

PROGETTO ESECUTIVO

OPERE DI CONTENIMENTO DEI LIVELLI DI PIENA IN SPONDA SINISTRA DEL FIUME ADDA IN COMUNE DI LODI (LO)

II FASE DI INTERVENTO FUNZIONALE

CIG - 82254808D2
CUP - B13H19000480002

DICEMBRE 2022

Studio HYDRA s.r.l.

Via Fermi 20 - 20057 ASSAGO (MI)
tel: (02) 23185801 - e-mail: studiohydrasrl@studiohydra.it

I PROGETTISTI:

Dott. Ing. SILVIO ROSSETTI
Dott. Ing. ALESSANDRA BERTOGLIO

REDAZIONE		Aspetti strutturali:	 STUDIO MALERBA STUDIO DI INGEGNERIA viale Abruzzi, 17 - 20131 MILANO - tel: (02) 29526561 fax: (02) 29526561 - e-mail: mail@studiomalerba.net Prof. Ing. PIER GIORGIO MALERBA	Aspetti ambientali e catastali:	 GEOLAMBDA Engineering S.r.l. <small>Sede operativa: via A. Diaz, 22 - 26845 Codogno (LO) tel: (+39) 0377.433021 fax (+39) 0377.402035 www.geolambda.eu - pec: geolambda@geolambda.viapec.it e-mail: laura.pezzoni@geolambda.it</small>
VERIFICA					
APPROVAZIONE				Dott. Ing. LAURA PEZZONI	

REVISIONI	N.	DESCRIZIONE	DATA	REDAZIONE	VERIFICA	APPROVAZIONE
	1					
	2					
	3					

TITOLO:

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA
(da PD dicembre 2021 - a cura di VICENZETTO Srl)

ELABORATO:

FASE

PE

TIPO

RGGS

COMMESSA

250-06

NUMERO

A.02.02

REV

00

**OPERE DI CONTENIMENTO DEI LIVELLI IN
SPONDA SINISTRA DEL FIUME ADDA
COMUNE DI LODI**

**RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA
(II FASE DI INTERVENTO FUNZIONALE)**

**AI SENSI DEL D.M. 17/01/2018
E DELLA D.G.R. N. IX/2616 DEL 30/11/2011**

COMMITTENTE: *Agenzia Interregionale per il fiume Po*
Ufficio operativo di Cremona
Via Carnevali n.7,
26100, Cremona

INDICE

1. PREMESSA	3
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	5
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, IDROGEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO	6
4. SISMOTETTONICA.....	15
5. PERICOLOSITA' E FATTIBILITA'	19
6. SISMICITÀ	24
7. CALCOLO DELL'AZIONE SISMICA.....	27
8. INDAGINE GEOGNOSTICA.....	36
9. NATURA E CARATTERISTICHE DEL SOTTOSUOLO.....	37
10. RISCHIO LIQUEFAZIONE	37
11. CONCLUSIONI	42

RIFERIMENTI NORMATIVI:

- **Decreto Ministeriale 14/01/2008**
Norme Tecniche per le Costruzioni
- **Decreto Ministeriale 17/01/2018**
Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni"
- **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici**
Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al D.M. 14/01/2008. Circolare 02/02/2009
- **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici**
Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n. 36 del 27/07/2007
- **Eurocodice 8 (1998)**
- **Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture**
Parte 5: fondazioni, strutture di contenimento e aspetti geotecnici (2003)
- **Eurocodice 7.1 (1997)**
Progettazione geotecnica – Parte I: regole generali UNI
- **Eurocodice 7.3 (2002)**
Progettazione geotecnica – Parte II: progettazione assistita con prove in sito (2002)

- **Legge Regionale Lombardia 11/03/2005 n. 12**

- **D.G.R. Lombardia n. 9/2616 del 30/11/2011**

Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della L.R. 11/03/2005 n. 12

- **D G.R. Lombardia n. 10/2129 del 11/07/2014.**

Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d)

- **D.G.R. Lombardia n. 10/2489 del 10/10/2014**

Differimento del termine di entrata in vigore della nuova classificazione sismica del territorio approvata con D.G.R. 21 luglio 2014, n. 2129 «Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, comma 108, lett. d)»

- **D.G.R. Lombardia n. 10/4144 del 8/10/2015**

Ulteriore differimento del termine di entrata in vigore della nuova classificazione sismica del territorio approvata con D.G.R. 21 luglio 2014, n. 2129 «Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, comma 108, lett. d)»

- **D.G.R. Lombardia n. 10/5001 del 30/03/2016**

Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica (**artt. 3, comma 1, e 13, comma 1, della l.r. 33/2015**)

- **D.G.R. Lombardia n. 10/6738 del 19/06/2017**

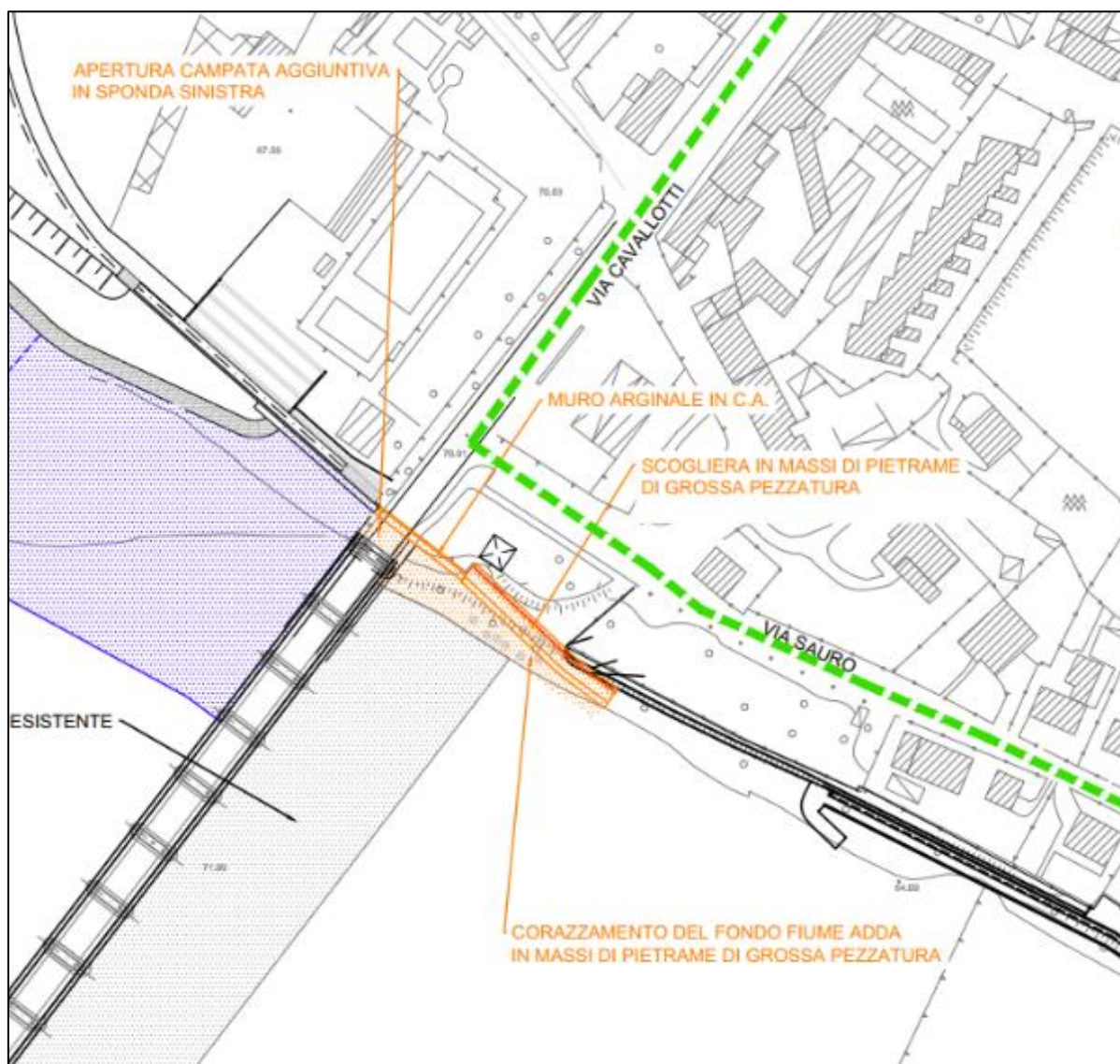
Disposizioni regionali concernenti l'attuazione del Piano dei Rischi di Alluvione (PGRA)

