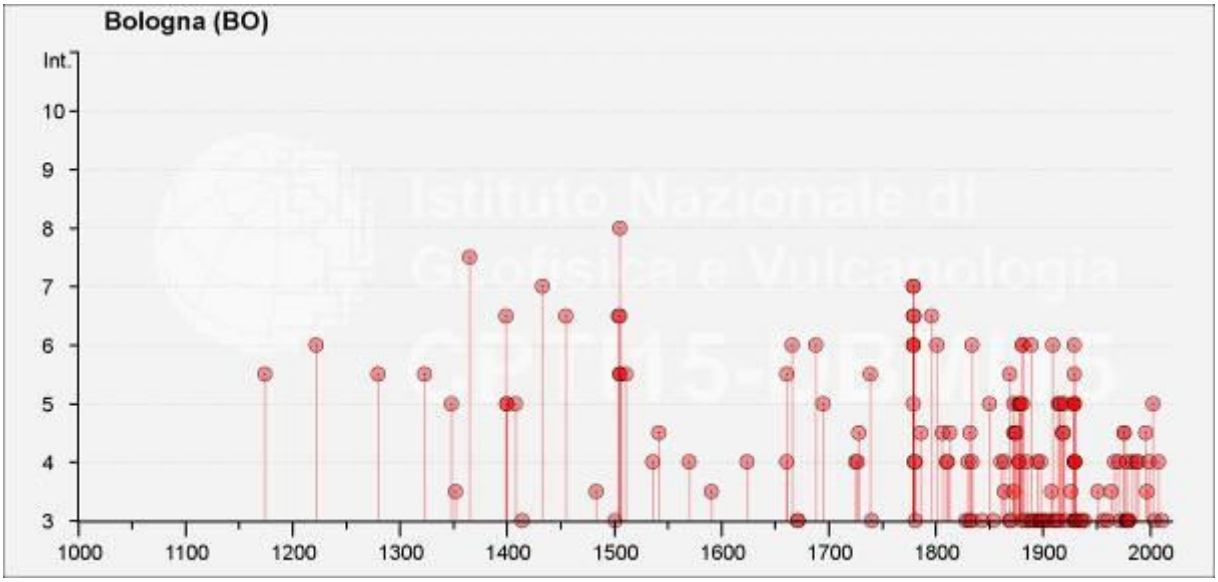


Fig. 28: Intensità macrosismiche dal 1000 al 2005 nel Comune di Bologna

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

Seismic history of S. Giorgio di Piano
[44.646, 11.376]
Total number of earthquakes: 16

Is	Anno Me Gi Or	Area epicentrale	nP	Io	Mw
NF	1908 07 10 02 13 35.00	Carnia	119	7-8	5,31
4	1929 04 10 05 44	Bolognese	87	6	5,05
3	1929 04 12 00 32	Bolognese	7	4	4,82
5	1929 04 19 04 16	Bolognese	82	6-7	5,13
5	1929 04 20 01 10	Bolognese	109	7	5,36
4	1929 04 22 08 26	Bolognese	41	6-7	5,1
4	1929 04 28 19 40	Bolognese	20	6	4,73
5	1929 04 29 18 36	Bolognese	45	6	5,2
5	1929 05 11 19 23	Bolognese	64	6-7	5,29
2	1957 08 27 11 54	Appennino modenese	58	5	4,73
4	1971 07 15 01 33 23.00	Parmense	228	8	5,51
NF	1992 04 17 11 59 07.29	Appennino bolognese	56	4-5	4,11
3	2000 05 10 16 52 11.60	Faentino	151	5-6	4,82
2	2000 06 18 07 42 07.68	Pianura emiliana	304	5-6	4,4
4	2003 09 14 21 42 53.18	Appennino bolognese	133	6	5,24
5	2012 05 29 07 00 02.88	Pianura emiliana	87	7-8	5,9

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

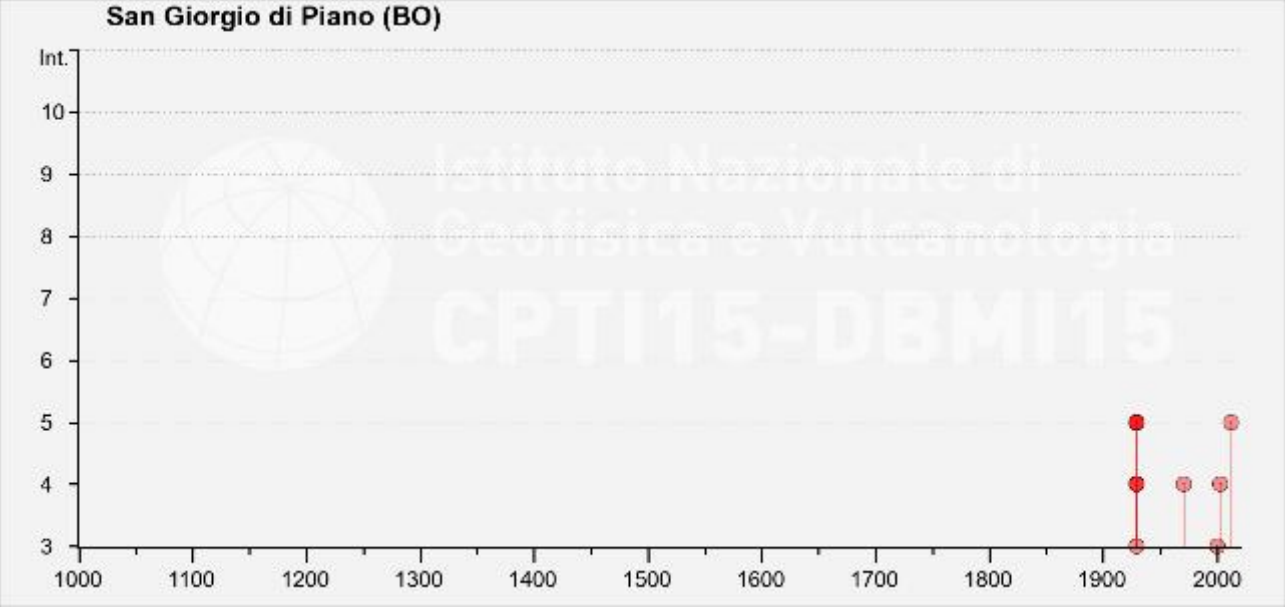
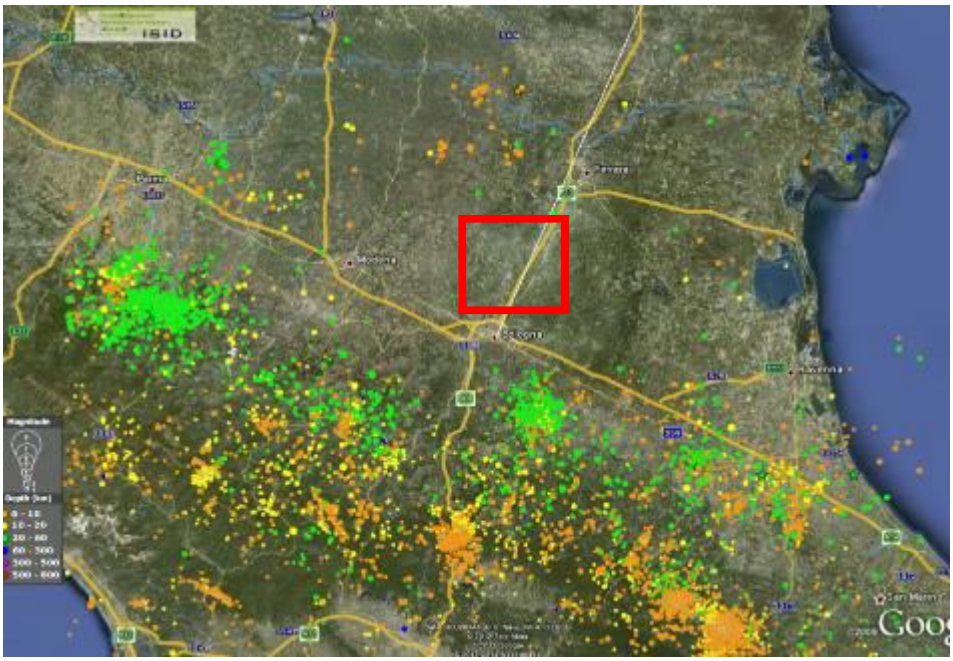


