



COMUNE DI SALA BOLOGNESE

Città Metropolitana di Bologna

**VERIFICA SISMICA E PROGETTAZIONE DI INTERVENTI DI MANUTENZIONE
STRAORDINARIA PER LA MESSA IN SICUREZZA DI PONTI COMUNALI
CUP G27H190002300004 - CIG 8677030FA9**



PONTE VIA CARLINE
(Ponte di Via Carline sullo Scolo Dosolo)



PONTE VIA ZACCARELLI
(Ponte di Via Gramsci sullo Scolo Dosolo)

PROGETTO ESECUTIVO

FINANZIATO DALL'UNIONE EUROPEA - NextGenerationEU 



Lungotevere delle Navi, 19 - 00196 - ROMA
Tel. 0636010314 - e-mail main@studiosperi.it

Geol. Fabio Oliva
Ing. Giorgio Lupoi

Categoria documento	Elaborati Strutturali	Codice Elaborato	ST-RL-08	Scala	
Titolo Elaborato	Relazione geologica Ponte Via Zaccarelli		Data di emissione	MAGGIO 2022	



INDICE

1. PREMESSA.....	3
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	5
4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO	6
5. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	9
6. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	11
7. STRATIGRAFIA	14
8. INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	19
8.1 Assetto geologico e litostratigrafico di sito	19
9. MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO.....	22
9.1 Livello piezometrico.....	22
10. SISMICITÀ	23
10.1 Classificazione sismica e pericolosità sismica di base.....	23
10.2 Sismicità storica.....	30
10.3 Sorgenti sismogenetiche.....	32
10.4 Magnitudo di riferimento da ZS9	39
11. PARAMETRI PER LA DETERMINAZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO	41
11.1 Categoria di sottosuolo	41
11.2 Condizioni topografiche	43
11.3 Valutazione dell'azione sismica di riferimento	43
11.4 Analisi del rischio di liquefazione	45
11.5 Verifica di liquefazione	46



12. SINTESI E CONCLUSIONI	52
13. BIBLIOGRAFIA	53
14. APPENDICE.....	55
14.1 Appendice 1: Report Indagine MASW	55
14.2 Appendice 2: Report prova penetrometrica CPTU3.....	55
14.3 Appendice 3: Report prova penetrometrica CPTU4.....	55



1. PREMESSA

La presente relazione geologica riguarda di un ponte monocampata in muratura ubicato a Sala Bolognese (BO), su via Zaccarelli, e scavalca il corso d'acqua Scolo Dosolo del Consorzio di Bonifica Renana (Figura 1.1).

Essa esamina i terreni sottiacenti l'opera dal punto di vista geologico, geotecnico e sismico, analizzando le eventuali criticità legate alla stabilità dell'opera rispetto ai terreni di fondazione e alle condizioni geologiche locali.



Figura 1.1 Ponte su Via Zaccarelli

Ai fini della formazione del quadro conoscitivo sull'area di interesse lo studio delle caratteristiche del sito è stato eseguito sulla base dei seguenti elementi:

- bibliografia e letteratura geologica di base sull'evoluzione dell'area e sulle formazioni geologiche presenti;
- Indagini geognostiche e geofisiche condotte nell'ambito del presente Progetto.



2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le normative di riferimento per lo svolgimento dell'attività sono le seguenti:

- Norme Tecniche per le costruzioni, D.M. 17/01/2018;
- L.R. n.4 del 22/01/1999, "Norme in materia di foreste e di assetto idrogeologico";
- Direttiva del Parlamento Europeo e del Consiglio n.2000/60/CE del 23/10/2000, "Quadro per l'azione comunitaria in materia di acque";
- O.P.C.M. n.3274 del 20/03/2003 e s.m.i., "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" e successive modifiche ed integrazioni;
- O.P.C.M. n.3519 del 28/04/2006, "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone".



3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Le coordinate geografiche del ponte sono:

- Latitudine: 44° 63' 60";
- Longitudine: 11° 26' 56".

Il ponte oggetto del presente studio è ubicato in un contesto di pianura alluvionale (Figura 3.1).

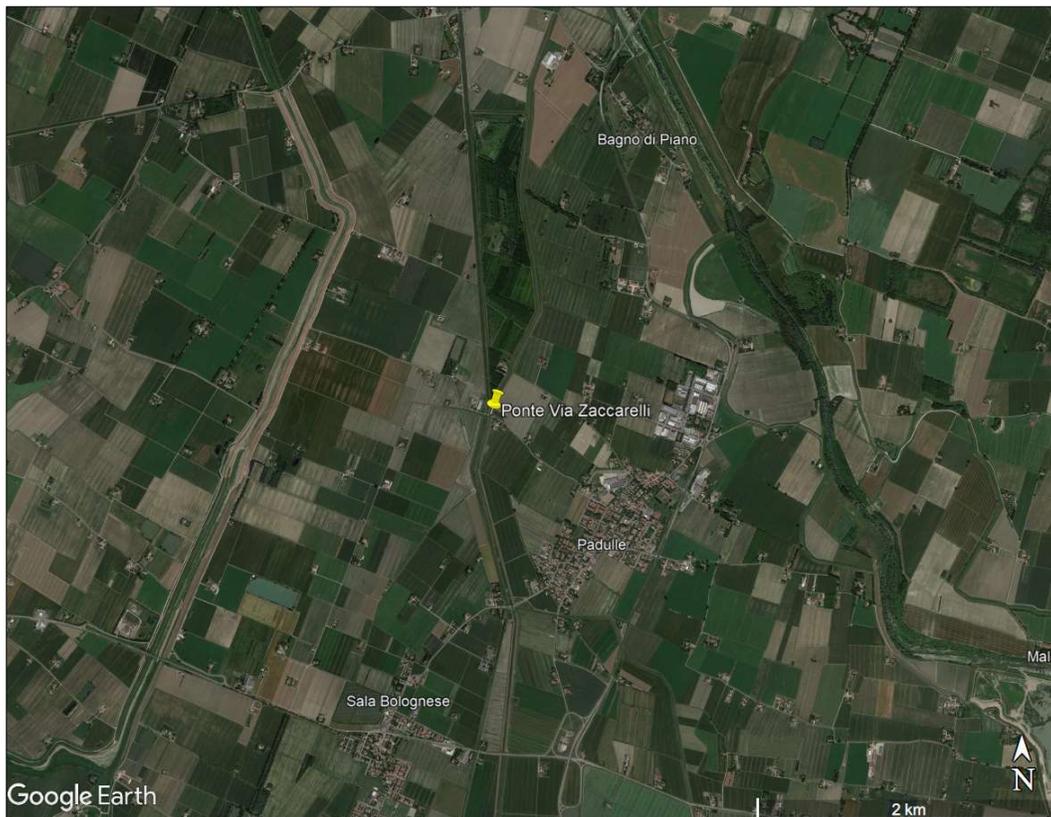


Figura 3.1 Inquadramento geografico del sito d'interesse e del ponte oggetto del Progetto



4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Dal Cretaceo fino ai giorni nostri la regione padana ed appenninica è stata soggetta ad alterne fasi di compressione e stasi tettoniche, instaurate dalle interazioni tra la microplacca dell'Arco Appenninico Settentrionale e della microplacca Adriatica.

Dall'Oligocene superiore inizia la formazione della catena appenninica settentrionale attraverso il meccanismo di sovrascorrimento della microplacca dell'Arco Appenninico Settentrionale a scapito della microplacca Adriatica e della sua copertura sedimentaria. In particolare, si possono riconoscere due stadi compressivi principali:

- primo stadio compressivo. Esso si sviluppa dall'Oligocene al Pliocene inferiore con la definizione della struttura dell'arco dell'Appennino Settentrionale (stadio collisionale) e la delimitazione del bacino perisuturale padano – adriatico (*Bally e Snelson, 1980*);
- secondo stadio compressivo. Esso si sviluppa a partire dal Pliocene medio coinvolgendo il margine meridionale del bacino perisuturale padano nel processo di strutturazione della catena appenninica. Il processo deformativo del margine meridionale del bacino perisuturale avviene tramite sovrascorrimenti, faglie, duplicazioni e pieghe in parte sepolte dalle coperture alluvionali quaternarie e in parte evidenti lungo il margine morfologico appenninico settentrionale.

Durante il Quaternario la crescente estensione delle terre emerse e soggette ad erosione consentì ai corsi d'acqua alpini ed appenninici di colmare di sedimenti il bacino padano conferendone l'attuale assetto e morfologia.

Il margine meridionale del bacino perisuturale padano è di tipo "complesso" (*Ricci Lucchi, 1986*) in quanto interessato da sovrascorrimenti, faglie, duplicazioni, pieghe e bacini che si estendono da est verso ovest interessando l'intera pianura emiliano romagnola (Figura 4.1).

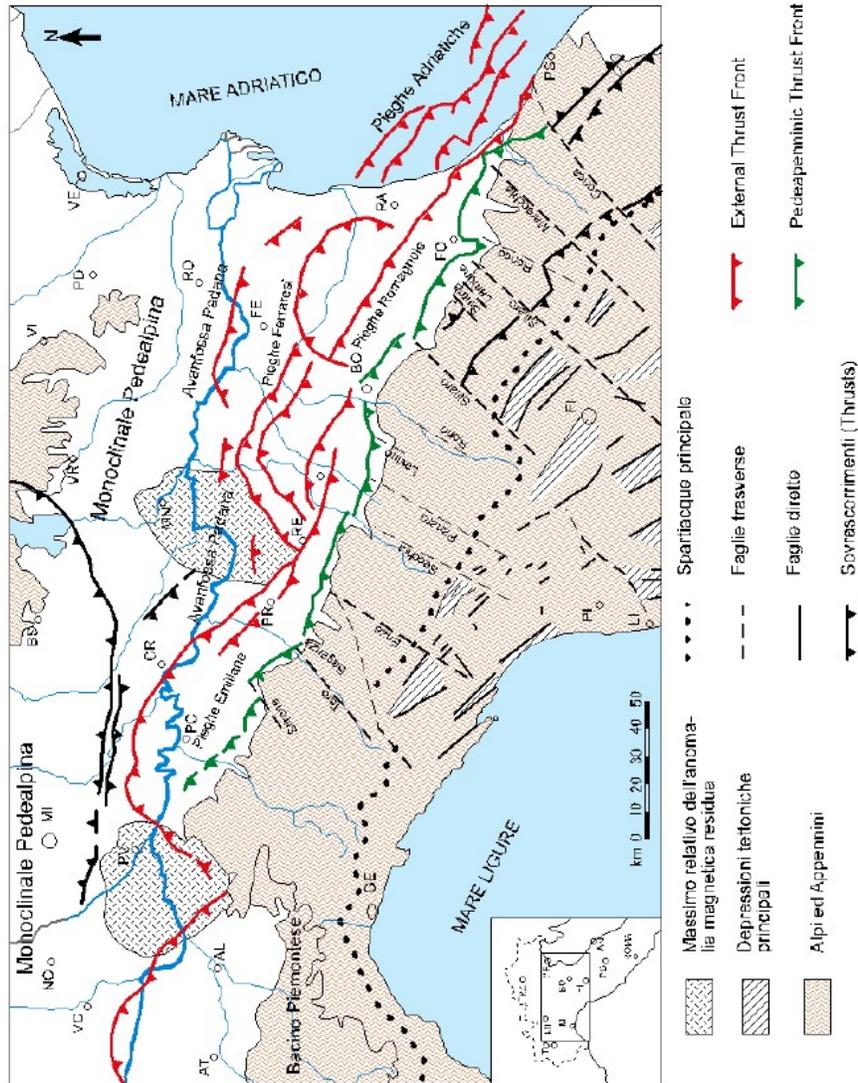


Figura 4.1 Struttura tettonica semplificata dell'Appennino settentrionale e dell'avanfossa padano - adriatica (AGIP, 1983; modificato)

In particolare, nel sottosuolo antistante il margine morfologico dell'Appennino settentrionale, dal Piemonte meridionale fino al limite orientale della Romagna, sono presenti due serie principali di thrusts a sviluppo sequenziale frontale. Essi costituiscono due sistemi di grandi pieghe asimmetriche con andamento anticlinalico formatesi attraverso



molteplici faglie inverse e sovrascorrimenti, immergenti S – SW con inclinazioni comprese tra i 15° e i 30°, che racchiudono un bacino satellite ad esse parallelo. Queste zone di scollamento sono note in letteratura con i nomi di External Thrust Front (ETF), sull'allineamento di Cremona, Parma, Reggio Emilia, Correggio, Mirandola, Ferrara e Ravenna, e Pedepenninic Thrust Front (PTF), lungo il margine morfologico dell'Appennino settentrionale.

L'External Thrust Front è un alto strutturale risultato dell'involuppo delle rampe frontali dei thrust sepolti. Esso esprime la zona di confine tra la Monoclinale pedalpina, a nord, e la Microplacca dell'Appennino settentrionale a sud.