- **Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del Piano di Governo del Territorio (P.G.T.) del comune di Lodi e relative Norme Tecniche di Attuazione**

1. PREMESSA

Su incarico e d'intesa con l'Agenzia Interregionale per il fiume Po viene redatta la presente relazione geologica, idrogeologica e sismica sui terreni interessati dalla realizzazione di opere di contenimento dei livelli in sponda sinistra del Fiume Adda in comune di Lodi.

In questa sede si fa particolare riferimento alla seconda fase di intervento funzionale, che prevede quanto schematicamente riportato nella figura seguente:



-Planimetria estesa opere in progetto – Il fase intervento funzionale-

La presente relazione, sintesi e compendio dello studio geologico eseguito per la determinazione delle caratteristiche stratigrafiche, litologiche, idrogeologiche e geotecniche dei terreni costituenti il sottosuolo e più in generale della pericolosità

geologica del sito oggetto di intervento, contiene le considerazioni e le stime a carattere geologico-geotecnico riguardanti i terreni interessati dalle opere in progetto.

Quanto in progetto, alla luce del D.M. 17/01/2018, appartiene al Tipo 2 (N.T.C. 2018 2.4.1) con Classe d'Uso III (N.T.C. 2018 2.4.2) per quanto riguarda la campata aggiuntiva del ponte e al Tipo 2 (N.T.C. 2018 2.4.1) con Classe d'Uso II (N.T.C. 2018 2.4.2), per quanto riguarda le rimanenti opere. Di conseguenza questa relazione, seguendo i dettami della normativa vigente e dello stato dell'arte, è finalizzata alla costruzione del modello geologico che è imprescindibile per la redazione del successivo modello geotecnico, facente parte delle relazioni d'opera geotecniche.

Al fine di definire le caratteristiche del sottosuolo dell'area di interesse sono state eseguite le seguenti indagini:

- n.3 sondaggi verticali, eseguiti a carotaggio continuo, spinti sino a profondità di -35.00 m da p.c;
- n.24 prove penetrometriche dinamiche in foro tipo SPT;
- prelievo di n.24 campioni di terreno rimaneggiato di tipo geotecnico, da sottoporre a prove di caratterizzazione fisica e meccanica di laboratorio;
- prove geotecniche di laboratorio sui campioni prelevati;
- n.1 prova sismica con metodo MASW.

Inoltre, per la caratterizzazione dello stato dell'opera muraria in essere, state svolte le seguenti indagini:

- n.3 Prove su porzione muraria con martinetto piatto singolo (per la valutazione del carico in esercizio) e con martinetto piatto doppio (per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del paramento murario)
- n.8 Prove endoscopiche su muratura comprensiva di realizzazione di perforazione di piccolo diametro e successiva ripresa con endoscopio o video-endoscopio e restituzione stratigrafica;
- n.18 Prove con sclerometro su mattoni in laterizio;
- n.18 Prove penetrometriche su malta;
- n.1 Indagine termografica finalizzata all'esame del paramento murario;

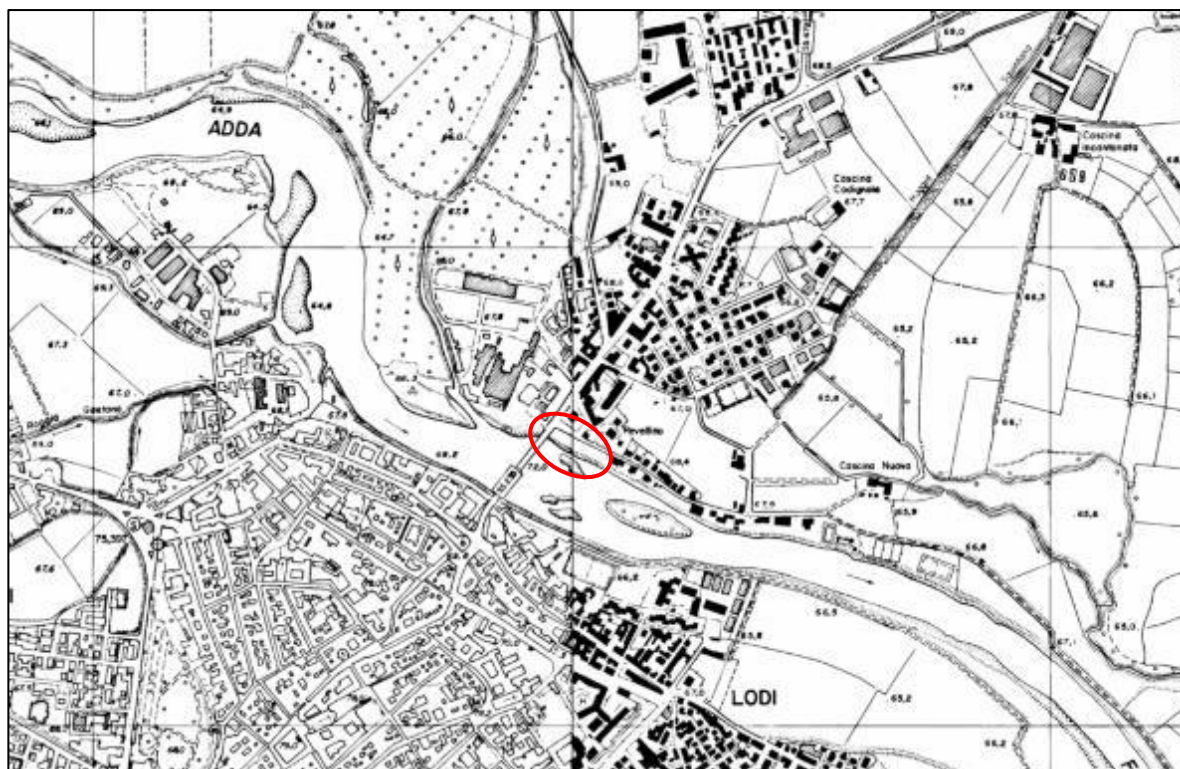
Le risultanze delle suddette indagini sono riportate in report dedicato, allegato alla presente, costituendone parte integrante.

Per le notizie di carattere geologico generale sono stati eseguiti rilievi di campagna, basati sull'osservazione delle forme del territorio e delle litologie superficiali, correlati al passato geologico dell'area; lo studio è stato poi completato dalle notizie e dai dati bibliografici a disposizione, nonché dalle conoscenze acquisite dallo scrivente nella zona, tramite precedenti lavori e indagini.

Di seguito si illustrano i caratteri geologici, idrogeologici, morfologici e sismici dell'area di interesse.