Fig. 29: Intensità macrosismiche dal 1000 al 2005 nel Comune di San Giorgio di Piano

Le intensità sismiche massime osservate per il Comune di San Giorgio di Piano sono pari a IS=5 per gli eventi del 1929 e del 2012.

11.2 SISMICITÀ RECENTE (DAL 1985 AL 2020)

Per quanto concerne i sismi che hanno interessato l'area di Bologna dal 1985 al 29 gennaio 2020, i dati sono stati recuperati dal database ISIDE dell'INGV considerando un'area di raggio 100 km (che include le aree epicentrali dei terremoti più intensi di cui al paragrafo precedente) dal Comune di Bologna.



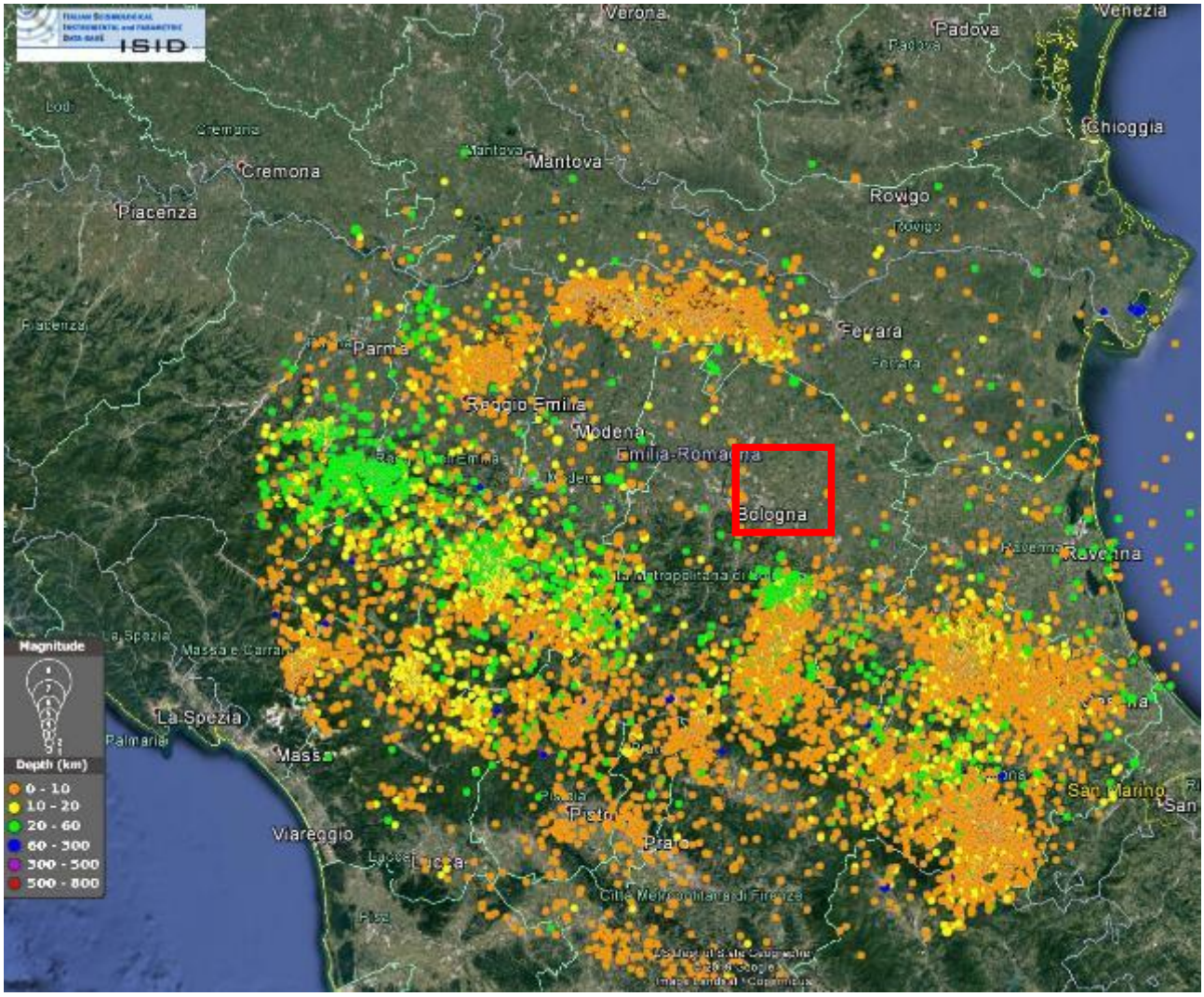


Fig. 30a,,b : Database ISIDE - periodo 1985-2020: raffronto tra la situazione antecedente (sopra) e successiva la sequenza sismica iniziata il 20 maggio 2012

Dallo stralcio di figura 30b si distinguono le seguenti aree sorgenti:

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

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

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

Nella seguente immagine sono evidenziati i terremoti avvenuti dal 1985 ad oggi nelle aree più prossime ai punti di intervento:

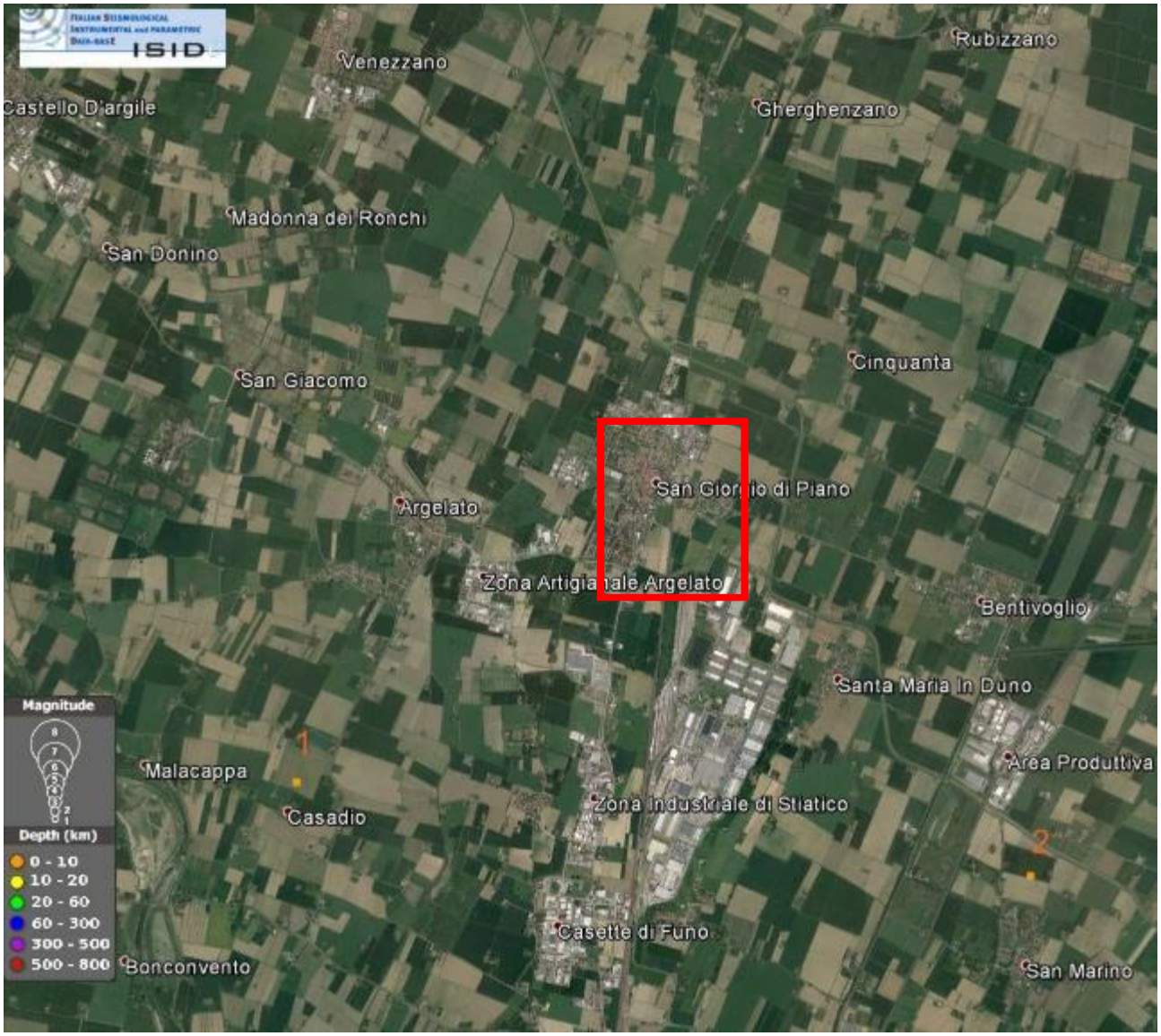


Fig. 31: Database ISIDE: dettaglio distribuzione terremoti periodo 1985-2020 (in rosso l'area di intervento).

Gli eventi segnalati più prossimali all'area di intervento hanno le seguenti caratteristiche:

ID	Magnitudo	Profondità (km)	Data (UTC)
1	2.3	10	08/10/1996
2	2.4	9.3	20/05/2012

11.3 FAGLIE CAPACI

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

La riattivazione 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 ≥ VIII-IX grado della scala ESI2007.

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 data base del Progetto ITHACA, raccoglie tutte le informazioni disponibili riguardo le strutture tettoniche attive in Italia, con particolare attenzione ai processi tettonici 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 figura si riporta uno stralcio planimetrico della distribuzione delle faglie capaci del Progetto ITHACA relativamente all'areale di interesse:

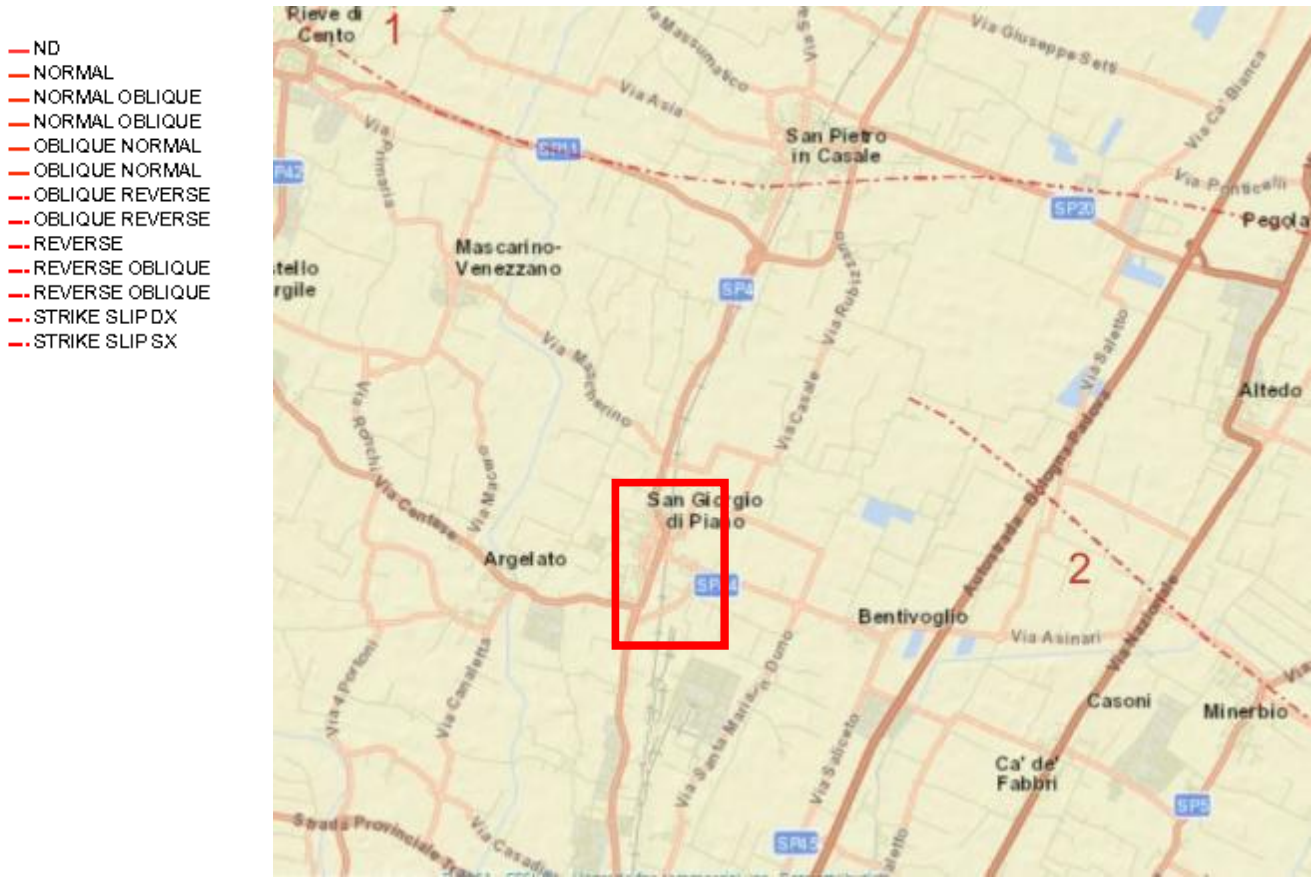


Fig. 32: Distribuzione faglie capaci "Progetto ITHACA" (in rosso l'area di interesse)

Dalla figura 32 si evince la presenza, appena a Nord e ad Est dell'area di intervento, di faglie capaci, le cui principali caratteristiche vengono di seguito riassunte:

	1	2
FAULT NAME	S. Pietro in Casale - Ferrara	Minerbio - Bologna
FAULT CODE	90818	90600
REGION NAME	Emilia Romagna	Emilia Romagna
SYSTEM NAME	Ferrara Ridge	Bologna - Ravenna thrust system
KINEMATICS	Reverse	Reverse
RANK	Secondary	Primary
AVERAGE STRIKE	280	125
DIP	-	-
LENGTH (Km)	15.6	11.1
DEPTH (Km)	-	-
ACTIVITY RELIABILITY	Low reliability	Low reliability
STUDY QUALITY	LOW	LOW
MAX KNOWN MAGNITUDE	6.6	-

11.4 STRUTTURE SISMOGENETICHE

Benché le moderne investigazioni della sismotettonica regionale siano iniziate più di 30 anni fa, la conoscenza delle sorgenti sismogenetiche è ancora incerta; 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):

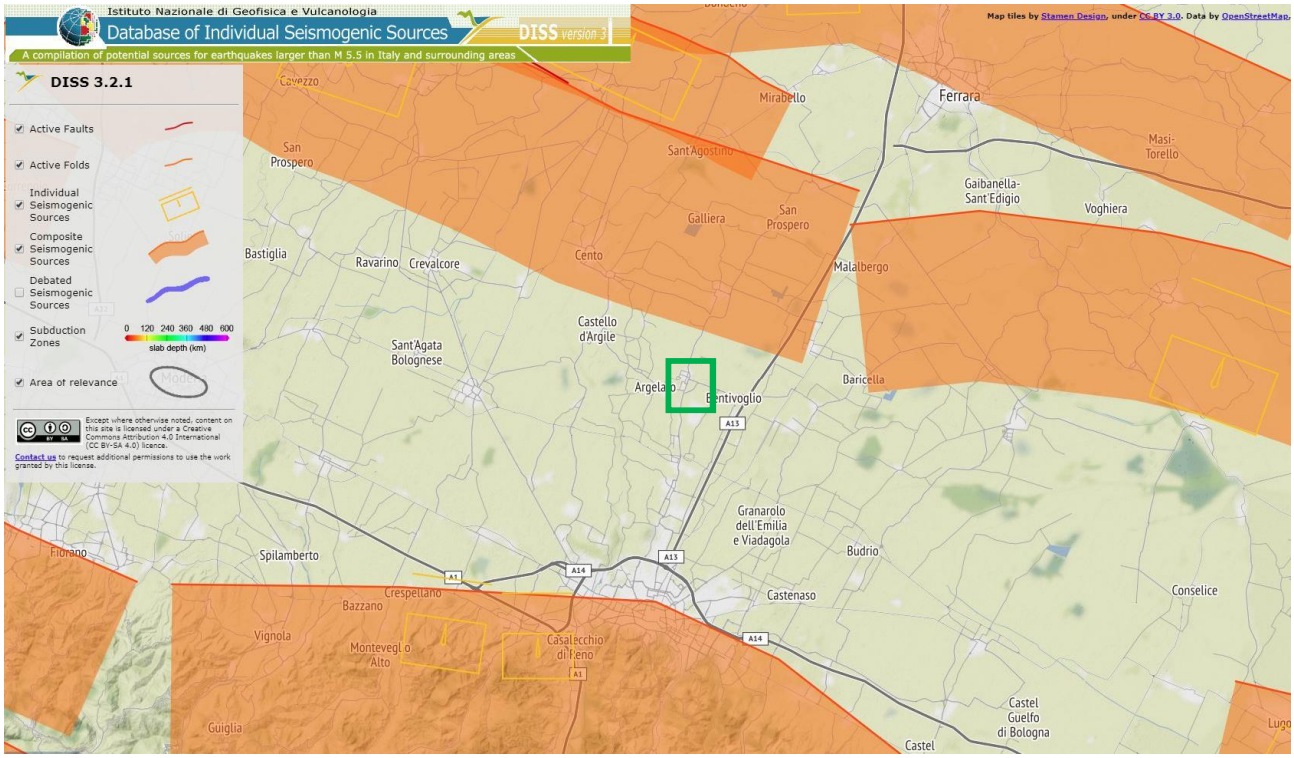


Fig. 33: Mappa delle aree sismogenetiche di interesse - Database DISS3 (in verde l'area di intervento).

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

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

Con riferimento al "Database of Individual Seismogenitic Sources - DISS 3", si osserva che l'areale di intervento non ricade in nessuna area sismogenetica.

Vale la pena ricordare che il 20 e 29 Maggio 2012 due terremoti di magnitudo 5.9 e 5.8 seguiti da molte repliche hanno colpito la Pianura Padana a circa 40 km a nord di Bologna. I due terremoti principali sono stati generati dalle faglie sepolte dell'Arco Ferrarese-Romagnolo appartenenti al fronte più esterno dell'appennino settentrionale, attivandolo per una lunghezza di circa 50 km. L'attività geologica recente di queste strutture è testimoniata dal controllo sull'andamento del drenaggio, ed è stata quantificata utilizzando dati geologici e geofisici di sottosuolo: le dorsali di Ferrara (ITCS050) e Mirandola (ITCS051), associate hanno causato la diversione del corso dei fiumi Po, Secchia, Panáro e Reno. La deformazione cosismica del suolo, sollevamento e subsidenza, generata dai due terremoti è congruente con le anomalie del drenaggio descritte.