Tra l'alto strutturale dell'External Thrust Front e le strutture embricate del Pedepenninic Thrust Front si trova una depressione definita bacino minore o satellite. Esso si estende nella zona antistante al margine morfologico dell'Appennino emiliano romagnolo allungandosi in direzione W – NW ed E – SE e presentando geometrie non costanti che esprimono settori strutturalmente svincolati tra loro in relazione all'andamento planimetrico delle strutture sepolte associate all'ETF e al PTF.

L'area di interesse si colloca in corrispondenza del bacino minore.



5. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Il sito d'interesse, ubicato a 22 m s.l.m. lungo il corso del Canale Dosolo e a breve distanza dal Collettore delle acque basse, si trova a 1,4 km a E del Fiume Samoggia e a 2,2 km ad W del Fiume Reno. La morfologia sub – pianeggiante dell'area è stata plasmata sia dai processi fluviali, che si sono susseguiti nel tempo, che dalle opere antropiche. In particolare, il sito d'interesse, come osservabile nella carta geomorfologica in Figura 5.1, è compreso tra un'area morfologicamente depressa e/o a debolissima pendenza e un'area morfologicamente depressa a deflusso idrico difficoltoso.



6. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Lo studio riguardante la caratterizzazione idrogeologica della Regione Emilia-Romagna di AGIP ha permesso di riconoscere tre diversi acquiferi (Figura 6.1):

- **Gruppo Acquifero C.** I depositi grossolani di origine marino – marginale e di delta – conoide ascritti a questo acquifero costituiscono Sistemi Acquiferi confinati di grande estensione, intercalati da barriere di permeabilità, con spessori superiori agli 8 m, e continuità; è possibile, infatti, correlare le barriere in tutta l'alta pianura piacentina. La profondità del Gruppo Acquifero C varia notevolmente a causa degli assi strutturali sepolti formati in seguito ai movimenti tettonici tardo – quaternari del Margine Appenninico Padano. Il tetto del Gruppo Acquifero C nell'area di interesse si trova a circa 200 m di profondità.
- **Gruppo Acquifero B.** Esso si presenta essere molto più complesso ed articolato del Gruppo Acquifero C in quanto non costituisce mai un acquifero freatico, monostrato e indifferenziato. Il tetto del Gruppo Acquifero B è ubicato alla profondità di 140 m dalla superficie topografica;
- **Gruppo Acquifero A.** Come il Gruppo Acquifero B, anche il Gruppo A non costituisce mai un acquifero freatico, monostrato e indifferenziato. Lo spessore dei sedimenti appartenenti a questo gruppo è di circa 140 m.

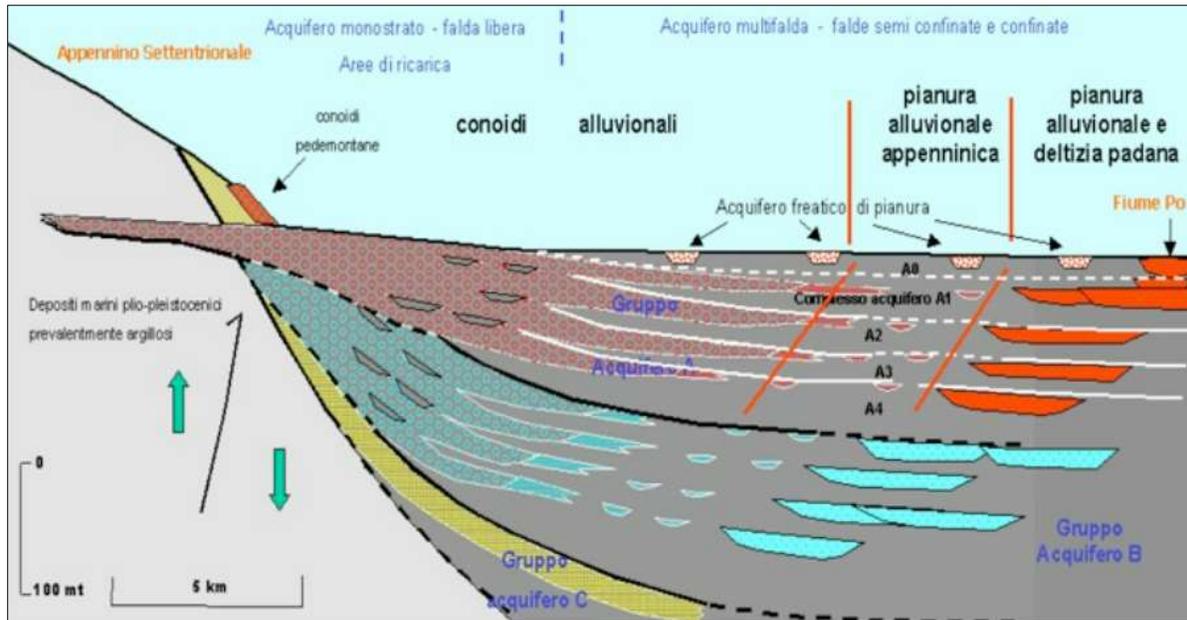


Figura 6.1 Schema spaziale rappresentativo dei Gruppi Acquiferi A, B e C (ARPA, 2009)

In particolare, nell'area di interesse la falda acquifera superficiale è caratterizzata da un flusso in direzione SE – NW e da una profondità di 19 m s. l. m. (Figura 6.2).



7. STRATIGRAFIA

Lo stralcio del Foglio 87 "Bologna" della Carta Geologica d'Italia, a scala 1:100'000 (Figura 7.1), mostra come l'area di interesse sia ubicata al di sopra di argille e terreni prevalentemente argillosi e di bonifica.



COMUNE DI SALA BOLOGNESE - CITTA' METROPOLITANA DI BOLOGNA
VERIFICA SISMICA E PROGETTAZIONE DI INTERVENTI DI MANUTENZIONE
STRAORDINARIA PER LA MESSA IN SICUREZZA DI PONTI COMUNALI
Relazione geologica Ponte Via Zaccarelli

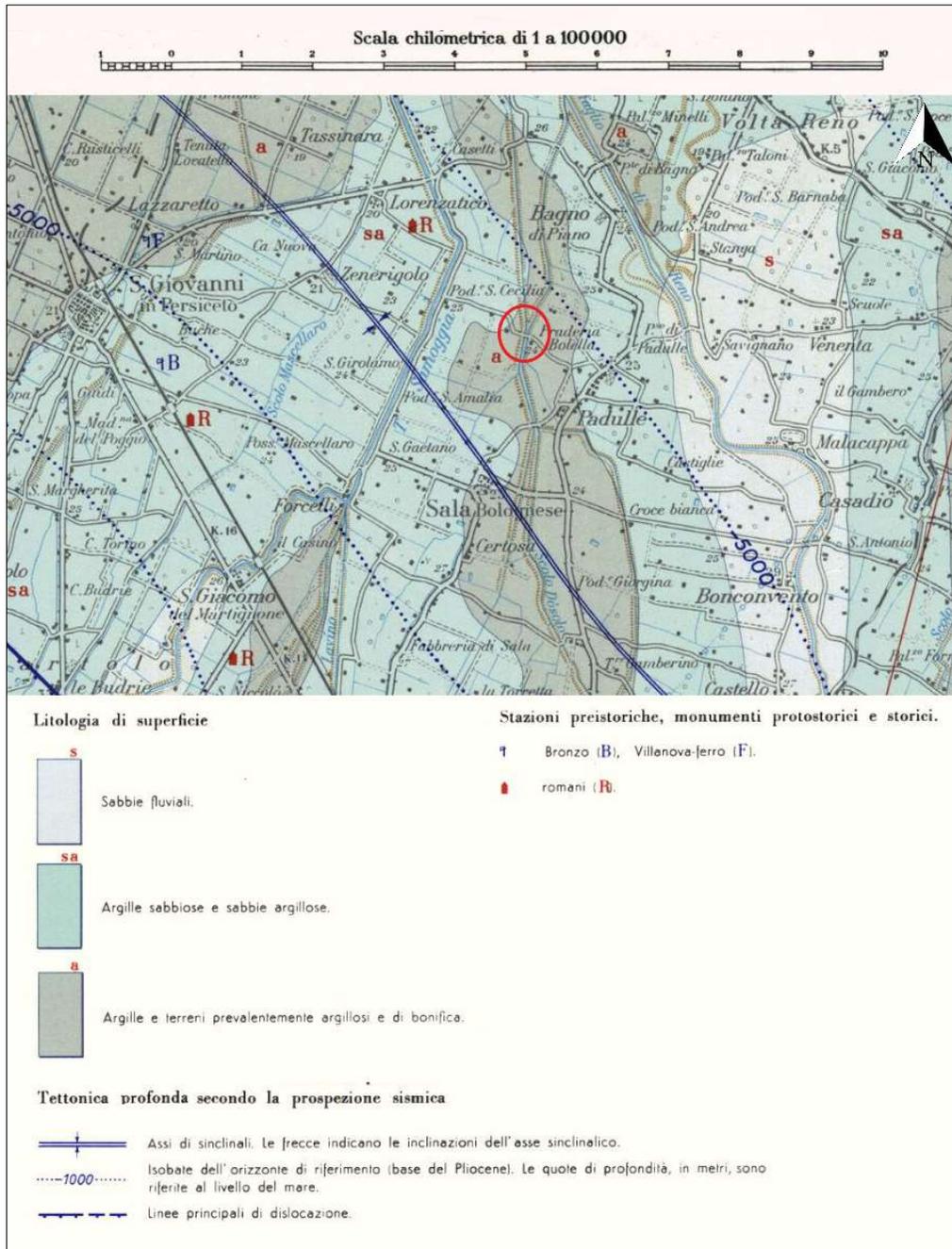


Figura 7.1 Stralcio della Carta Geologica d'Italia a scala 1:100'000. Il cerchio rosso indica il sito d'interesse [Foglio 87 Bologna]



Lo stralcio del Foglio 202 "San Giovanni in Persiceto" della Carta Geologica d'Italia, a scala 1:50'000 (Figura 7.2), permette di identificare i terreni sottostanti al sito d'interesse come appartenenti all'**Unità di Modena** facente parte del **Subsistema di Ravenna**.

Il subsistema di Ravenna, datato al Pleistocene superiore – Olocene, è costituito dai sedimenti, prevalentemente fini, depositi in condizioni di piana alluvionale durante l'ultimo postglaciale, in parte al di sopra dell'esteso corpo ghiaioso e sabbioso dell'unità di Vignola. I depositi del subsistema di Ravenna sono caratterizzati da sabbie, limi e argille di canale, argine, rotta fluviale e piana inondabile. Il tetto del subsistema corrisponde con il piano topografico e presenta suoli con diverso grado di alterazione. Lo spessore del subsistema di Ravenna è di circa 20 – 22 m, riducendosi poi fino a 15 m spostandosi verso NE.

L'unità di Modena, facente parte del subsistema di Ravenna, comprende i depositi più superficiali e recenti del Foglio 202 "San Giovanni in Persiceto". L'unità è definita dalla presenza al tetto di un suolo a bassissimo grado di alterazione con profilo di alterazione inferiore a 100 cm, non decarbonatato. La porzione basale dell'unità è costituita da depositi palustri e di piana inondabile sui quali aggradano sabbie, limi e argille di canale, argine, rotta fluviale e piana inondabile. La base dell'unità di Modena è datata a circa 1480 ± 80 anni fa. Lo spessore dell'unità varia tra i 5 e i 12 m.