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area in oggetto è sita nel comune di Lodi, a nord del centro abitato, in località Revellino; geograficamente è rappresentata nelle sezioni B7e1 e C7a1 della Carta Tecnica Regionale della Regione Lombardia (C.T.R. R.L.) alla scala 1:10.000, ed è centrata sulle coordinate 45°19'10.64" di latitudine N, 09°30'34.55" di longitudine E, con una quota di circa 66 m s.l.m..



Carta Tecnica Regionale (CTR) Sez. B7e1-C7a1 con ubicazione area di interesse –



- Veduta aerea dell'area in esame (estratto da Google Maps) –

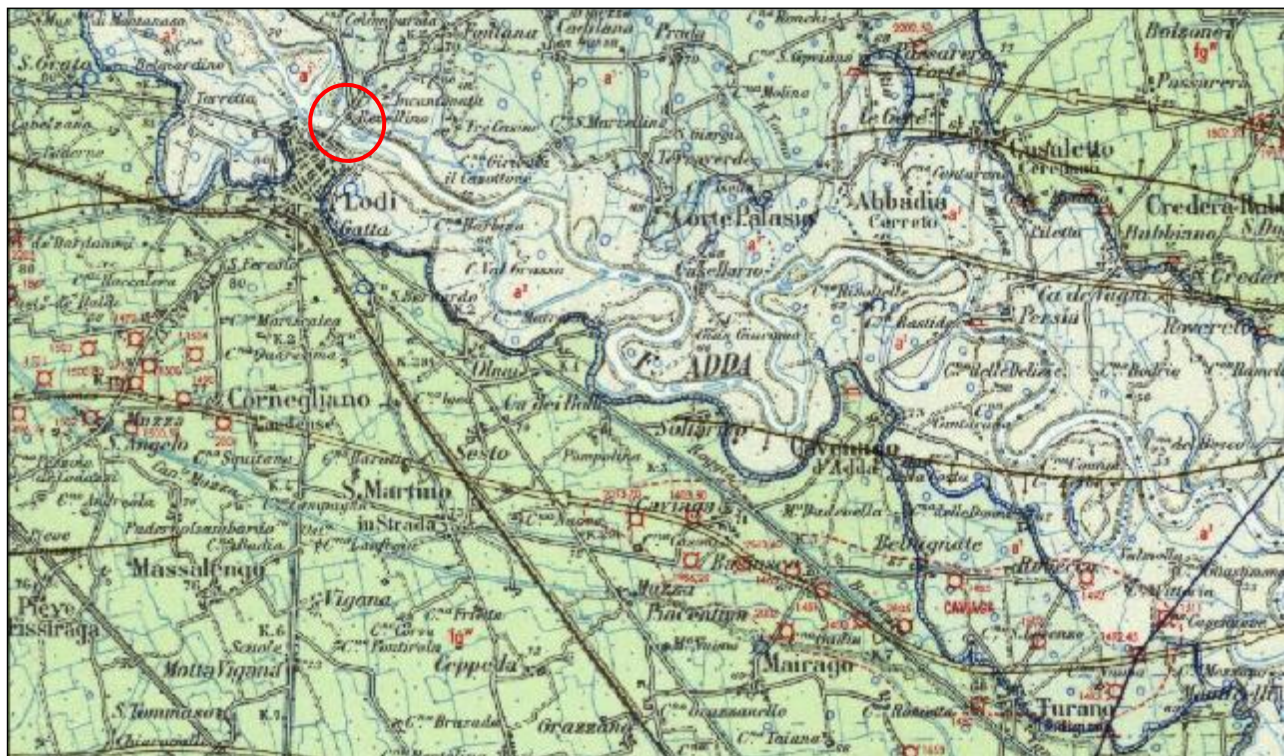
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, IDROGEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO

Il contesto geologico generale dell'area oggetto di intervento è stato desunto dall'esame del Foglio 60 Piacenza della Carta Geologica D'Italia, alla scala 1:100.000, entro il quale è inserito il territorio comunale di Lodi.

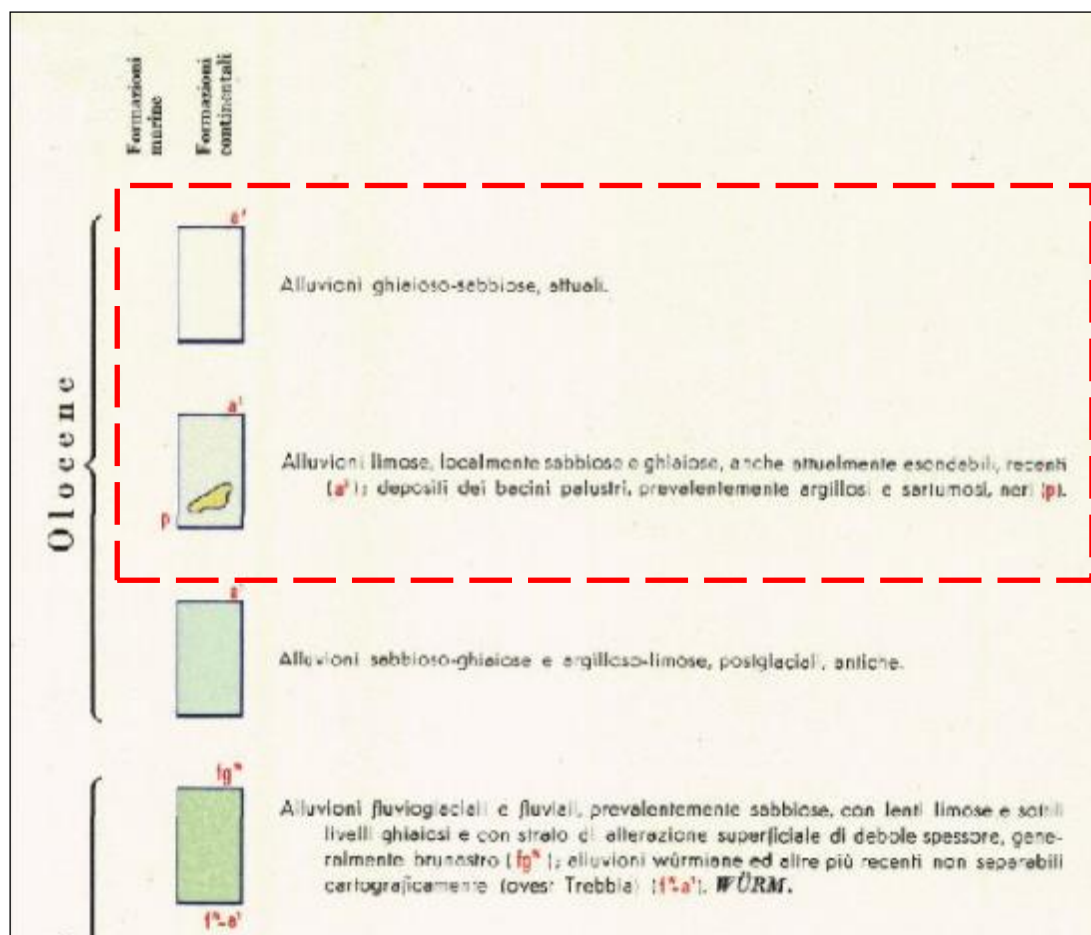
I terreni affioranti sono esclusivamente di ambiente continentale, costituiti da depositi fluvio-glaciali ed alluvionali di età compresa tra il Pleistocene e l'Olocene; in particolare si tratta dei depositi ascrivibili al livello fondamentale della pianura (fgw) e alle alluvioni antiche (a1), recenti (a2) ed attuali (a3) del Fiume Adda.