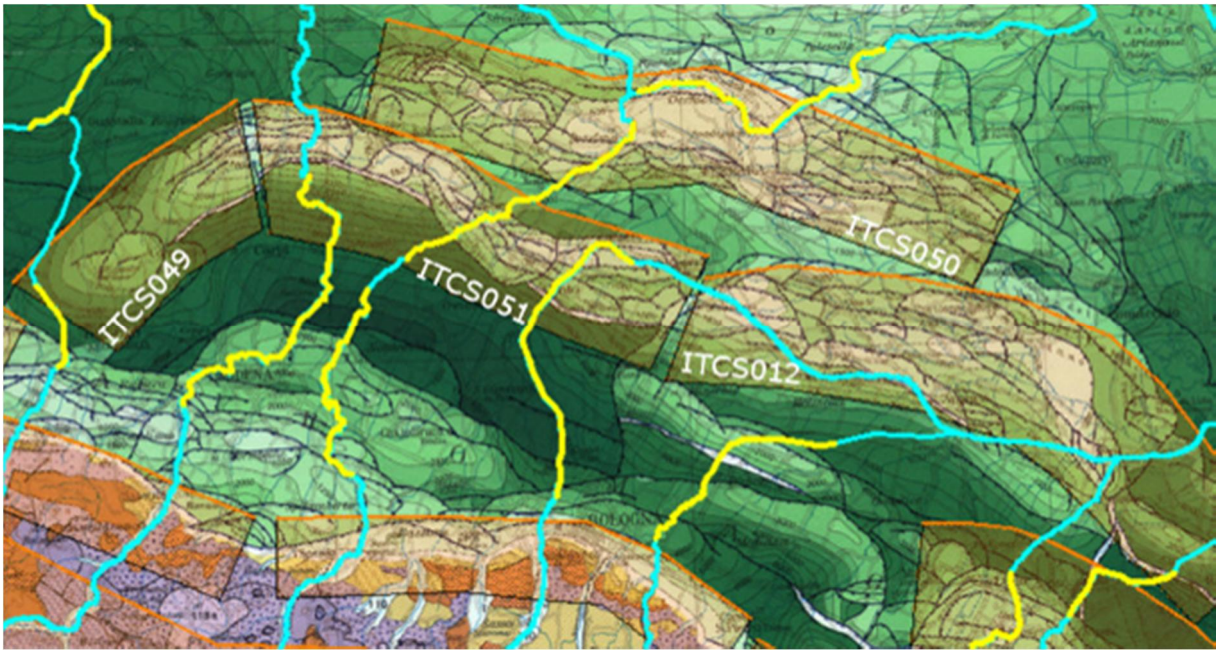


Fig. 34: Modello strutturale con evidenziati in giallo i tratti che evidenziano le anomalie del drenaggio ed in azzurro i corsi d'acqua regolari, in arancione le aree sismogenetiche