COMUNE DI SALA BOLOGNESE - CITTA' METROPOLITANA DI BOLOGNA
VERIFICA SISMICA E PROGETTAZIONE DI INTERVENTI DI MANUTENZIONE
STRAORDINARIA PER LA MESSA IN SICUREZZA DI PONTI COMUNALI
Relazione geologica Ponte Via Zaccarelli

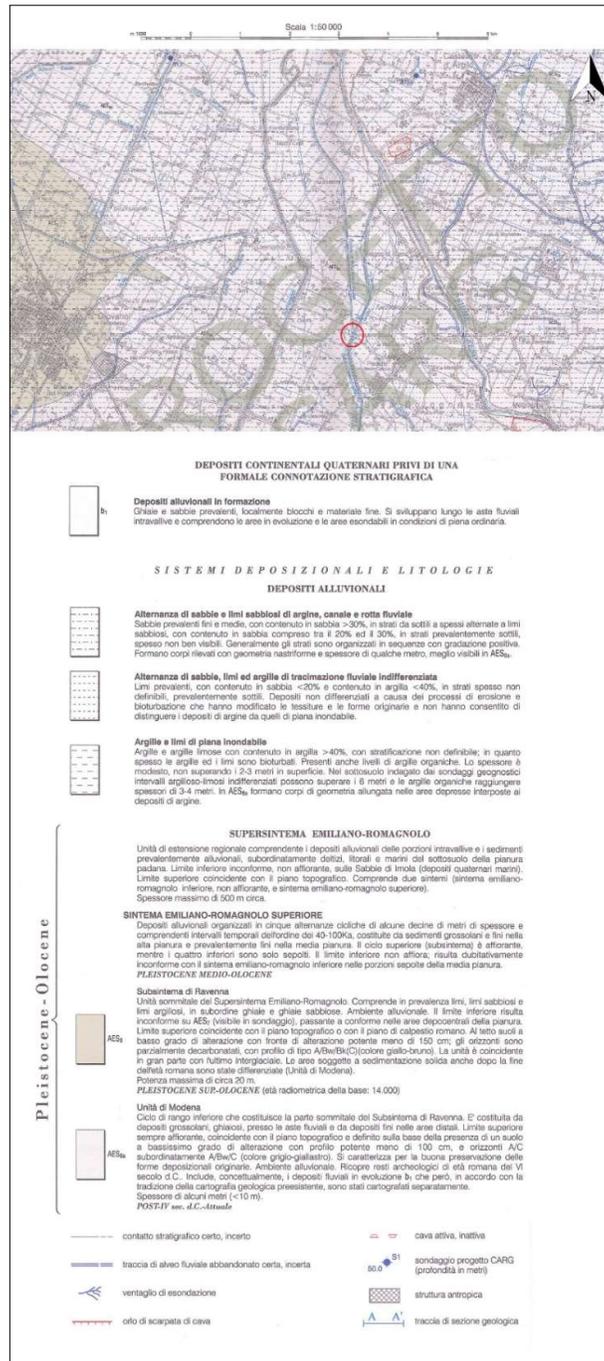


Figura 7.2 Stralcio della Carta Geologica d'Italia a scala 1:50'000. Il cerchio rosso indica il sito d'interesse [Foglio 202 San Giovanni in Persiceto]



In particolare, lo stralcio della carta geologica a scala 1:10'000 (Figura 7.3), redatta dalla Regione Emilia-Romagna, evidenzia una sostanziale congruenza con quanto dedotto dalla carta geologica a scala 1:50'000, collocando il sito d'interesse al di sopra dei depositi appartenenti all'unità di Modena.

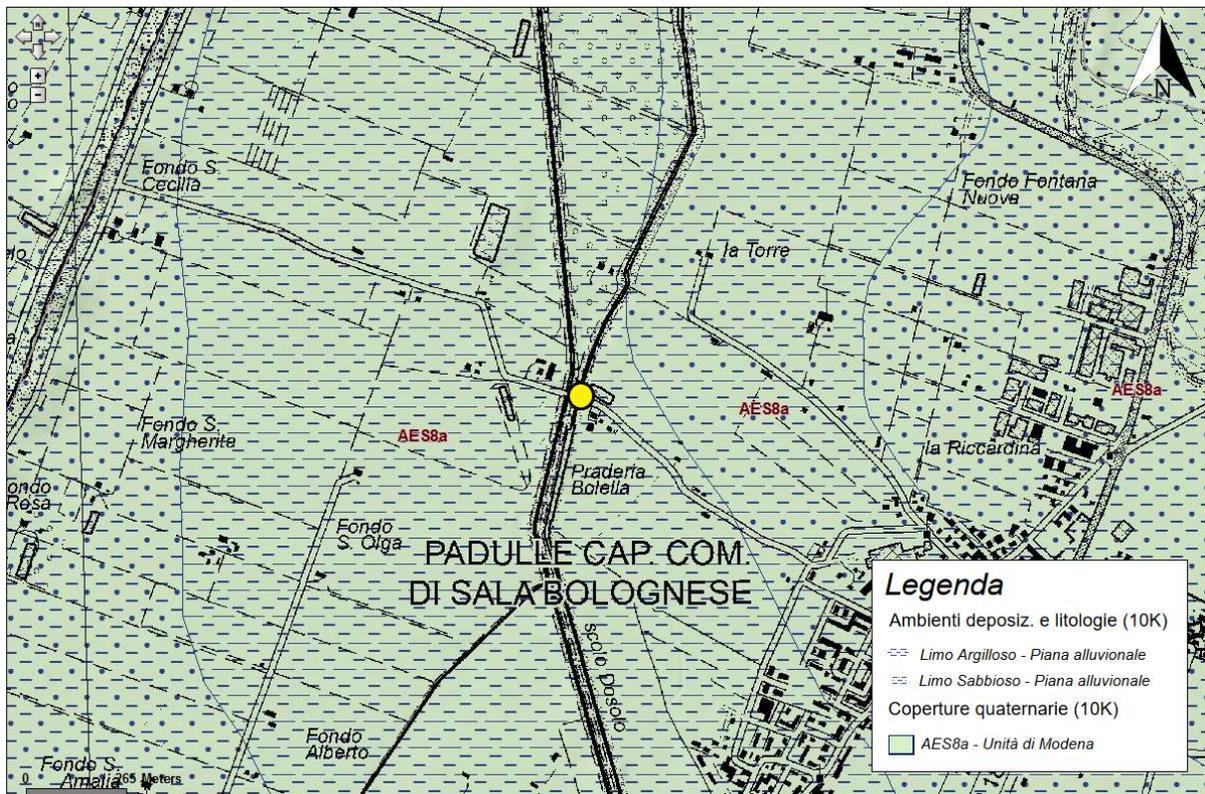


Figura 7.3 Stralcio della Carta Geologica a scala 1:10'000, con indicazione (cerchio giallo) dell'area d'interesse [Cartografia Geologica della Regione Emilia Romagna; https://geo.regione.emilia-romagna.it/cartografia_sgss/user/viewer.jsp?service=geologia]



8. INDAGINI GEOGNOSTICHE

I dati geognostici a supporto del presente studio derivano dalle risultanze della campagna di indagini geognostica e sismica in sito realizzata nel mese di febbraio del 2022 da SOCOTEC ITALIA srl.

8.1 Assetto geologico e litostratigrafico di sito

In questa campagna di indagini sono state realizzate diverse prove di seguito elencate:

- n. 1 indagini sismiche MASW;
- n. 2 indagini penetrometriche statiche.

In Figura 8.1-Figura 8.2 e Figura 8.3-Figura 8.4 vengono riportate le ubicazioni delle prove geognostiche e geofisiche comprese all'interno della campagna di indagini 2022.

In appendice 1, 2 e 3 i report delle indagini eseguite.

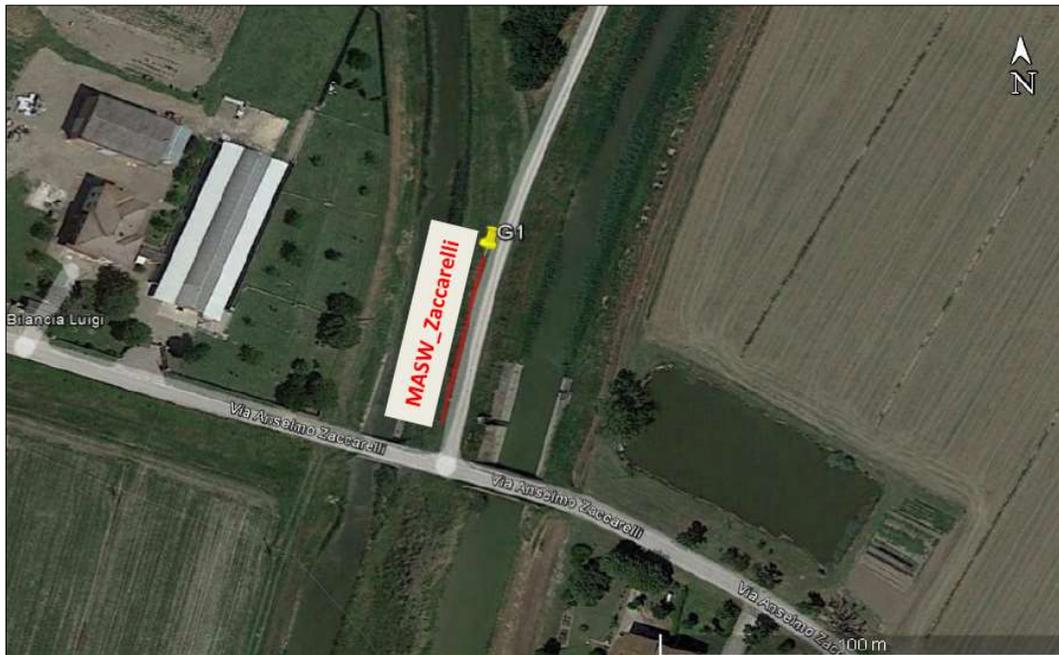


Figura 8.1 Ubicazione della prova MASW



Figura 8.2 Particolari della realizzazione delle indagini geofisiche realizzate per la campagna di indagini 2022



Figura 8.3 Particolari della realizzazione dell'indagine penetrometrica statica CPTU3



Figura 8.4 Particolari della realizzazione dell'indagine penetrometrica statica CPTU4



9. MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO

Con riferimento ai risultati delle indagini in sito disponibili descritte al capitolo precedente, sono state individuate, limitatamente all'area di studio, n.2 unità stratigrafiche. Il riconoscimento delle litologie è stato effettuato attraverso l'interpretazione delle prove geognostiche. A partire da piano campagna di individuano:

Unità 1: Unità costituita dall'alternanza di argille-argille limose e argille ad molto compatte (spessore da 0 a circa 5 m da pc; localmente può raggiungere anche una profondità maggiore fino anche i 10 m da pc)

Unità 2: Unità costituita da alternanze di argille sabbioso-limose ed argille a bassa consistenza (spessore da circa 5 m fino alla massima profondità indagata)

Le unità sopradescritte, dato il contesto geologico di ampia pianura alluvionale, contraddistinto da una forte eterogeneità sia laterale che verticale, possono subire localmente delle variazioni in termini di spessore.

9.1 Livello piezometrico

Attraverso le indagini geognostiche effettuate nell'area è stato possibile localizzare la profondità del livello di falda che, nel caso in esame, si attesta circa a 5 m da pc.



10. SISMICITÀ

10.1 Classificazione sismica e pericolosità sismica di base

La classificazione sismica del territorio nazionale è stata elaborata e rivista in seguito ai principali terremoti, tra questi, in particolare, quelli verificatesi in Irpinia nel 1980 ed in Molise nel 2002.

Fino al 2003 il territorio nazionale era classificato in tre categorie sismiche a diversa severità. I Decreti Ministeriali emanati dal Ministero dei Lavori Pubblici tra il 1981 ed il 1984 avevano classificato complessivamente 2965 comuni italiani su un totale di 8.102, corrispondenti al 45% della superficie del territorio nazionale, nel quale risiede il 40% della popolazione; la sismicità era definita attraverso il grado di sismicità S.

Nel 2003, sono stati emanati i criteri di nuova classificazione sismica, basati sugli studi e le elaborazioni più recenti relative alla pericolosità sismica del territorio, ossia sull'analisi della probabilità che il territorio venga interessato, in un certo intervallo di tempo (generalmente 50 anni) da un evento che superi una determinata soglia di intensità o magnitudo. A tal fine è stata pubblicata l'Ordinanza Del Presidente Del Consiglio Dei Ministri n.3274 del 20 marzo 2003, sulla Gazzetta Ufficiale n.105 dell'8 maggio 2003. Il provvedimento detta i principi generali sulla base dei quali le Regioni, a cui lo Stato ha delegato l'adozione della classificazione sismica del territorio (Decreto Legislativo n.112 del 1998 e Decreto del Presidente della Repubblica n.380 del 2001 – "Testo Unico delle Norme per l'Edilizia"), hanno compilato l'elenco dei Comuni con la relativa attribuzione ad una delle quattro zone (da 1 a 4), a pericolosità decrescente, nelle quali è stato classificato il territorio nazionale.

Per quanto riguarda la Regione Emilia-Romagna, attraverso la DGR 1164 del 23/07/2018, è stato approvato l'aggiornamento della classificazione sismica di prima applicazione dei comuni dell'Emilia-Romagna. Questa delibera suddivide il territorio regionale in due zone: Zona 2 e Zona 3. L'area del Comune di Sala Bolognese ricade all'interno della zona 3, come visibile nella Figura 10.1.