vicenzetto

EARTH WATER AND CLIFF



– Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 – Foglio 60 "PIACENZA" –



Di seguito la descrizione delle formazioni geologiche rilevabili nell'area dalla più antica alla più recente:

fgw - Depositi alluvionali fluviali e fluvio-glaciali, corrispondenti al livello fondamentale della pianura, composti da materiali sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi per lo più non alterati; costituiscono l'ultimo strato di colmamento della pianura contemporaneo o posteriore all'evento glaciale würmiano, di spessore variabile, ma generalmente crescente dalle cerchie moreniche poste a nord verso la bassa pianura. Lo strato di alterazione superficiale, presenta spessori modesti, quasi mai superiori al metro. Quest'unità costituisce la porzione occidentale del territorio, includendo l'area del centro storico ed il lembo relitto di Portadore Alto, in sinistra idrografica (Pleistocene Superiore).

a1 - Depositi alluvionali sabbiosi e ghiaiosi che definiscono il sistema dei terrazzi immediatamente sottostante il livello fondamentale della pianura; la quasi totale assenza dello strato di alterazione pedogenetica superficiale le distingue dai depositi fluvioglaciali würmiani. Nell'ambito in esame sono presenti in sponda sinistra dell'Adda, nella zona nord-orientale del territorio comunale (Olocene inferiore).

a2 - Depositi alluvionali sabbiosi, ghiaiosi e secondariamente limosi caratteristici delle valli fluviali; questi depositi hanno subito un continuo rimaneggiamento da parte delle correnti fluviali e presentano quindi spesso una struttura costituita da lenti interdigite, rappresentata al loro interno da litotipi a granulometria omogenea. In corrispondenza dei meandri abbandonati e successivamente colmati si trovano in depositi di materiali più fini ed ascrivibili ai limi e alle argille. Nell'area in esame occupano un'area estesa che segue l'andamento del Fiume Adda, sono a contatto con le alluvioni a1 a nord dell'asta fluviale e con il livello fondamentale della pianura a sud.

a3 - Le alluvioni attuali sono presenti in corrispondenza dell'alveo attuale del fiume Adda; tali depositi, costituiti da ghiaie, sono allungati nel verso della corrente del fiume e soggetti a continue modifiche; la ghiaia, si presenta con sabbie diffuse o intercalata

in lenti e strati di spessore vario; sono poligeniche e includono elementi arrotondati e sferici. Rappresentano quindi il terrazzo più basso lungo il corso dei fiumi che tutt'oggi è soggetto a esondazioni e a fenomeni di morfogenesi che diminuiscono allontanandosi dagli alvei attivi e relitti che li caratterizzano.

Al di sotto delle formazioni continentali quaternarie sono presenti in profondità le più antiche formazioni marine, non affioranti nella Pianura Padana.

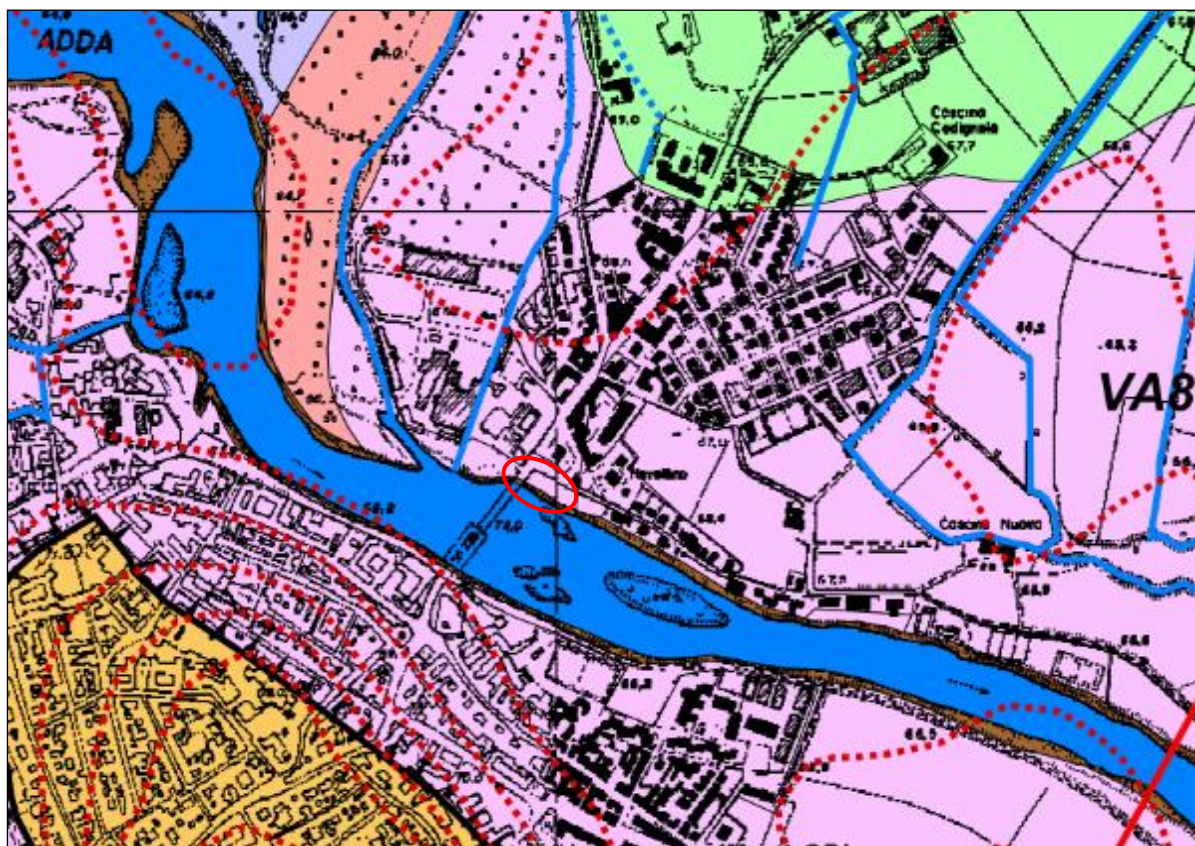
L'area in esame ricade a cavallo tra le alluvioni attuali a3 e le alluvioni recenti a2.

Il territorio presenta i caratteri morfologici tipici della Pianura Padana costituita dal piano terrazzato del "Livello Fondamentale della Pianura". Quest'ultimo presenta debole immersione complessiva da NNO verso SSE e funge da raccordo tra la fascia delle conoidi pedemontane e la Valle del Po.

In particolare la Bassa Pianura Padana è caratterizzata da una uniformità morfologica di area pianeggiante, dove le principali forme sono legate a processi dovuti all'azione delle acque superficiali, ovvero all'azione di erosione, trasporto e deposizione dei corsi d'acqua.

In questa fascia di pianura gli aspetti morfologici peculiari sono legati sia all'origine dei depositi, sia all'utilizzo antropico dell'area. Gli elementi che interrompono questa uniformità morfologica sono le incisioni dei corsi d'acqua principali e il sistema dei loro terrazzamenti che, in prossimità degli alvei, ribassano il livello fondamentale della pianura interrompendone così la continuità areale.

Altro elemento geomorfologico prodotto dall'azione dei Fiumi Adda è rappresentato dai paleoalvei, antichi percorsi fluviali attualmente abbandonati. Questi risultano in parte situati al medesimo livello della pianura ed in parte si trovano ribassati rispetto alla pianura stessa. Tale fenomeno ha comportato la formazione di "valli abbandonate" e depressioni nelle quali le rogge più recenti si sono inserite.