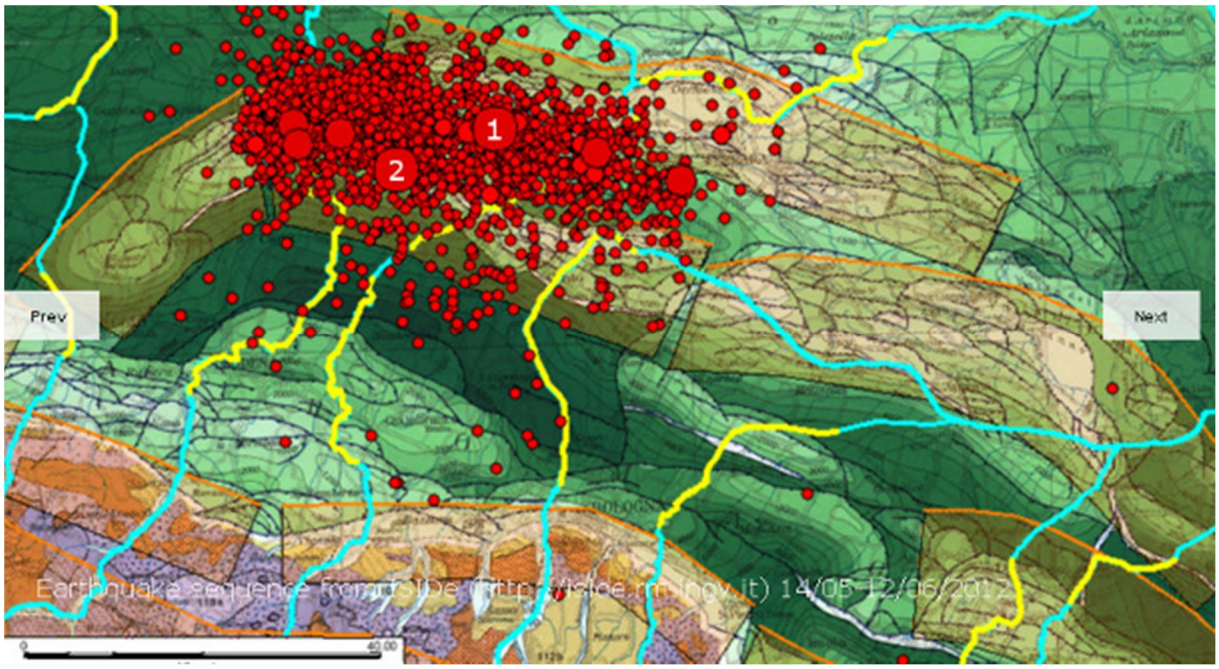


Fig. 35: Sequenza sismica 14 maggio - 12 giugno 2012

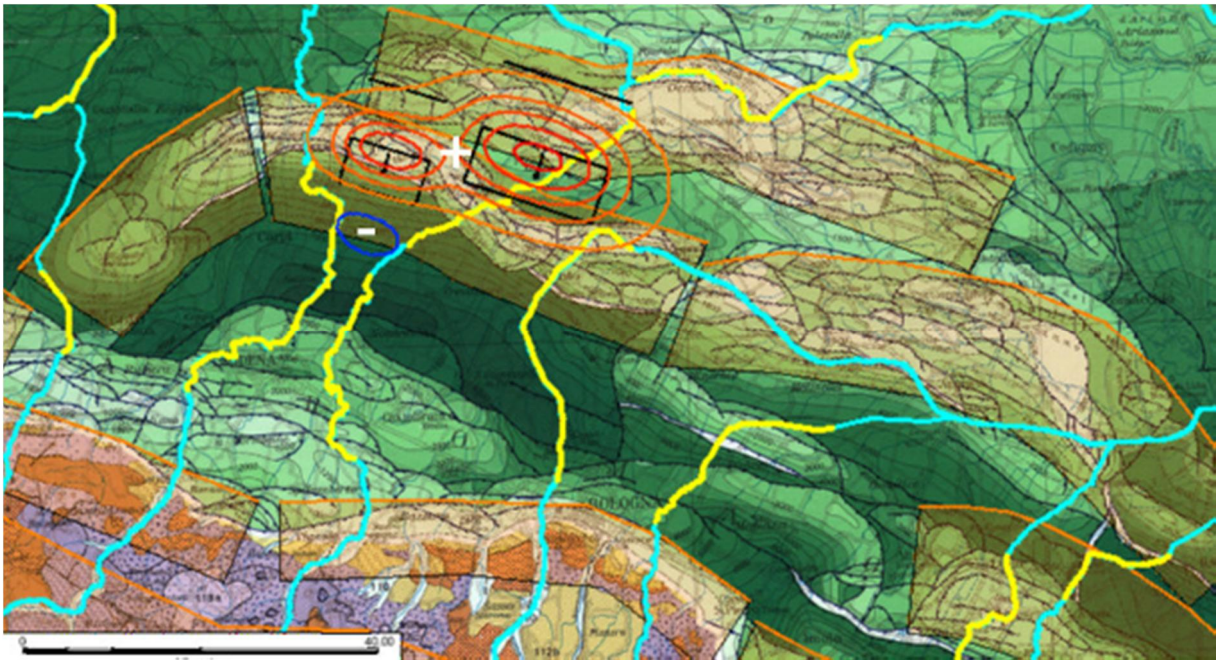


Fig. 36: Spostamento della superficie causato dalle due faglie (riquadri neri) che generano le scosse di magnitudo 5.9 e 5.8

11.5 CLASSIFICAZIONE SISMICA

Negli ultimi anni si sono succeduti diversi provvedimenti normativi ed amministrativi 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 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; procedendo in questo modo tutto il territorio italiano viene definito come sismico, poiché di fatto, sparisce il territorio "non classificato", che diviene zona 4, nella quale è facoltà delle Regioni prescrivere 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 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 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 i limiti amministrativi (criterio "zona dipendente").

Nel rispetto degli indirizzi e 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 tre sole zone (zona 1, 2 e 3) e introducendo, in alcuni casi, delle sottozone per meglio adattare le norme alle caratteristiche di sismicità.

Qualunque sia stata la scelta regionale, a ciascuna zona o sottozone 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) 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 nella tabella 1 dell''Allegato B delle stesse NTC), indipendentemente dai limiti amministrativi comunali.

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 nuova normativa permette di riferirsi, per ogni costruzione, 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 nel 2019:

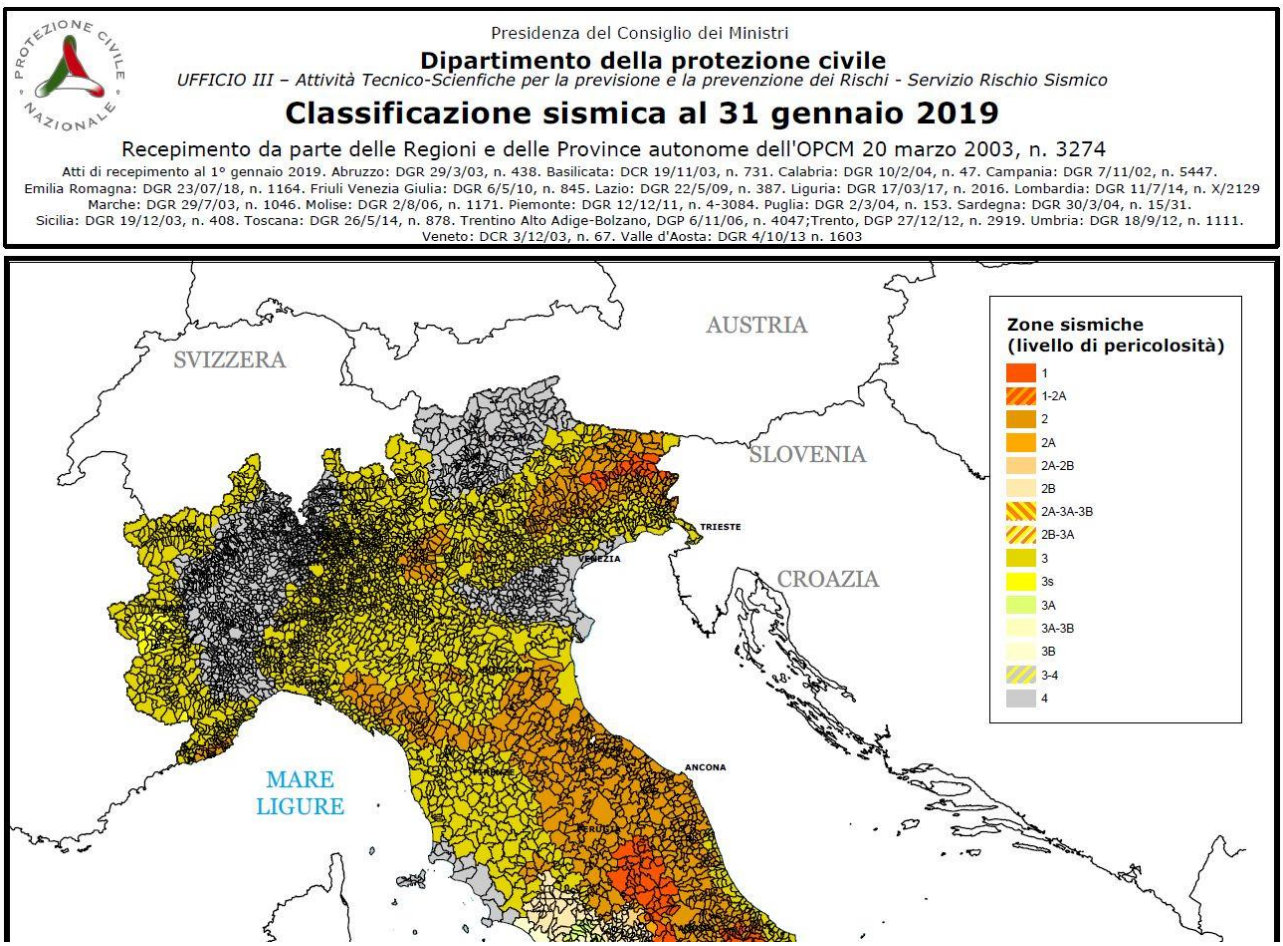


Fig. 37: Classificazione Sismica al 2019 (Dipartimento di Protezione Civile).