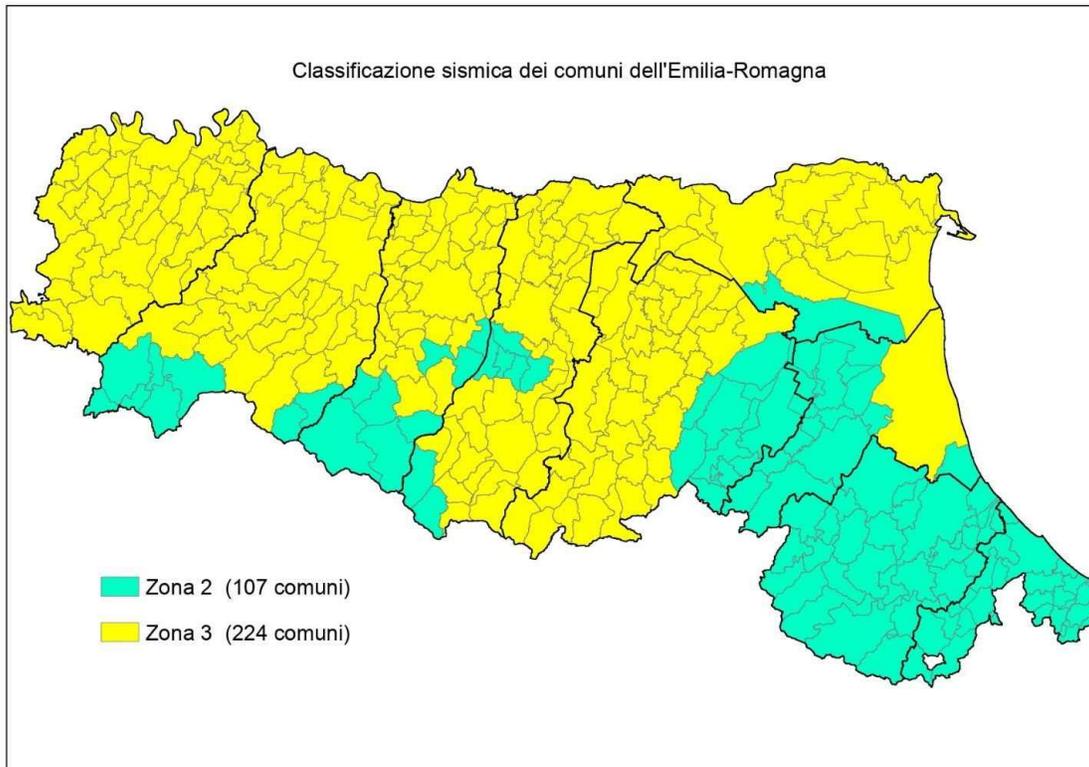


Figura 10.1 Classificazione sismica dei comuni dell'Emilia-Romagna

Le novità introdotte con l'ordinanza sono state pienamente recepite e ulteriormente affinate, grazie anche agli studi svolti dai centri di competenza (INGV, Reluis, Eucentre). Un aggiornamento dello studio di pericolosità di riferimento nazionale (Gruppo di Lavoro, 2004) previsto dall'OPCM 3274/03, è stato adottato con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei ministri n.3519 del 28 aprile 2006.

Il nuovo studio di pericolosità. Allegato all'OPCM n.3519, ha fornito alle Regioni uno strumento aggiornato per la classificazione del proprio territorio, introducendo degli intervalli di accelerazione (a_g) con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, da attribuire alle quattro zone sismiche (Tabella 10-1). Le Norme Tecniche per le Costruzioni del 14 gennaio 2008 hanno modificato il ruolo che la classificazione sismica aveva ai fini progettuali: per ciascuna zona, e quindi per ciascun comune, precedentemente veniva fornito un valore di accelerazione di picco e quindi di spettro di risposta elastico da utilizzare per il calcolo delle azioni sismiche.



Dal 1° luglio 2009 con l'entrata in vigore delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008, per ogni costruzione ci si deve riferire ad una accelerazione di riferimento "propria" individuata sulla base delle coordinate geografiche dell'area di progetto ed in funzione della vita nominale dell'opera. Un valore di pericolosità di base, dunque, definito per ogni punto del territorio nazionale, su una maglia quadrata di 5 km di lato, indipendentemente dai confini amministrativi comunali.

Tabella 10-1 Valori di accelerazione massima del suolo a_g con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferito a suoli rigidi caratterizzati da $V_S,30 > 800$ M/S

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g/g)	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche, a_g/g)
1	>0.25	0.35
2	$0.15 \div 0.25$	0.25
3	$0.05 \div 0.15$	0.15
4	<0.05	0.05

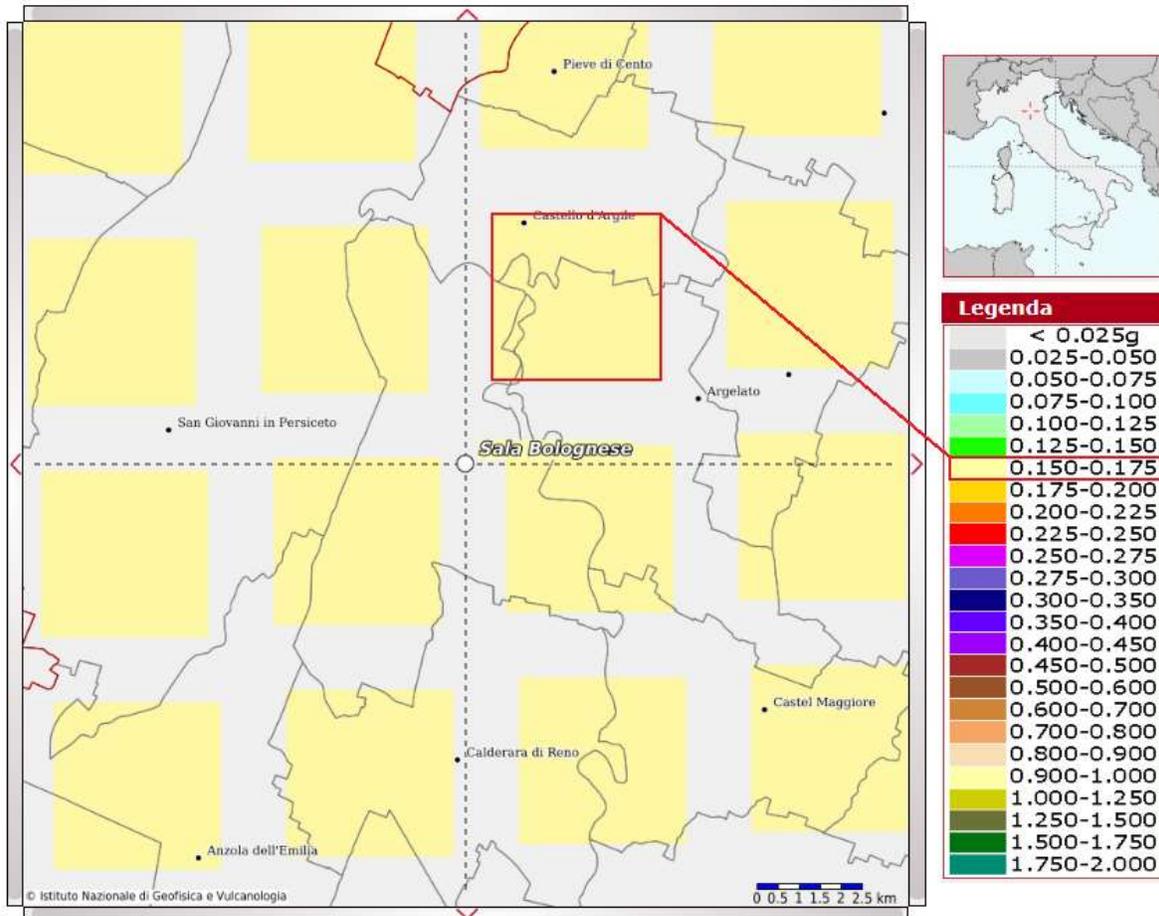


Figura 10.2 Mappa di pericolosità sismica di come espressa in termini di accelerazione massima del suolo (a_{max}) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli molto rigidi (VS,30>800 m/s). Da INGV (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>).

Nella seguente Tabella 10-2 vengono forniti per i periodi di ritorno TR 30 anni, 50 anni, 72 anni, 101 anni, 140 anni, 201 anni, 475 anni, 975 anni e 2475 anni, i valori dei parametri a_g , F_0 e T_c^* da utilizzare per definire l'azione sismica nei diversi stati limite considerati.

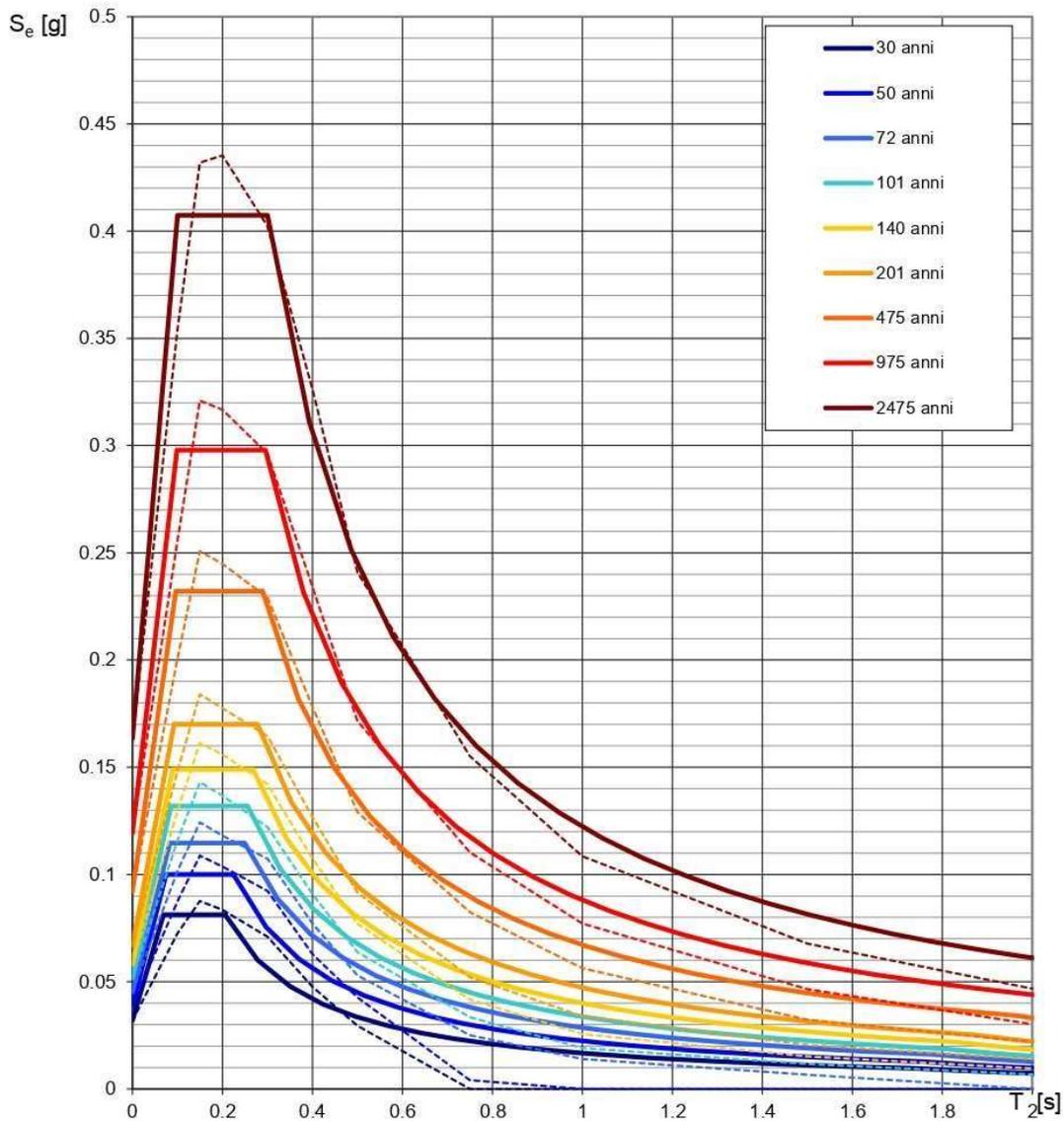


Tabella 10-2 Valori dei parametri di a_g , F_o e T_c^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento.