– Stralcio Carta Geologica e Geomorfologica del PGT

■ Valli alluvionali:

Piane alluvionali inondabili con dinamica prevalentemente deposizionale costituite da sedimenti recenti o attuali (Olocene recente ed attuale)

VA8 Fondovalle del fiume Adda. Superfici subpianeggianti corrispondenti alle piane alluvionali delle valli più incise, comprese tra i terrazzi antichi e le fasce maggiormente inondabili limitrofe ai corsi d'acqua, da cui sono generalmente separate da gradini morfologici.

VA7 Paleomeandri del fiume Adda. Superfici sede di passata attività fluviale corrispondenti ad alvei e meandri sovradimensionati rispetto ai corsi d'acqua che vi scorrono attualmente ed a conche lacustri e palustri parzialmente bonificate, caratterizzate da marcati fenomeni di idromorfia.

VA6 Aree golenali del fiume Adda. Superfici adiacenti ai corsi d'acqua ed isole fluviali inondabili durante gli eventi di piena ordinaria. Nelle piane di tracimazione ed a meandri coincidono con le "gole aperte".

L'area in esame nel dettaglio, come si evince dalla Carta Geologica e Geomorfologica allegata al PGT del comune di Lodi ricade in nell'area di fondovalle del Fiume Adda, caratterizzata da una superficie sub-pianeggiante corrispondente alle piane alluvionali delle valli più incise, comprese tra i terrazzi antichi e le fasce maggiormente inondabili limitrofe ai corsi d'acqua, da cui sono separate da gradini morfologici.

Il reticolo idrico minore nel territorio di Lodi è finalizzato a drenare i terreni e portare le acque d'irrigazione. Il territorio in esame è dominato dalla presenza del fiume Adda che, correndo da NO a SE per più di 7 Km, divide in due il territorio comunale. A monte della traversa, posta a valle del primo ponte di Lodi, a quota 64,09 m, l'Adda si estende con percorso lungo 3.418 m, disegnando 4 meandri, di raggio variabile da 90 a 120 m, a valle della traversa, il fiume prosegue, piegando verso E-S-E fino al confine con Corte Palasio.

L'abitato di Lodi si sviluppa quasi completamente in destra idrografica del fiume, lasciando in sinistra un territorio meno urbanizzato, con un reticolo idrico molto fitto che si dispone, in generale, da nord a sud. Anche in destra idrografica il reticolo appare fitto, ma, al contrario, di quanto avviene in sponda sinistra, le rogge, nel loro complesso hanno andamenti meno ordinati e spesso intersecati.



– Stralcio Carta Sistema Idrografico del PGT



L'assetto idrogeologico della pianura lodigiana è caratterizzato da un acquifero multistrato in cui sono presenti più falde: una falda freatica superficiale, in cui l'acqua circola a pressione atmosferica e la cui superficie oscilla verticalmente al variare degli afflussi, ed una serie di falde artesiane in cui l'acqua circola a pressione di confinamento che varia al variare degli afflussi e degli emungimenti.

L'alimentazione della falda freatica avviene per infiltrazione dalla superficie che sovrasta la falda stessa, nei punti in cui i depositi superficiali risultano più permeabili; al contrario l'alimentazione delle falde artesiane avviene nella fascia pedemontana bergamasca.

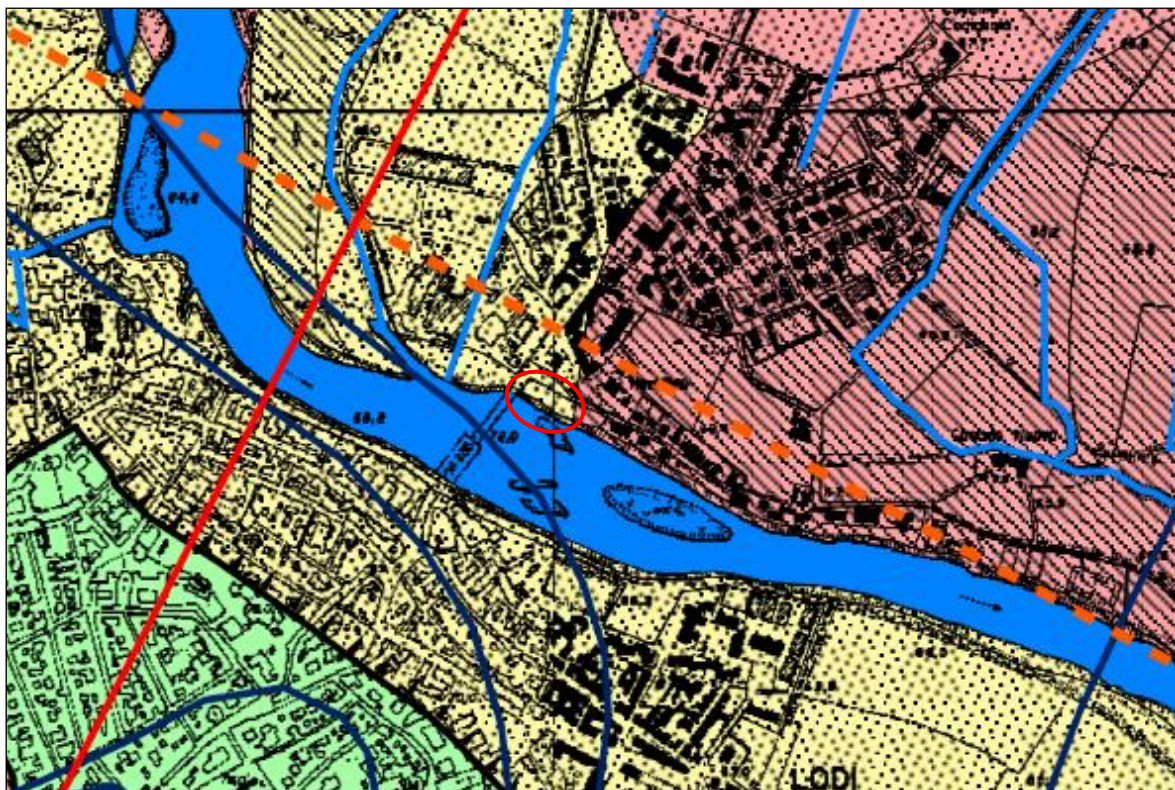
Secondo quanto indicato da studi idrogeologici effettuati nell'area, a scala locale è confermata la presenza di un sistema acquifero multistrato, all'interno del quale gli acquiferi sono separati verticalmente da consistenti livelli impermeabili.

In particolare l'assetto idrogeologico desunto facendo riferimento alle stratigrafie dei pozzi idrici, mostra che il sottosuolo della città di Lodi può essere suddiviso in due litozone principali:

Litozona sabbioso-ghiaiosa superficiale: si estende dalla superficie fino a profondità variabili da 40÷50 a 60m; è costituita da ghiaie e sabbie prevalenti con locali e discontinue intercalazioni di terreni più fini (limi e argille) ed è sede di un acquifero omogeneo di tipo freatico. I depositi fini si trovano prevalentemente entro i primi 5÷8 m di profondità dal piano campagna.

Litozona limoso sabbioso argillosa profonda: è caratterizzata da depositi a dominante argilloso-limosa, impermeabili o semipermeabili, con intercalazioni irregolari e discontinue di orizzonti sabbiosi e ghiaiosi. All'interno dei livelli porosi permeabili sono presenti falde di tipo confinato con potenzialità idrica variabile in funzione dell'estensione areale e dello spessore degli stessi. In questi ultimi decenni la suddetta litozona è sfruttata ad uso idropotabile.