11.6 CLASSIFICAZIONE SISMICA DELL'AREA DI STUDIO

La riclassificazione sismica dell´Emilia-Romagna - Ordinanza del PCM n. 3274 / 2003 (Allegato 1, punto 3 "prima applicazione") è stata superata dall'aggiornamento di luglio 2018 con la DGR n°1164 del 23/07/2018 "Aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei comuni dell'Emilia-Romagna" (fig. 38):

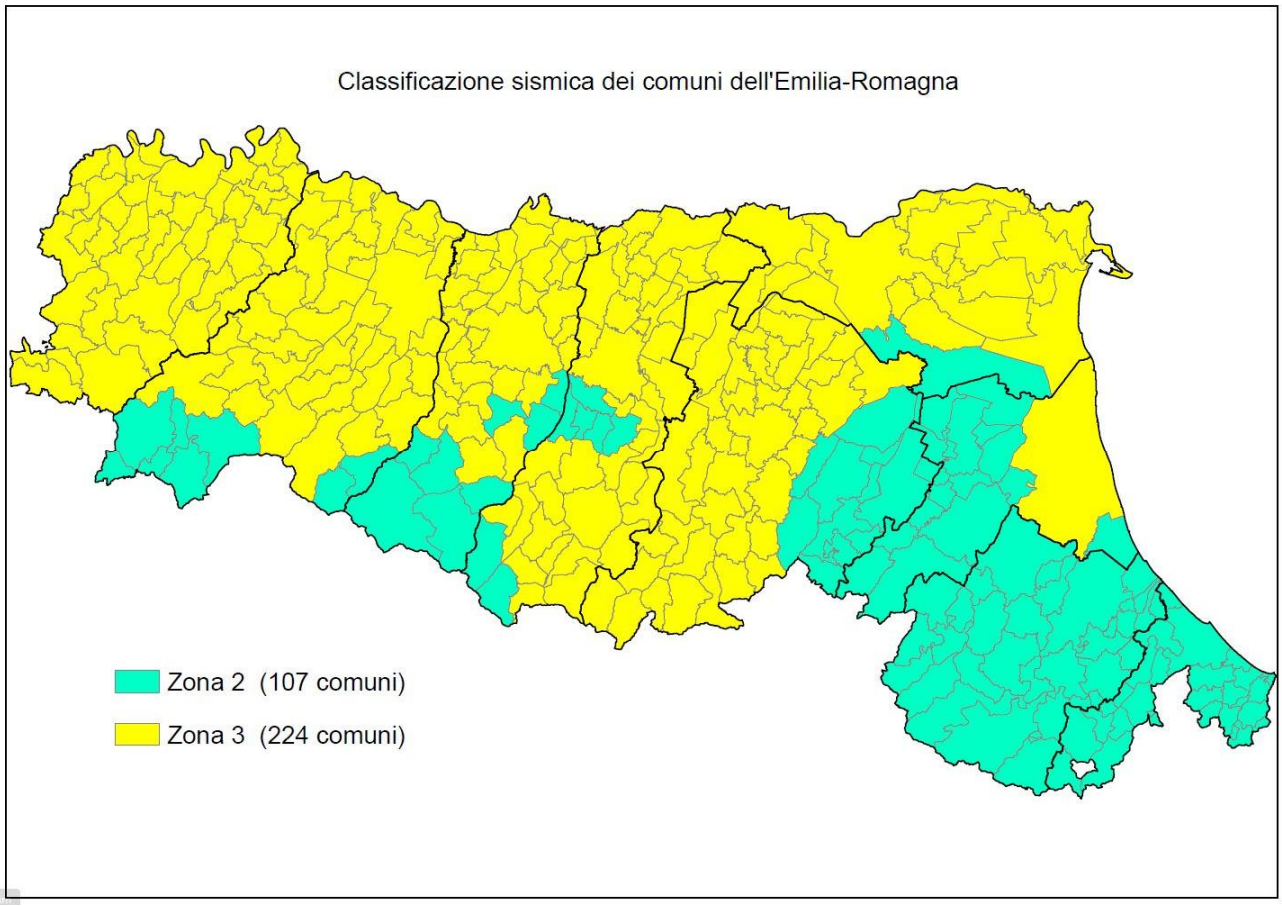


Fig. 38: "Aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei comuni dell'Emilia-Romagna" – DGR n° 1164 del 23/07/2018

In conformità alla normativa vigente, i comuni interessati dal progetto ricadono nelle seguenti zone sismiche:

Regione	Provincia	Codice Istat	Comune	Classificazione_2019 Protezione Civile
Emilia Romagna	Bologna	37052	San Giorgio di Piano	3

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

.

12 DESCRIZIONE DELLE AREE DI INTERVENTO

Nell'ambito di questo capitolo si descrivono gli elementi geologici riferiti ai diversi areali di progetto.

I litotipi distinti nell'ambito della sezione geologica sono due (suddivisi in funzione della composizione granulometrica prevalente):

- argille e/o limi prevalenti (terreni prettamente coesivi)
- sabbie, sabbie limoso-argillose (terreni sabbiosi con contenuto di matrice fine variabile)

Queste "macrocategorie" sono rappresentative dal punto di vista del modello del sottosuolo della pianura bolognese, poiché la composizione granulometrica dei terreni varia notevolmente anche per piccoli intervalli e non consente la definizione di categorie più specifiche, che genererebbero una moltitudine di partizioni non significative ed opinabili. Peraltro, a causa della natura fortemente eteropica dei depositi cartografati, la forma e l'estensione delle lenti di materiale riportate in sezione deve essere assunta come verosimile ma non come l'unica possibile.

Tutti gli interventi in oggetto si sviluppano sui terreni afferenti al subsintema di Ravenna (AES8) o all'Unità di Modena (AES8a), che è contenuta in AES8 con limiti non conformi e che ne costituisce il tetto stratigrafico. Ad una profondità nell'ordine dei 20m dal piano campagna si ipotizza invece il passaggio a depositi riconducibili al Subsintema di Villa Verucchio (AES7).

Nel sottosuolo afferente gli interventi in progetto prevalgono nettamente i litotipi compressibili.

Per la descrizione litostratigrafica completa dei terreni attraversati si rimanda alle stratigrafie dei sondaggi e dei pozzetti.

12.1 INTERVENTO 1

L'intervento 1 prevede la realizzazione di una nuova rotatoria a raso.
Di seguito si sintetizza la stratigrafia del pozzetto superficiale che è stato realizzato appositamente per la progettazione di cui in oggetto:

PZ-A1
- 0-3,10m: terreno vegetale (30cm) seguito da limi argillosi e limi argillosi debolmente sabbiosi, da mediamente consistenti a consistenti;
- 3,10-3,80m: sabbie limose moderatamente addensate

Si segnala che durante la realizzazione del pozzetto è stata registrata emergenza di acqua a quota 3,60m.