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
30	0.032	2.534	0.206
50	0.039	2.576	0.224
72	0.045	2.537	0.249
101	0.052	2.551	0.256
140	0.058	2.570	0.269
201	0.067	2.545	0.278
475	0.092	2.521	0.289
975	0.119	2.497	0.295
2475	0.163	2.494	0.300



Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R di riferimento

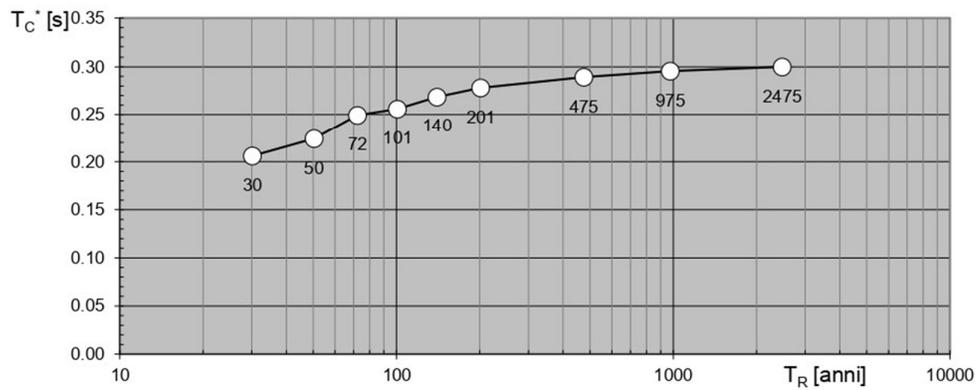
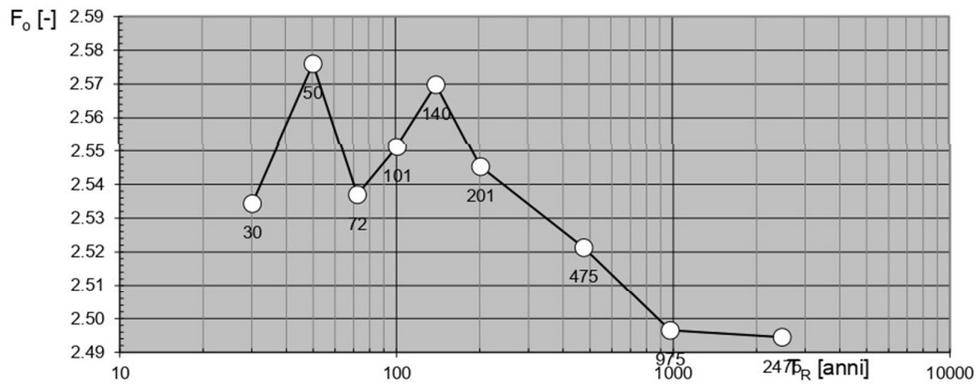
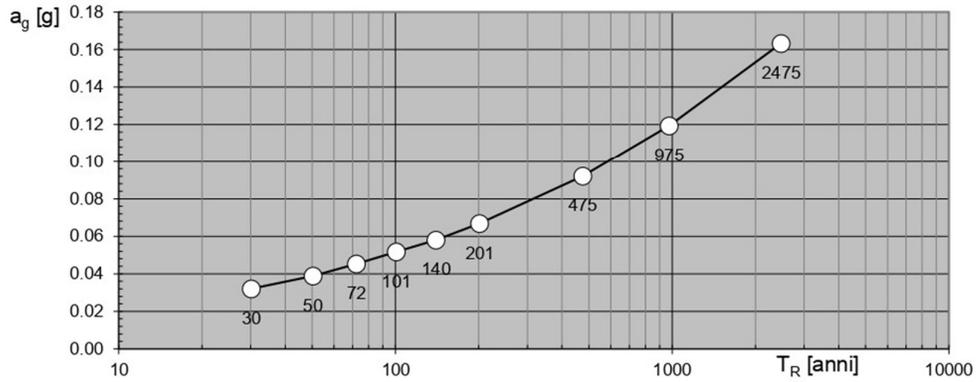


NOTA:

Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.



Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* : variabilità col periodo di ritorno T_R





10.2 Sismicità storica

Al fine di inquadrare dal punto di vista della sismicità storica l'area in esame, si riporta di seguito un riepilogo delle osservazioni macrosismiche di terremoti al di sopra della soglia del danno che hanno interessato storicamente il Comune di Sala Bolognese.

Nello specifico, le informazioni riportate di seguito derivano dalla consultazione del DBMI15 (Locati et al., 2016), il database macrosismico utilizzato per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15 (Rovida et al., 2022, consultabile on-line al sito: <https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>).

Nella successiva Tabella 10-3 sono indicati con i seguenti simboli:

Is = Intensità in sito (MCS);

Anno= anno, Me=mese, Gi=giorno, Or=ora, Mi=minuto e Se=secondo;

NMDP= numero di osservazioni macrosismiche del terremoto;

Io= Intensità massima (MCS);

Mw= Magnitudo di riferimento.

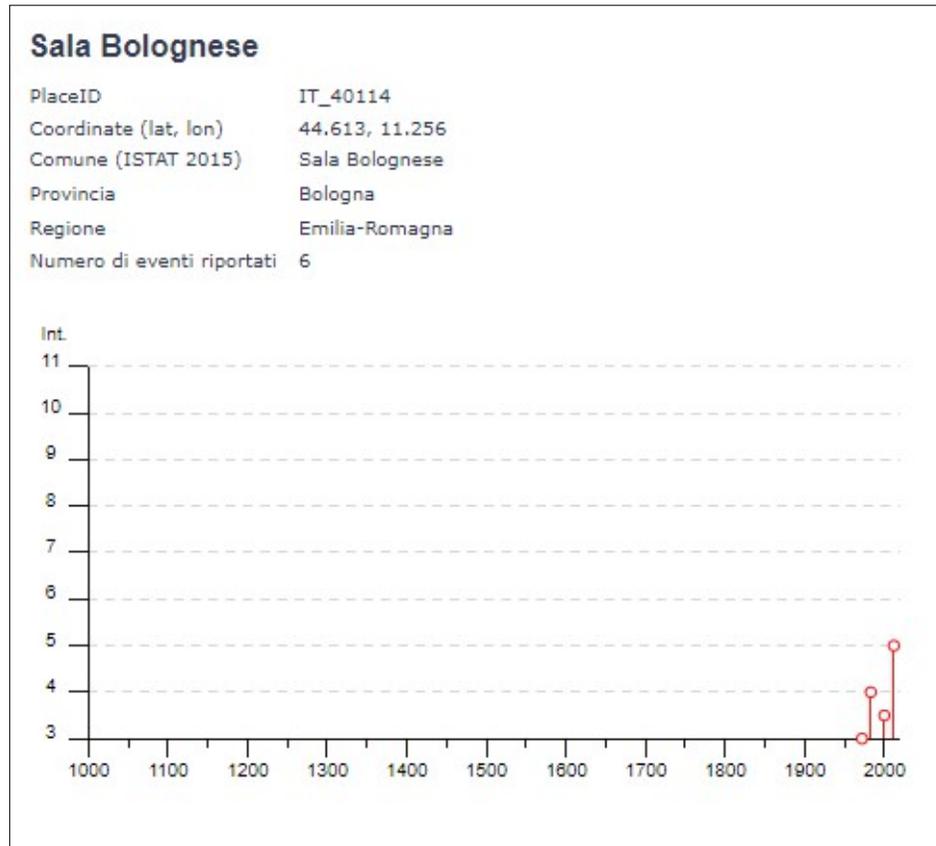


Figura 10.3 Storia sismica del Comune di Sala Bolognese

Tabella 10-3 Storia sismica del Comune di Sala Bolognese

Effetti	In occasione del terremoto del							NMDP	Io	Mw
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale			
3	1972	10	25	21	56	1	Appennino settentrionale	198	5	4.87
4	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7	5.04
NF	1992	04	17	11	59	0	Appennino bolognese	56	4-5	4.11
3-4	2000	06	18	07	42	0	Pianura emiliana	304	5-6	4.40
NF	2002	06	18	22	23	3	Frignano	186	4	4.30
5	2012	05	29	07	00	0	Pianura emiliana	87	7-8	5.90



10.3 Sorgenti sismogenetiche

Recentemente è stata presentata la nuova versione (vers. 3.3) del database "A compilation of Potential Sources for Earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas", inizialmente divulgato in forma preliminare nel luglio 2000 come versione 1.0 quindi pubblicato nel 2001 come versione 2.0 (*Valensise & Pantosti, 2001*).

Il database contiene sorgenti sismogenetiche individuali e composite ritenute in grado di generare grandi terremoti. La nuova versione del database contiene oltre 100 sorgenti sismogenetiche identificate attraverso studi geofisici (70% in più rispetto alla precedente versione). Tali sorgenti ricadono sull'intero territorio e su alcune regioni confinanti.

L'assetto di queste sorgenti fornisce informazioni sull'andamento dei maggiori sistemi di faglie attive, consentendo in alcuni casi di individuare aree di potenziale gap sismico.

Obiettivo del database è quello di rendere quanto più possibile completa l'informazione sulle sorgenti sismogenetiche potenziali del territorio nazionale; per questa ragione, oltre ad un numero maggiore di sorgenti individuali, viene proposta una forma di rappresentazione e caratterizzazione di tutte le aree, che, pur essendo certamente in grado di generare forti terremoti, sono ancora poco comprese. È stata pertanto istituita una nuova categoria di aree sismogenetiche per le quali, in analogia con quanto proposto dalla nuova zonazione sismogenetica ZS9 (*Meletti & Valensise, 2004*), viene fornita la localizzazione geografica, la stima del meccanismo di fagliazione, la profondità efficace e la magnitudo massima attesa.

Dall'esame del Database of Individual Seismogenic Source (*DISS Working Group, 2022*) dell'INGV, si osserva che il territorio comunale di Sala Bolognese, ed in particolare il sito oggetto del presente Progetto, si trova a circa 33 km a NE della Sorgente Sismogenetica Composita (CSS), ovvero la ITCS046 "Langhirano – Sassuolo", a circa 17 km a N delle Sorgenti Sismogenetiche Individuali ITIS103 "Crespellano" e ITIS091 "Casalecchio di Reno", facenti parte della Sorgente Sismogenetica Composita ITCS047 "Castelvetro di Modena –



Castel San Pietro Terme, a circa 26 km a SE della Sorgente Sismogenetica Individuale ITIS107 "Mirandola", facente parte della Sorgente Sismogenetica Composita ITCS051 "Carpi – Poggio Renatico" e a circa 22 km a S della Sorgente Sismogenetica Individuale ITIS134 "Finale Emilia", facente parte della Sorgente Sismogenetica Composita ITCS103 "Finale Emilia – Mirabello" (Figura 10.4; Figura 10.5; Figura 10.6; Figura 10.7; Figura 10.8; Figura 10.9).

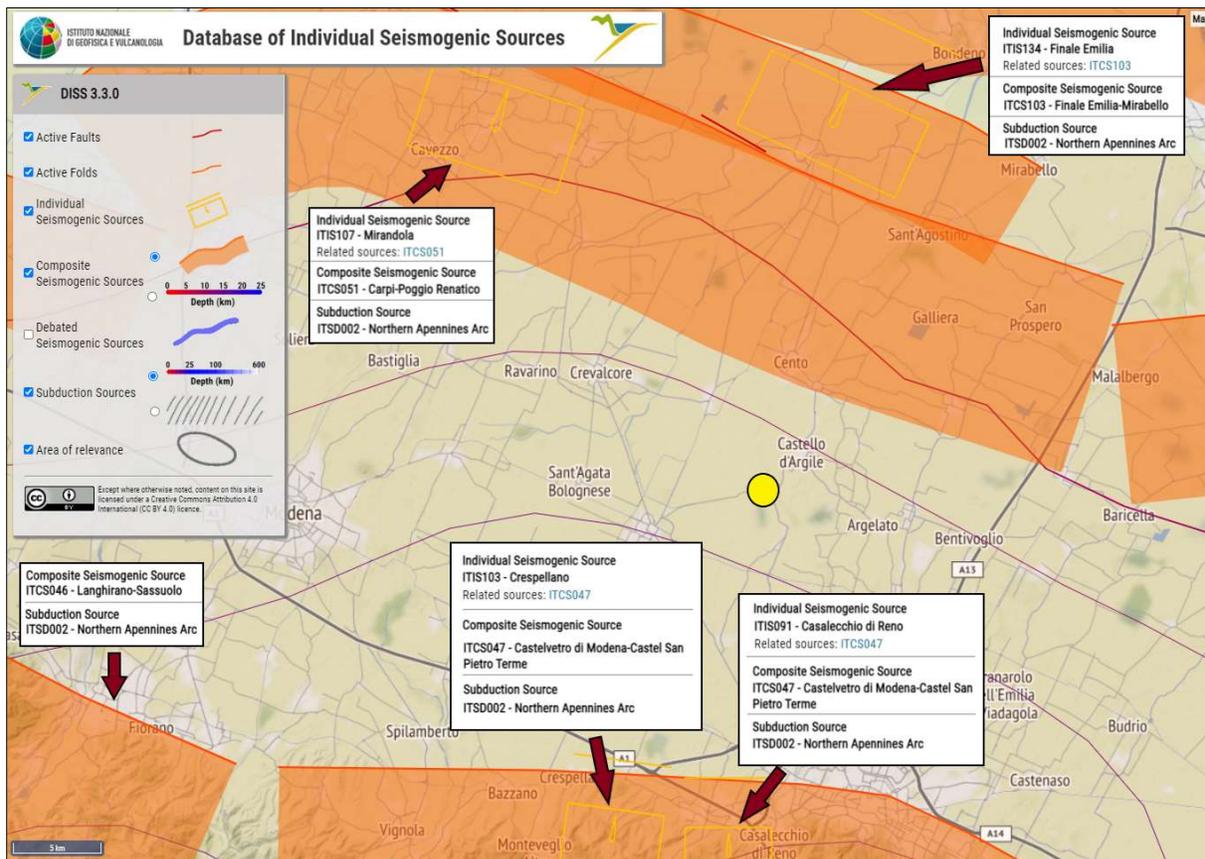


Figura 10.4 Stralcio del DISS 3.3.0 (<https://diss.ingv.it/diss330/dissmap.html>) in cui si osservano le sorgenti sismogenetiche nei pressi dell'area di interesse, inquadrata in giallo



ISTITUTO NAZIONALE
DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

Database of Individual Seismogenic Sources



DISS 3.3.0

INDIVIDUAL SEISMOGENIC SOURCES

COMPOSITE SEISMOGENIC SOURCES

DEBATED SEISMOGENIC SOURCES

SUBDUCTION SOURCES

WEB MAPPER

COMPOSITE SEISMOGENIC SOURCES *i*

Information Commentary Pictures References

GENERAL INFORMATION

DISS-ID	ITCS046
Name	Langhirano-Sassuolo
Compiler(s)	Burrato P.(1)
Contributor(s)	Burrato P.(1), Basili R.(1)
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sezione Roma 1; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy
Created	08/01/2005
Updated	25/06/2015
Display map	
Related sources	

PARAMETRIC INFORMATION

Parameter	Quality	Evidence
Min depth [km]	2.0	OD Based on geological data from various authors.
Max depth [km]	8.0	OD Based on geological data from various authors.
Strike [deg] min... max	95...120	OD Based on geological data from various authors.
Dip [deg] min... max	20...40	OD Based on geological data from various authors.
Rake [deg] min... max	80...100	EJ Inferred from regional geological data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.2400... 0.6300	EJ Inferred from geological data by Ponza et al. (2010) and Gunderson et al. (2013)
Max Magnitude [Mw]	6.8	ER Estimated from Leonard's (2014) scaling relations.