Trascurando la litozona profonda, nella città di Lodi l'andamento e la soggiacenza della superficie freatica nella litozona superficiale sono direttamente influenzati dall'azione drenante del F.Adda e dalla morfologia. I due elementi dominanti che determinano l'assetto della superficie freatica sono infatti la convergenza verso l'asta fluviale e la direttrice regionale di flusso sotterraneo (in questo settore di pianura allineata da NNO a SSE), nonché la presenza di terrazzi fluviali. La soggiacenza varia infatti notevolmente da un settore morfologico all'altro a causa della differente quota delle zone e della distanza dalla scarpata.



– Stralcio Carta Sistema Idrogeologico del PGT

LEGENDA

Classi di permeabilità (m/s):

- A** ALTA ($10^{-4} < k < 10^{-3}$)
- MDA** MEDIO-ALTA ($10^{-5} < k < 10^{-4}$)
- MDB** MEDIO-BASSA ($10^{-7} < k < 10^{-6}$)
- B** BASSA ($10^{-8} < k < 10^{-7}$)

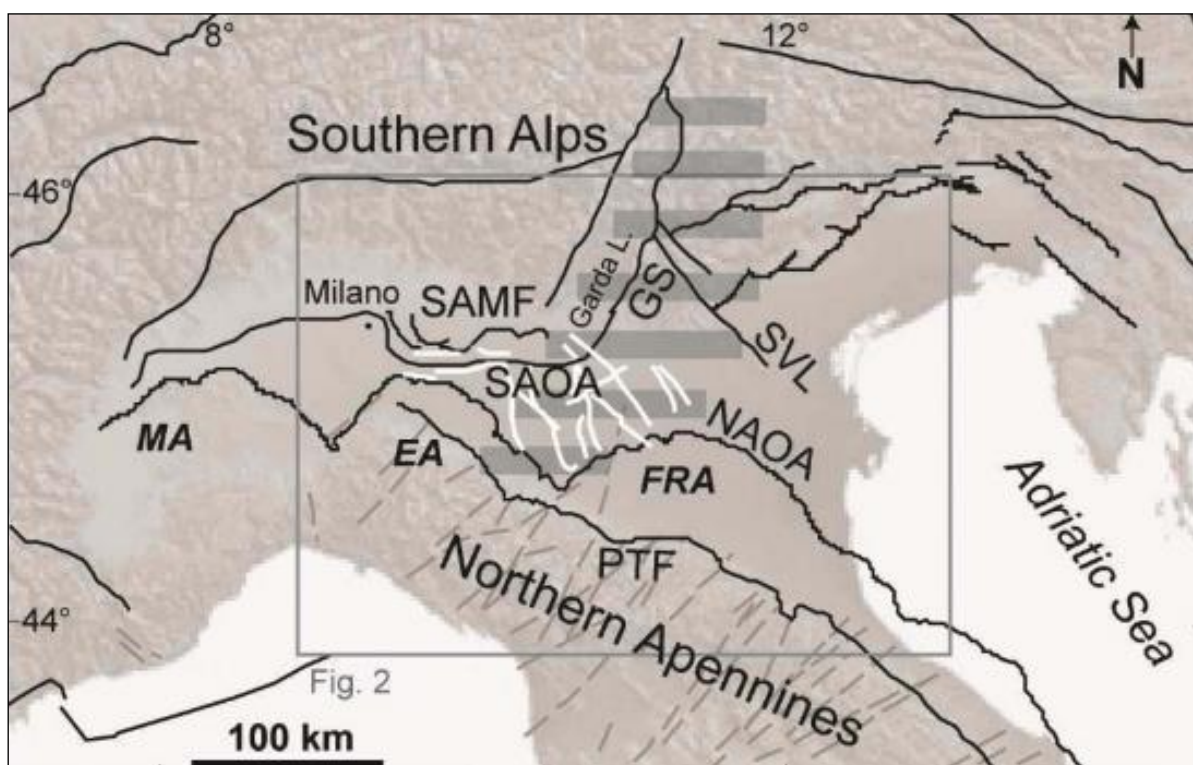
Soggiacenza media della falda superficiale in m da p.c.:

- < 1.50 m
- 1.50 - 3.00 m
- > 3.00 m

Nell'area di intervento la prima falda risulta strettamente correlata al regime del fiume Adda, con oscillazioni stagionali importanti.

4. SISMOTETTONICA

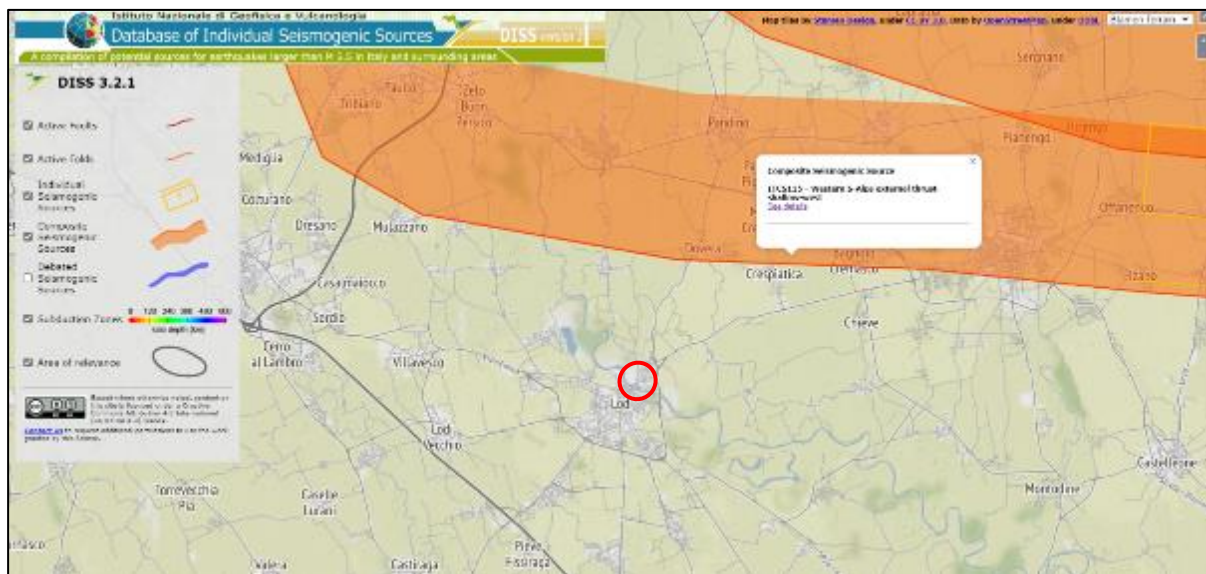
La convergenza tra le placche Africana ed Europea, iniziata nel Cretaceo superiore è tuttora in atto, come mostrato dai dati geodetici satellitari. In profondità questo raccorciamento si trasforma in uno sforzo di caricamento delle faglie di tipo compressivo localizzate sia al piede delle Alpi Meridionali, sia al piede dell'Appennino settentrionale. Sottoposte alla coltre di sedimenti padani esistono quindi delle strutture tettoniche attive capaci di generare terremoti, fatto testimoniato sia dalla sismicità strumentale dell'area, sia dalla sismicità documentata storicamente.



– Mappa strutturale semplificata della pianura padana –

Di seguito si evidenzia quanto riportato dal DISS (database of Individual Seismogenetic Sources) elaborato dall'Istituto Nazionale Geofisica che fornisce informazioni sulle faglie attive in Italia.

Tale database indica che il sito di interesse si colloca in prossimità della sorgente sismogenetica ITCS115 Western S-Alps external thrust shallow-west, a cui è assegnata una magnitudo massima M_w di 6.0, assunta sulla base di dati sismologici regionali.