12.2 INTERVENTO 2

L'intervento 2 prevede la realizzazione di due nuove rotatoria a raso.
Di seguito si sintetizza la stratigrafia dei pozzetti superficiali che sono stati realizzati appositamente per la progettazione di cui in oggetto:

PZ-B1
- 0-1,60m: terreno vegetale (20cm) seguito da limi argillosi debolmente sabbiosi, da mediamente consistenti a consistenti;
- 1,60-3,60m: argille limose da consistenti a molto consistenti;
- 3,60-4,0m: sabbie limose moderatamente addensate

Si segnala che durante la realizzazione del pozzetto è stata registrata emergenza di acqua a quota 3,80m ed inoltre che il pozzetto PZ-B1bis è stato interrotto a 0,2m da p.c. per rinvenimento di asfalto (vecchio sedime stradale).

PZ-B2

- 0-1,60m: terreno vegetale (20cm) seguito da limi argillosi debolmente sabbiosi, da mediamente consistenti a consistenti;
- 1,50-3,60m: argille limose da consistenti a molto consistenti.

Si segnala la presenza, nei pressi della nuova rotonda ove è stato realizzato il pozzetto PZ-B1, di una marcita.

12.3 INTERVENTO 3

L'intervento 3 prevede la realizzazione di una rotatoria e di una pista ciclabile, per la quale risulta necessario l'arretramento di una porzione di muro del sottopasso ferroviario di via Marconi.

Di seguito si sintetizza la stratigrafia del sondaggio e del pozzetto superficiale che sono stati realizzati appositamente per la progettazione di cui in oggetto:

S-D1

- 0-0,60m: terreno vegetale (20cm) seguito da riporto antropico;
- 0,60-2,50m: limi argillosi debolmente sabbiosi, da consistenti a molto consistenti, passanti a limi sabbiosi debolmente argillosi;
- 2,50-3,0m: sabbie debolmente limose;
- 3,0-20,90: alternanza di limi argillosi, limi sabbiosi, argille limose, argille sabbiose;
- 20,90-24,0m: sabbie da moderatamente addensate ad addensate;
- 24,0-25,50m: argille limose consistenti;
- 25,50-30,0m: sabbie limose-sabbie debolmente limose.

PZ-D1

- 0-0,60m: terreno vegetale (20cm) seguito da riporto antropico;
- 0,60-1,40m: limi argillosi debolmente sabbiosi, da consistenti a molto consistenti;
- 1,40-3,20m: limi sabbiosi debolmente argillosi;
- 3,20-4,0m: sabbie limose addensate

Si segnala che durante la realizzazione del pozzetto è stata registrata emergenza di acqua a quota 3,70m.

Nei pressi dell'intervento ricadono alcune indagini pregresse, ed in particolare:

- il sondaggio 203130P406 realizzato per conto del Comune di San Giorgio di Piano nei pressi del sottopasso di via Marconi (vicino alla linea ferroviaria in direzione Bologna, area parcheggio stazione) ha evidenziato la presenza di limo passante a sabbia tra 2,50 e 4m, seguito da sabbie/sabbie limose sature fino a 9,70m di profondità; a seguire, prevalenti argille/argille limose fino a 20m;
- il sondaggio 203130P407 realizzato per conto del Comune di San Giorgio di Piano nei pressi del sottopasso di via Marconi (vicino alla linea ferroviaria in direzione Ferrara) ha evidenziato la presenza di argilla fino a 5,8m, seguito da limo debolmente sabbioso/organico fino a 9,40m e successivo livello di sabbia limosa di 80cm; a seguire, prevalenti argille/argille debolmente limose fino a 20m;
- la CPTU-1 eseguita a inizio 2019 per conto di Interporto S.P.A. in corrispondenza del sottopasso ferroviario di via Marconi ha attraversato, per la profondità di 15m, terreni interpretati come argille e limi/limi argillosi con sporadici e sottili interlivelli di limo sabbioso/sabbia limosa.

Come evidenziato nel paragrafo 9.1, tutti i dati di misura del livello di falda registrati in anni diversi indicano, nei pressi dell'intervento, una soggiacenza prossima al piano campagna.

12.4 INTERVENTO 4

L'intervento 4 prevede allargamento della sede in corrispondenza dell'intersezione tra via Panzacchi e l'S.P.4.

Di seguito si sintetizza la stratigrafia del pozzetto superficiale che è stato realizzato appositamente per la progettazione di cui in oggetto:

PZ-C1

- 0-2,40m: terreno vegetale (30cm) seguito da limi argillosi debolmente sabbiosi, da mediamente consistenti a consistenti;
- 2,40-3,50m: argille limose da consistenti a molto consistenti;
- 3,50-3,70m: sabbie limose moderatamente addensate

Si segnala che durante la realizzazione del pozzetto è stata registrata emergenza di acqua a quota 3,70m.

12.5 INTERVENTO 5

L'intervento 5 prevede la realizzazione di una nuova rotatoria a raso.

Di seguito si sintetizza la stratigrafia del pozzetto superficiale che è stato realizzato appositamente per la progettazione di cui in oggetto:

PZ-E1

- 0-3,30m: terreno vegetale (20cm) seguito da limi argillosi debolmente sabbiosi seguiti da limi argillosi da mediamente consistenti a consistenti;
- 3,30-4,0m: sabbie limose moderatamente addensate

Si segnala che durante la realizzazione del pozzetto è stata registrata emergenza di acqua a quota 3,80m.

13 PRINCIPALI ASPETTI GEOLOGICI DI INTERESSE INGEGNERISTICO

Di seguito si ribadiscono alcuni aspetti che, a giudizio del geologo, possono essere rilevanti nella progettazione delle opere, ed in particolare:

- diffusa variabilità granulometrica sia in senso verticale sia in senso orizzontale, tipica dei depositi alluvionali; pertanto, la caratteristica peculiare dei terreni interessati dai nuovi interventi è rappresentata dall'eteropia tra terreni fini e granulari;
- presenza di diffusi depositi/livelli compressibili, il che rende necessaria un'attenta verifica dei cedimenti delle nuove opere e delle preesistenze, perché una variazione inopportuna dello stato tensionale dei terreni dovuta alla realizzazione di scavi, emungimenti, riporti, ecc. può generare lesioni alle strutture;
- 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 (in particolare per Intervento 3);
- 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;
- possibile presenza di sacche di gas in livelli localizzati ed in emergenza dalla superficie;
- presenza, sia dai dati di misura disponibili sia dalla ricostruzione 2003 del PSC, di una falda freatica contraddistinta da una soggiacenza prossima al piano campagna; pertanto le oscillazioni stagionali sono 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;
- tutti gli interventi previsti ricadono, secondo il PGRA, in ambito a pericolosità da alluvione media (P2);
- secondo l'INGV sono presenti, appena a nord ed a est dell'area di intervento, due strutture tettoniche identificate come "faglie capaci", ossia faglie "sismiche" con indizi di attività negli ultimi 40.000 anni, potenzialmente in grado di produrre deformazioni in superficie.