OD-Original Data; OB-Original Data; EB-Empirical Relationship; EB-Technical Relationship; EJ-Expert Judgment

Figura 10.5 Scheda di riferimento contenente le informazioni generali e parametriche della ITCS046 "Langhirano – Sassuolo"



DISS 3.3.0

INDIVIDUAL SEISMOGENIC SOURCES

COMPOSITE SEISMOGENIC SOURCES

DEBATED SEISMOGENIC SOURCES

SUBDUCTION SOURCES

WEB MAPPER

INDIVIDUAL SEISMOGENIC SOURCES *i*

Information Commentary Pictures References

GENERAL INFORMATION

DISS-ID ITIS103

Name Crespellano

Compiler(s) Burrato P.(1), Vannoli P.(1), Rovida A.(2)

Contributor(s) Burrato P.(1), Vannoli P.(1), Rovida A.(2)

Affiliation(s) 1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sezione Roma 1; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy
2) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sezione di Milano; Via Bassini 15, 20133 Milano, Italy

Created 11/09/2007

Updated 11/09/2007

Display map

Related sources [ITCS047](#)

PARAMETRIC INFORMATION

Parameter	Quality	Evidence
Location [Lat/Lon]	44.48 / 11.16 OD	Based on macroseismic, geological and geomorphological observations.
Length [km]	5.6 OD	Based on geological and geomorphological observations.
Width [km]	4.3 ER	Calculated using the relationships from Wells and Coppersmith (1994).
Min depth [km]	2.0 OD	Based on geological and geomorphological observations.
Max depth [km]	4.5 OD	Based on geological and geomorphological observations.
Strike [deg]	98 OD	Based on geological and geomorphological observations.
Dip [deg]	35 OD	Based on geological and geomorphological observations.
Rake [deg]	90 EJ	Inferred from geological data, constrained by orientation of T axes.
Slip Per Event [m]	0.40 ER	Calculated from Mo using the relationship from Hanks and Kanamori (1979).
Slip rate [mm/y] min...max	0.1000... 0.5000 EJ	Unknown, values assumed from geodynamic constraints.
Recurrence [y] min... max	800... 4000 EJ	Inferred from slip rate and average displacement.
Magnitude [Mw]	5.6 LD	Value adopted from the historical earthquake catalogue CPTI04.

LD=Literature Data; OD=Original Data; ER=Empirical Relationship; AR=Analytical Relationship; EJ=Expert Judgement

Figura 10.6 Scheda di riferimento contenente le informazioni generali e parametriche della ITIS103 "Crespellano"



DISS 3.3.0

INDIVIDUAL SEISMOGENIC SOURCES

COMPOSITE SEISMOGENIC SOURCES

DEBATED SEISMOGENIC SOURCES

SUBDUCTION SOURCES

WEB MAPPER

CC BY

INDIVIDUAL SEISMOGENIC SOURCES **i**

Information Commentary Pictures References

GENERAL INFORMATION

DISS-ID ITIS091

Name Casalecchio di Reno

Compiler(s) Vannoli P.(1), Burrato P.(1)

Contributor(s) Burrato P.(1), Vannoli P.(1), Rovida A.(2)

Affiliation(s) 1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sezione Roma 1; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy
2) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sezione di Milano; Via Bassini 15, 20133 Milano, Italy

Created 05/11/2005

Updated 11/09/2007

Display map

Related sources [ITCS047](#)

PARAMETRIC INFORMATION

Parameter	Quality	Evidence
Location [Lat/Lon]	44.47 / 11.24 OD	Based on macroseismic, geological and geomorphological observations.
Length [km]	5.0 OD	Based on geological and geomorphological observations.
Width [km]	3.9 ER	Calculated using the relationships from Wells and Coppersmith (1994).
Min depth [km]	2.0 OD	Based on geological and geomorphological observations.
Max depth [km]	4.2 OD	Based on geological and geomorphological observations.
Strike [deg]	90 OD	Based on geological and geomorphological observations.
Dip [deg]	35 OD	Based on geological and geomorphological observations.
Rake [deg]	90 EJ	Inferred from geological data, constrained by orientation of T axes.
Slip Per Event [m]	0.40 ER	Calculated from Mo using the relationship from Hanks and Kanamori (1979).
Slip rate [mm/y] min...max	0.1000... 0.5000 EJ	Unknown, values assumed from geodynamic constraints.
Recurrence [y] min... max	800... 4000 EJ	Inferred from slip rate and average displacement.
Magnitude [Mw]	5.5 LD	Value adopted from the historical earthquake catalogue CPTI04.

LD=Literature Data; OD=Original Data; ER=Empirical Relationship; AR=Analytical Relationship; EJ=Expert Judgement

Figura 10.7 Scheda di riferimento contenente le informazioni generali e parametriche della ITIS091 "Casalecchio di Reno"



DISS 3.3.0

INDIVIDUAL SEISMOGENIC SOURCES

COMPOSITE SEISMOGENIC SOURCES

DEBATED SEISMOGENIC SOURCES

SUBDUCTION SOURCES

WEB MAPPER

INDIVIDUAL SEISMOGENIC SOURCES *i*

Information Commentary Pictures References

GENERAL INFORMATION

DISS-ID ITIS107

Name Mirandola

Compiler(s) Burrato P.(1), Vannoli P.(1)

Contributor(s) Burrato P.(1), D'Ambrogi C.(2), Maesano F.E.(1), Toscani G.(3), Vannoli P.(1)

Affiliation(s) 1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sezione Roma 1; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy
2) Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale; Servizio Geologico d'Italia; Via Vitaliano Brancati, 48, 00144 Roma, Italy
3) Università di Pavia; Dipartimento di Scienze della Terra e dell'Ambiente; Via Ferrara, 1, 27100 Pavia, Italy

Created 31/01/2001

Updated 17/10/2013

Display map

Related sources [ITCS051](#)

PARAMETRIC INFORMATION

Parameter	Quality	Evidence
Location [Lat/Lon]	44.85 / 11.07 LD	Based on seismological, geodetic and geological data.
Length [km]	9.0 LD	Based on geological, geodetic and seismological data.
Width [km]	5.9 ER	Calculated using the relationships from Wells and Coppersmith (1994).
Min depth [km]	4.0 LD	Based on seismological, geodetic and geophysical data.
Max depth [km]	7.0 LD	Based on seismological, geodetic and geophysical data.
Strike [deg]	108 LD	Based on modelling of SAR and geological data.
Dip [deg]	30 LD	Based on seismological and geophysical data.
Rake [deg]	90 LD	Based on seismological data.
Slip Per Event [m]	0.40 LD	Based on seismological data and SAR modelling.
Slip rate [mm/y] min...max	0.5000... 1.0400 LD	Based on geological data from Maesano et al. (2015).
Recurrence [y] min... max	385... 800 AR	Inferred from slip rate and average displacement.
Magnitude [Mw]	6.0 LD	Based on seismological data.

LD=Literature Data; OD=Original Data; ER=Empirical Relationship; AR=Analytical Relationship; EJ=Expert Judgement

Figura 10.8 Scheda di riferimento contenente le informazioni generali e parametriche della ITIS107 "Mirandola"



DISS 3.3.0

INDIVIDUAL SEISMOGENIC SOURCES

COMPOSITE SEISMOGENIC SOURCES

DEBATED SEISMOGENIC SOURCES

SUBDUCTION SOURCES

WEB MAPPER

INDIVIDUAL SEISMOGENIC SOURCES *i*

Information Commentary Pictures References

GENERAL INFORMATION

DISS-ID	ITIS134
Name	Finale Emilia
Compiler(s)	Burrato P.(1), Vannoli P.(1)
Contributor(s)	Burrato P.(1), Vannoli P.(1)
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sezione Roma 1; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy
Created	09/10/2013
Updated	09/10/2013
Display map	
Related sources	ITCS103

PARAMETRIC INFORMATION

Parameter	Quality	Evidence
Location [Lat/Lon]	44.85 / 11.32 LD	Based on seismological, geodetic and geological data.
Length [km]	10.0 LD	Based on geological, geodetic and seismological data.
Width [km]	6.4 ER	Calculated using the relationships from Wells and Coppersmith (1994).
Min depth [km]	4.0 LD	Based on seismological, geodetic and geophysical data.
Max depth [km]	8.4 LD	Based on seismological, geodetic and geophysical data.
Strike [deg]	115 LD	Based on modelling of SAR and geological data.
Dip [deg]	43 LD	Based on seismological and geophysical data.
Rake [deg]	90 LD	Based on seismological data.
Slip Per Event [m]	0.80 LD	Based on seismological data and SAR modelling.
Slip rate [mm/y] min...max	0.2500... 0.5000 LD	Based on geological data.
Recurrence [y] min... max	1600... 3200 AR	Inferred from slip rate and average displacement.
Magnitude [Mw]	6.1 LD	Based on seismological data.

LD=Literature Data; OD=Original Data; ER=Empirical Relationship; AR=Analytical Relationship; EJ=Expert Judgement

Figura 10.9 Scheda di riferimento contenente le informazioni generali e parametriche della ITIS134 "Finale Emilia"



10.4 Magnitudo di riferimento da ZS9

Sulla base delle originali elaborazioni relative alla definizione delle sorgenti sismogenetiche (*DISS2.0-2001*) è stato elaborato un modello sintetico che descrive la localizzazione delle sorgenti di futuri terremoti, la magnitudo massima che questi potranno raggiungere ed i rate di sismicità attesa zona per zona. Questo modello, che si pone come base per la redazione della carta di pericolosità sismica (Figura 10.10) è rappresentato dalla mappa delle zone sismogenetiche ZS9 (*Meletti e Valensise, 2004*).

In base alla zonazione sismogenetica ZS9 del territorio nazionale, la sismicità in Italia può essere distribuita in 36 zone, a ciascuna delle quali è associata una legge di ricorrenza della magnitudo, espressa in termini di magnitudo momento MW.

Nel caso di siti che ricadono al di fuori di tali zone si dovrà eseguire un'analisi accoppiata magnitudo distanza per il calcolo del valore di magnitudo in relazione alla distanza minima di ogni sito dalle zone sismogenetiche circostanti.

L'area in esame si trova all'interno della Zona 912 alla quale è associato un valore di magnitudo massima attesa di $MW_{max}=6.14$ (Figura 10.11).