– Estratto DISS – Fonte INGV –

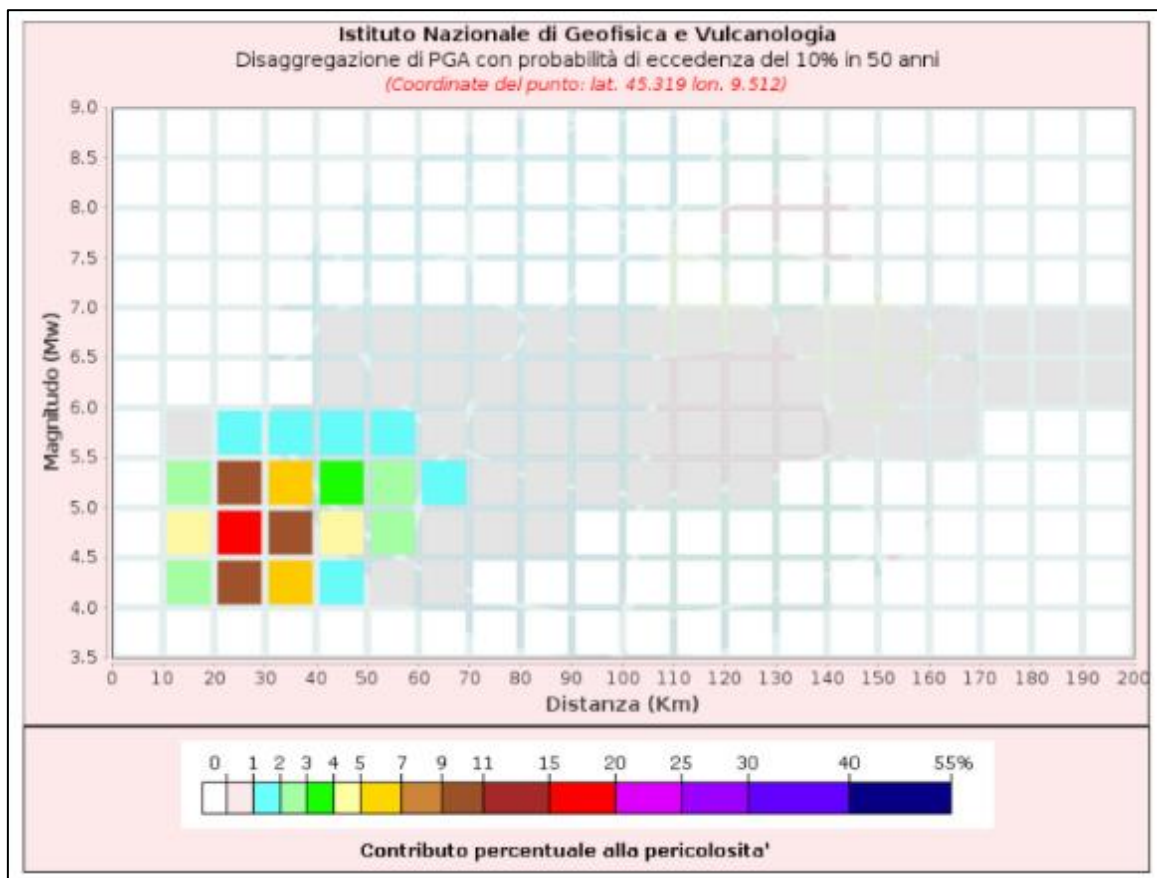
Nella figura seguente si riportano le caratteristiche della zona sismogenetica precedentemente indicata:

GENERAL INFORMATION			
DISS-ID	ITCS115		
Name	Western S-Alps external thrust shallow-west		
Compiler(s)	Burrato P.(1)		
Contributor(s)	Burrato P.(1), D'Ambrogio C.(2), Maesano F.E.(1)		
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; 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		
PARAMETRIC INFORMATION			
PARAMETER		QUALITY	EVIDENCE
Min depth [km]	2.0	OD	Based on subsurface geological and geophysical data from various authors.
Max depth [km]	6.0	OD	Based on subsurface geological and geophysical data from various authors.
Strike [deg] min... max	215...340	OD	Based on subsurface geological and geophysical data from various authors.
Dip [deg] min... max	25...50	OD	Based on subsurface geological and geophysical data from various authors.
Rake [deg] min... max	80...100	EJ	Inferred from geological and active stress data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.1...0.5	EJ	Unknown, values assumed from geodynamic constraints.
Max Magnitude [Mw]	6.0	EJ	Assumed from regional seismological data.
LD=LITERATURE DATA; OD=ORIGINAL DATA; ER=EMPIRICAL RELATIONSHIP; AR=ANALYTICAL RELATIONSHIP; EJ=EXPERT JUDGEMENT;			

– Estratto DISS – Fonte INGV-Zona sismogenetica ITCS115 –

La disaggregazione (o deaggregazione) della pericolosità sismica (McGuire, 1995; Bazzurro and Cornell, 1999) è un'operazione che consente di valutare i contributi di diverse sorgenti sismiche alla pericolosità di un sito. La forma più comune di disaggregazione è quella bidimensionale in magnitudo e distanza (M-R) che permette di definire il contributo di sorgenti sismogenetiche a distanza R capaci di generare terremoti di magnitudo M. Espresso in altri termini il processo di disaggregazione in M-R fornisce il terremoto che domina lo scenario di pericolosità (terremoto di scenario) inteso come l'evento di magnitudo M a distanza R dal sito oggetto di studio che contribuisce maggiormente alla pericolosità sismica del sito stesso.

Nella figura seguente si riporta grafico di disaggregazione riferito all'ambito di interesse:



Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto: lat. 45.319 lon. 9.512)											
Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)										
	3.5- 4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0- 5.5	5.5- 6.0	6.0- 6.5	6.5- 7.0	7.0- 7.5	7.5- 8.0	8.0- 8.5	8.5- 9.0
0-10	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	2.8700	4.7800	2.2300	0.0272	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	10.7000	18.5000	9.0000	1.9600	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	5.0400	10.5000	6.3800	1.7800	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	1.6900	4.6500	3.6100	1.2200	0.0196	0.0027	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.3690	2.0200	2.3000	1.1500	0.2200	0.0315	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0081	0.6120	1.3500	0.9640	0.3100	0.0476	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.1160	0.7060	0.7240	0.3470	0.0579	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0109	0.3080	0.5370	0.4100	0.0752	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.1080	0.3550	0.3670	0.0722	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0365	0.2410	0.2740	0.0554	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0092	0.1540	0.1900	0.0394	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0772	0.1260	0.0278	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0346	0.0812	0.0196	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0143	0.0488	0.0128	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0047	0.0268	0.0077	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0013	0.0210	0.0053	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0170	0.0034	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0121	0.0022	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0138	0.0050	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.93	35.5	1.51