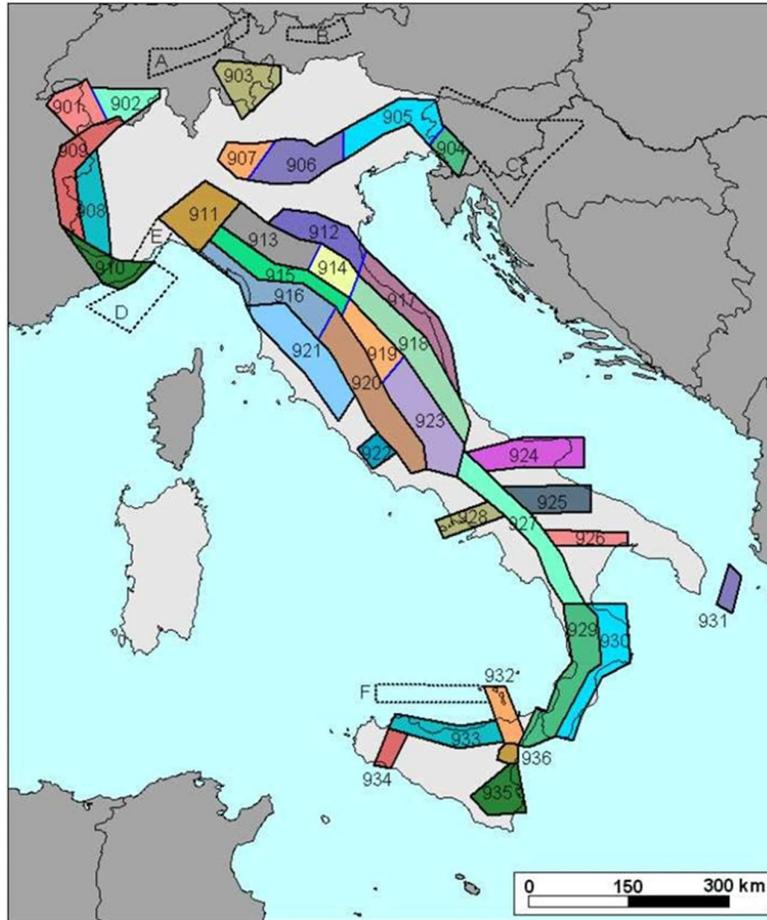


Figura 10.10 Zone sismogenetiche per la mappa di pericolosità sismica di base di riferimento

Nome ZS	Numero ZS	M_{wmax}
Colli Albani, Etna	922, 936	5.45
Ischia-Vesuvio	928	5.91
Altre zone	901, 902, 903, 904, 907, 908, 909, 911, 912, 913, 914, 916, 917, 920, 921, 926, 932, 933, 934	6.14
Medio-Marchigiana/Abruzzese, Appennino Umbro, Nizza Sanremo	918, 919, 910	6.37
Friuli-Veneto Orientale, Garda-Veronese, Garfagnana-Mugello, Calabria Jonica	905, 906, 915, 930	6.60
Molise-Gargano, Ofanto, Canale d'Otranto	924, 925, 931	6.83
Appennino Abruzzese, Sannio - Irpinia-Basilicata	923, 927	7.06
Calabria tirrenica, Iblei	929, 935	7.29

Figura 10.11 Valori di M_{wmax} per le zone sismogenetiche di ZS9



11. PARAMETRI PER LA DETERMINAZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI RIFERIMENTO

Ai sensi del D.M. 17/01/2018, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto deve essere valutata l'influenza delle condizioni litologiche e geomorfologiche locali, determinando quindi la corrispondente categoria (o tipo) di sottosuolo nonché le condizioni topografiche del sito di interesse.

11.1 Categoria di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2. del D.M. 17/01/2018, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_S . La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con:

- h_i spessore dell' i -esimo strato;
- $V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;
- N numero di strati;
- H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s.



Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

Nella seguente *Tabella 11-1* si riportano i risultati della prova sismica effettuata in termini di $V_{s(eq)}$.

Tabella 11-1 *Tabella riassuntiva dei valori di V_{seq} estratti dalla prova sismica MASW.*

Prova	V_s (eq) [m/s]
MASW-1	194

A valle delle risultanze dell'interpretazione delle indagini sismiche, il terreno è classificabile **suolo di tipo "C"**.



11.2 Condizioni topografiche

Per quanto concerne le caratteristiche della superficie topografica, essendo l'area in oggetto localizzata in ambito di pianura e non essendovi particolari emergenze topografiche che possano dar luogo ad effetti di amplificazione sismica locale, la morfologia dell'area può essere ricondotta ad una delle configurazioni superficiali semplici previste nel D.M. 17/01/2018 in Tabella 3.2.III.

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

In particolare, i siti in oggetto possono essere classificati di categoria T1, caratterizzata da un coefficiente di amplificazione topografica $ST = 1$

11.3 Valutazione dell'azione sismica di riferimento

L'azione sismica di riferimento è individuata in termini di:

- A_g = accelerazione massima su suolo tipo A;
- S = fattore di amplificazione che dipende dalla categoria del suolo e dalla superficie topografica;
- F_o = fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima;
- TC^* = periodo di riferimento che consente di calcolare il periodo TC corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro.

Prendendo quindi in considerazione l'area in oggetto di studio, nel seguito si riportano i parametri dell'azione sismica di riferimento.

In particolare, posto:



- Vita nominale, VN 50 anni
- Classe d'uso IV
- Coefficiente d'uso, Cu 2
- Periodo di riferimento, VR 100 anni

I suddetti parametri sono stati poi inseriti all'interno del foglio di calcolo "Spettri-NTC Versione 1.0.3." per la definizione dei parametri dipendenti ed indipendenti (Tabella 11-2).
Si ottiene:

Tabella 11-2: Parametri dipendenti ed indipendenti da Spettri-NTC Versione 1.0.3.

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.199 g
F_o	2.502
T_c^*	0.304 s
S_s	1.402
C_c	1.555
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

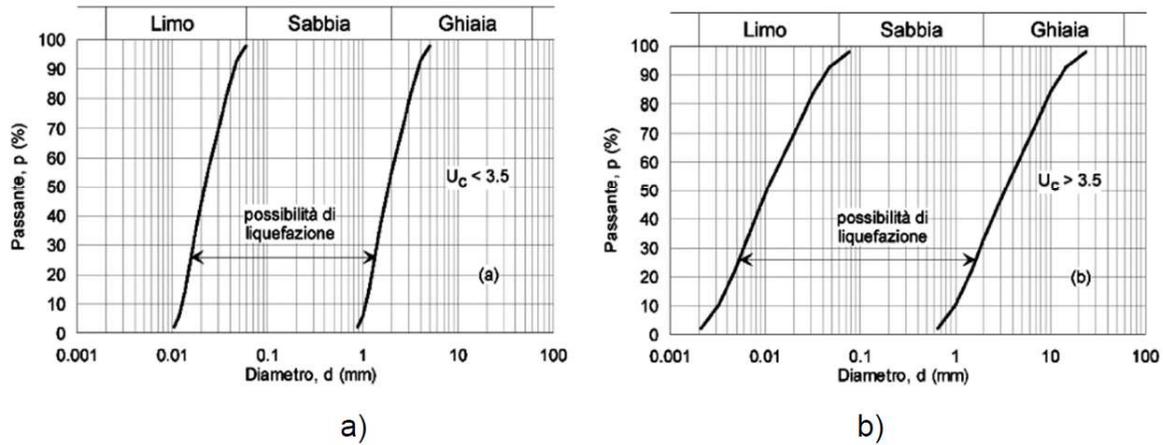
S	1.402
η	1.000
T_B	0.158 s
T_C	0.473 s
T_D	2.395 s



11.4 Analisi del rischio di liquefazione

In terreni saturi sabbiosi sollecitati, in condizioni non drenate, da azioni cicliche dinamiche, il termine liquefazione comprende una serie di fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche. L'avvenuta liquefazione si manifesta, in presenza di manufatti, attraverso la perdita di capacità portante e/o lo sviluppo di elevati cedimenti e rotazioni. In base ad D.M. 17/01/2018, la verifica di liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti minori di 0.1g;
- profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna;
per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- depositi costituiti da sabbie pulite, con resistenza penetrometrica normalizzata
 $N1(60) > 30$ oppure $qc1N > 180$, dove $N1(60)$ è il valore della resistenza, determinata in prove penetrometriche dinamiche (SPT), normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa, e $qc1N$ è il valore della resistenza, determinata in prove penetrometriche statiche (CPT), normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nel grafico a), nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e nel grafico b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.



Dall'analisi dei criteri esclusivi delle verifiche a liquefazione secondo NTC2018 le stesse **non** possono essere escluse.

11.5 Verifica di liquefazione

A valle dell'analisi del rischio di liquefazione, riportata nel capitolo precedente, non è stato possibile escludere la verifica al suddetto processo. Per questo motivo, al fine di valutare il rischio liquefazione per l'area di studio (limitatamente alla massima profondità indagata, 15 m da p.c.), è stato adottato il metodo semplificato di Idriss & Boulanger, 2014 basato sulla determinazione della resistenza a taglio mobilizzata (CRR). I metodi semplificati si basano sul rapporto che intercorre fra le sollecitazioni di taglio che producono liquefazione e quelle indotte dal terremoto; hanno perciò bisogno di valutare i parametri relativi sia all'evento sismico sia al deposito. La resistenza del deposito alla liquefazione viene quindi valutata in termini di fattore di resistenza alla liquefazione:

$$FSS = \frac{CSR}{CRR}$$



dove CRR (Cyclic Resistance Ratio) indica la resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclico e CSR (Cyclic Stress Ratio) la sollecitazione di taglio massima indotta dal sisma. Nello specifico, questo metodo restituisce l'Indice di Potenziale Liquefazione LPI o IL, ovvero un parametro di sintesi che, mediante un valore numerico compreso tra 0 e 100, quantifica i possibili effetti della liquefazione in superficie, tenendo conto di severità dell'azione sismica, e di profondità, spessore e valore del fattore di sicurezza degli strati liquefacibili.

Per valutare e quantificare l'indice IL è stato utilizzato un foglio di calcolo Excel, all'interno del quale, oltre ai dati analitici delle prove penetrometriche effettuate nell'area di studio (CPTU3 e CPTU4), sono stati inseriti i seguenti parametri:

- Falda prova: 5m da pc.;
- Falda post-sisma stimata: 2 m da p.c.
- a_{max}/g : 0.279 – calcolata attraverso il foglio di calcolo Excel “Spettri NTC ver. 1.0.3.” (§11.3)
- M_w : 6.14 - Magnitudo massima identificata dalle ZS9 (§10.4);
- Peso per unità di volume del deposito (g): 18.5 kN/m³

Nelle seguenti Tabella 11-3 e Tabella 11-4 vengono riportati i risultati delle analisi di liquefazione, al variare della profondità, effettuate lungo le verticali di indagine CPTU3 e CPTU4 in termini potenziale di liquefazione IL gli stessi risultati sono graficati in Figura 11.1 ed in Figura 11.2.

Tabella 11-3: Risultati verifiche di liquefazione in termini di IL per la prova CPTU3

CPTU3	
Profondità-	IL
0-15.00	BASSO

Tabella 11-4: Risultati verifiche di liquefazione in termini di IL per la prova CPTU4

CPTU4	
Profondità-	IL
0-15.00	BASSO

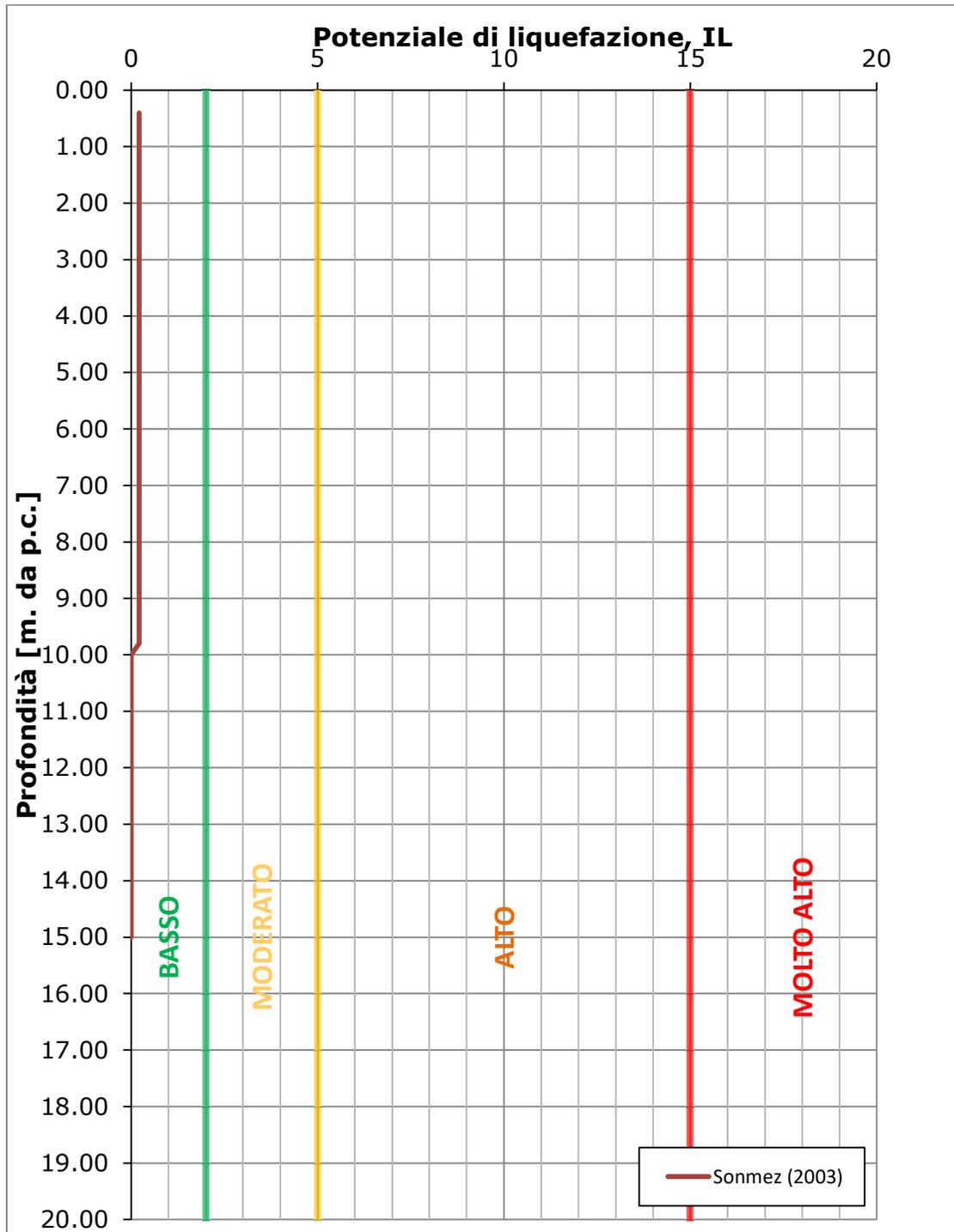


Figura 11.1: Variazione del Potenziale di Liquefazione (IL) con la profondità della prova CPTU3.

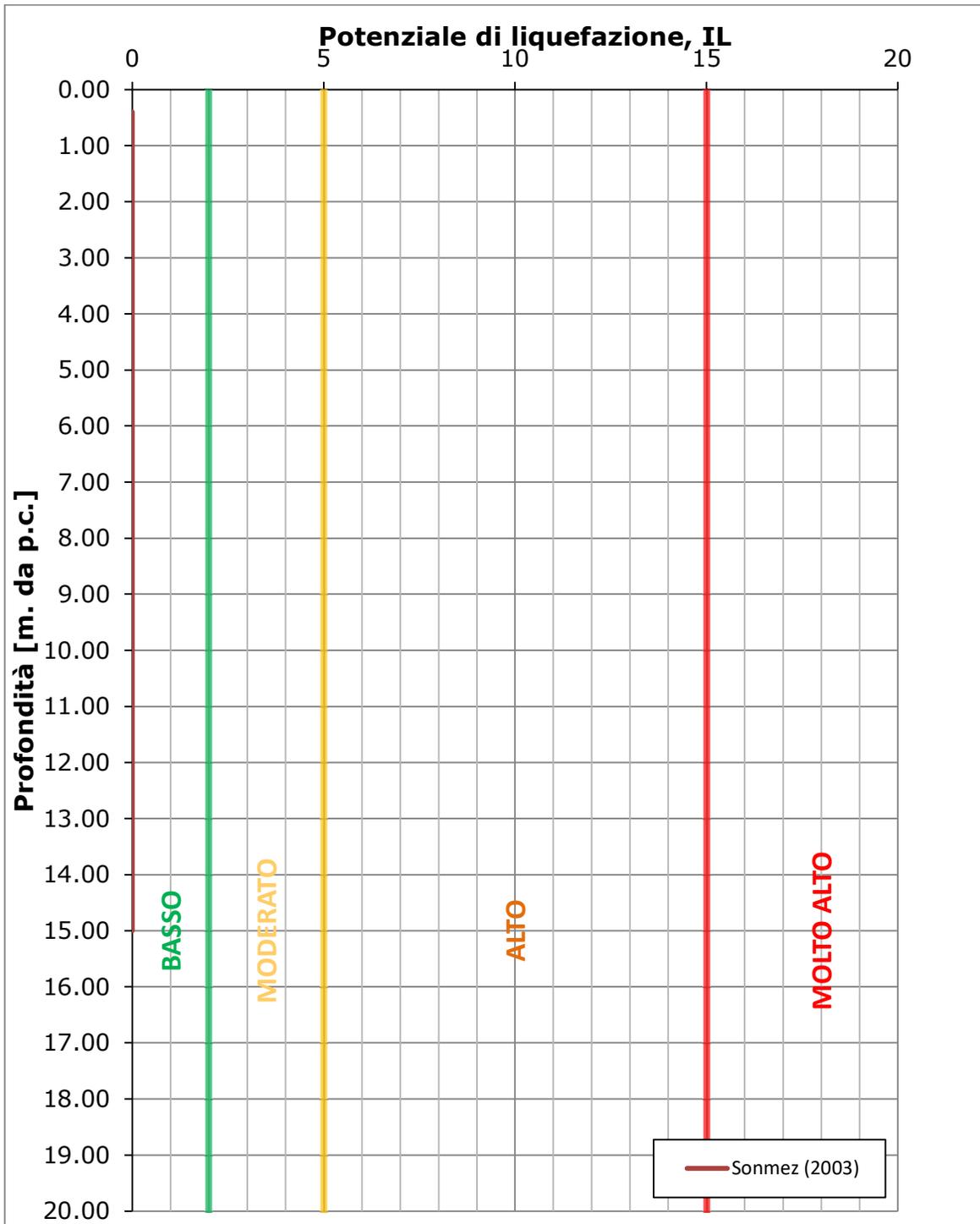


Figura 11.2: Variazione del Potenziale di Liquefazione (IL) con la profondità della prova CPTU4.



Si segnala che i risultati sopra riportati sono influenzati dalla stima del livello di falda post- sisma, stimato a 2m da p.c. Si riportano di seguito (da Tabella 11-5 a Tabella 11-8) i valori di potenziale di liquefazione IL e del cedimento post-sisma (per valori di $IL > 2$) nel caso di falda post-sisma allo stesso livello della falda statica (5m da p.c.) e nel caso di falda post-sisma in condizioni di massima risalita (0 m da p.c.) per entrambe le verticali di indagine.

Tabella 11-5: Risultati verifiche di liquefazione in termini di IL e cedimento post-sisma per la prova CPTU3 con livello di falda post-sisma pari a 5m da p.c.

CPTU3 con falda post sisma a 5 m da p.c.		
Profondità-	IL	Cedimento post-sisma [cm]
0-15.00	BASSO	0

Tabella 11-6: Risultati verifiche di liquefazione in termini di IL e cedimento post-sisma per la prova CPTU3 con livello di falda post-sisma pari a 0m da p.c.

CPTU3 con falda post sisma a 0 m da p.c.		
Profondità-	IL	Cedimento post-sisma [cm]
0-1.50	ALTO	4-6
1.50-2.00	MODERATO	0.5-4
2.00-15.00	BASSO	0-0.5

Tabella 11-7: Risultati verifiche di liquefazione in termini di IL e cedimento post-sisma per la prova CPTU4 con livello di falda post-sisma pari a 5m da p.c.

CPTU4 con falda post sisma a 5 m da p.c.		
Profondità-	IL	Cedimento post-sisma [cm]
0-15.00	NON LIQUEFACIBILE	0



Tabella 11-8: Risultati verifiche di liquefazione in termini di IL e cedimento post-sisma per la prova CPTU4 con livello di falda post-sisma pari a 0m da p.c.

CPTU4 con falda post sisma a 0 m da p.c.		
Profondità-	IL	Cedimento post-sisma [cm]
0-1.00	ALTO	3.5-4.5
1.00-1.80	MODERATO	0-3.5
1.80-15.00	BASSO	0



12. SINTESI E CONCLUSIONI

La relazione geologica riguarda un ponte monocampata in muratura ubicato a Sala Bolognese (BO), su via Zaccarelli, e scavalca il corso d'acqua Scolo Dosolo del Consorzio di Bonifica Renana

Dal punto di vista geologico-stratigrafico, l'area di interesse, limitatamente alla profondità indagata, risulta caratterizzata dalla presenza di n.2 unità:

- Unità 1: Unità costituita dall'alternanza di argille-argille limose e argille ad molto compatte (spessore da 0 a circa 5 m da pc; localmente può raggiungere anche una profondità maggiore fino anche i 10 m da pc)
- Unità 2: Unità costituita da alternanze di argille sabbioso-limose ed argille a bassa consistenza (spessore da circa 5 m fino alla massima profondità indagata)

Attraverso le indagini geognostiche effettuate nell'area è stato possibile localizzare la profondità del livello di falda che, nel caso in esame, si attesta circa a 5 m da pc.

Per quanto concerne la classificazione sismica il comune di Sala Bolognese ricade in classe 3. In riferimento al D.M. 17/01/2018, e sulla base delle risultanze delle indagini sismiche effettuate i terreni dell'area di studio ricadono in categoria di sottosuolo "C". La categoria topografica risulta appartenere alla classe "T1". La Magnitudo di riferimento può essere considerata pari a 6.14.

Alla luce delle verifiche di liquefazione effettuate, non potendo esse essere omesse per nessuno dei criteri di esclusione previsti dalle N.T.C. 2018, si riportano nelle seguenti tabelle i risultati di tali verifiche in termini di potenziale di liquefazione IL per entrambe le verticali di indagine:

CPTU3	
Profondità-	IL
0-15.00	BASSO

CPTU4	
Profondità-	IL
0-15.00	BASSO



13. BIBLIOGRAFIA

AGIP (1983). Carta Magnetica d'Italia. Servizi Centrali per l'Esplorazione, Met. Appl., Geof., San Donato Milanese.

ARPAE (2009). Implementazione nella direttiva 2000/60/CE. Allegato 2: Tipizzazione, caratterizzazione ed individuazione dei corpi idrici superficiali e sotterranei, prima individuazione delle reti di monitoraggio.

Bally, A.W., Snelson, S. (1980). Realms of subsidence. In: Facts and Principles and Petroleum Occurrence (ed. By AD. Mill), Canadian Society Petroleum Geologists Memoir, 6, 9 – 75.

Cartografia Geologica della Regione Emilia Romagna. Carta geologica a scala 1:10'000. [https://geo.regione.emiliaromagna.it/cartografia_sgss/user/viewer.jsp?service=geologia]

Comune di Sala Bolognese

Meletti, C., Valensise, G. (2004). Zonazione sismogenetica ZS9 – App. 2 al Rapporto Conclusivo. In: Gruppo di Lavoro MPS (2004). Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano – Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 allegati.

Lipparini, T. (1966). Note illustrative della Carta Geologica d'Italia a scala 1:100'000 – Foglio 87 “Bologna”. Roma, La Litograf, 1966.

Michetti, A. M., Serva, L., Vittori, E. (2000). ITHACA. Italy Hazard from Capable Faults: a database of active faults of the italian onshore territory. CD – ROM e note esplicative, pubblicata da APAT, Roma.



Molinari, F. C., Pizziolo, M. (2009). Note illustrative della Carta Geologica d'Italia a scala 1:50'000 – Foglio 202 "San Giovanni in Persiceto". SystemCart S.r.l., Roma - 2009

Ricci Lucchi, F. (1986). The Oligocene to Holocene foreland basins of the northern Apennines, in Allen, P. A., and Homewood, P., eds., Foreland basins: International Association of Sedimentologist Special Publication 8, p. 105 – 139.

Rovida, A., Locati, M., Camassi, R., Lolli, B., Gasperini, P., Antonucci, A. (2022). Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 4.0 Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.4>

Servizio Geologico d'Italia (1963). Foglio 87 "Bologna" della Carta Geologica d'Italia. Scala 1:100'000.

Servizio Geologico d'Italia (2009). Foglio 202 "San Giovanni in Persiceto" della Carta Geologica d'Italia. Scala 1:50'000.

Terre d'acqua. Piano strutturale comunale, Comuni di Anzola dell'Emilia, Calderara di Reno, Sala Bolognese, Crevalcore, Sant'Agata Bolognese, San Giovanni in Persiceto. Quadro conoscitivo. Sistema naturale ed ambientale. Suolo, sottosuolo e acque. Geomorfologia. QC. 6/t2b.

Terre d'acqua. Piano strutturale comunale, Comuni di Anzola dell'Emilia, Calderara di Reno, Sala Bolognese, Crevalcore, Sant'Agata Bolognese, San Giovanni in Persiceto. Quadro conoscitivo. Sistema naturale ed ambientale. Suolo, sottosuolo e acque. Piezometria della falda acquifera superficiale. QC. 6/t8b.

Valensise, G., Patosti, D. (2001). Database of potential sources of earthquakes larger than M 5.5 in Italy, Ann. Geofis., Suppl. Vol. 44 (4), 797 – 964, con CD – ROM.



14. APPENDICE

14.1 Appendice 1: Report Indagine MASW

14.2 Appendice 2: Report prova penetrometrica CPTU3

14.3 Appendice 3: Report prova penetrometrica CPTU4