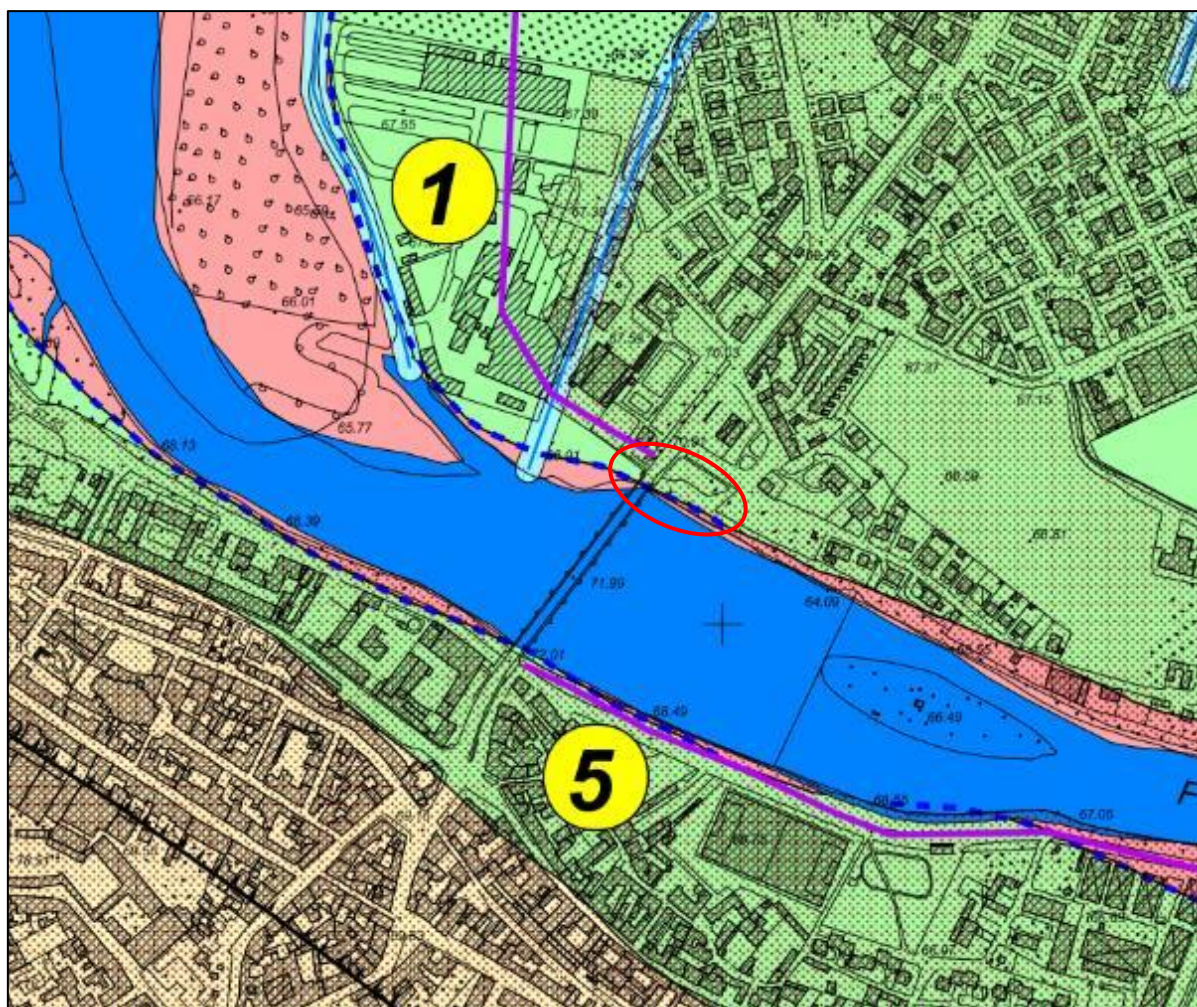
– Grafico disaggregazione – Progetto DPC INGV S1 –

I risultati ottenuti in questo studio possono risultare utili nella selezione di accelerogrammi a scopi di progettazione e/o per analisi dinamiche (es. analisi numeriche di risposta sismica locale).

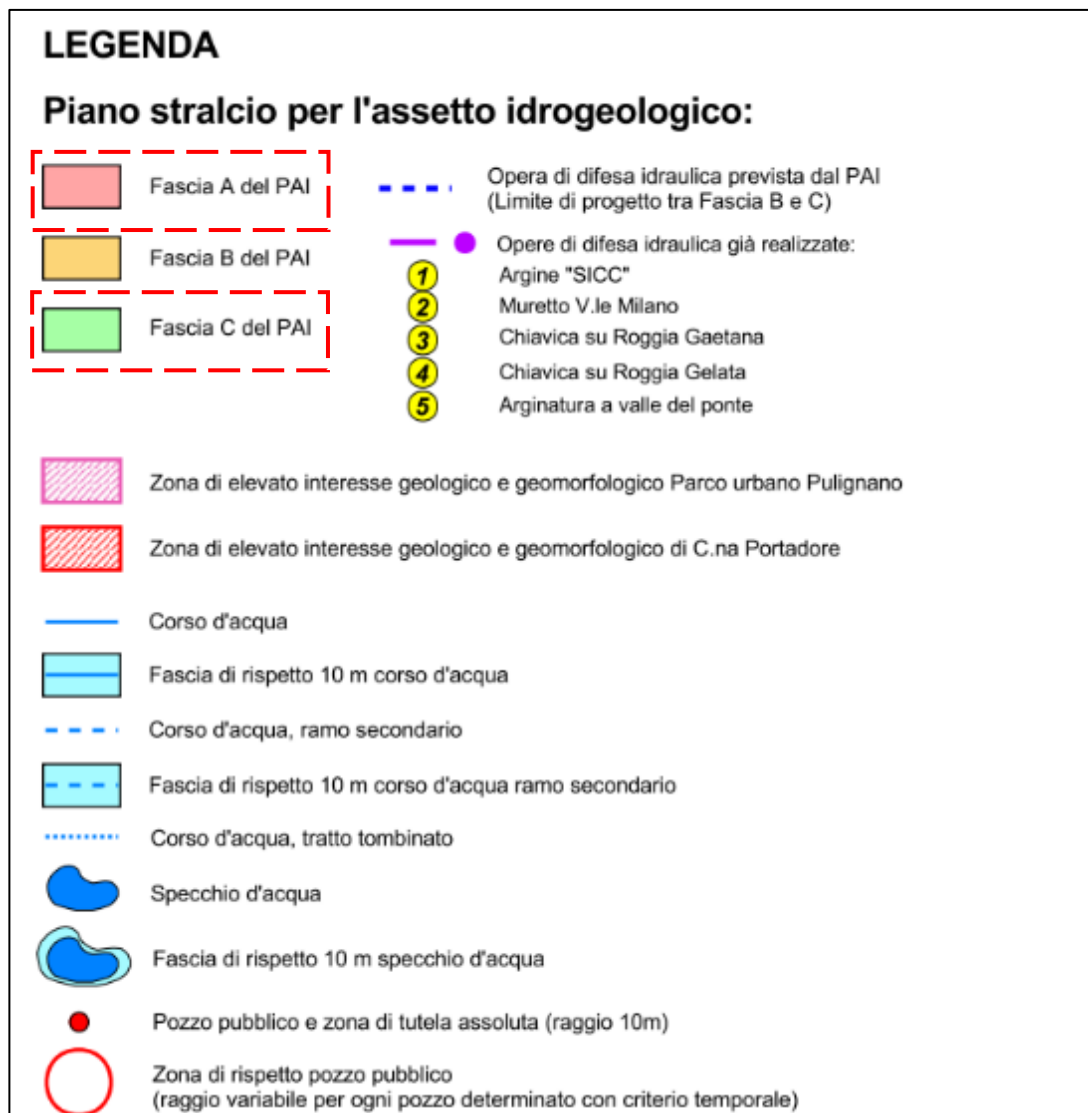
5. PERICOLOSITA' E FATTIBILITA'

La fase di progettazione preliminare e di valutazione della fattibilità dell'intervento prevede l'analisi delle limitazioni d'uso del territorio (vincoli) individuati e riportati nella "Componente geologica, idrogeologica, e sismica del Piano di Governo del Territorio" del Comune di Lodi e quelli relativi alla normativa sovraordinata (PTCP, Ambientale, Regionale e di Bacino).

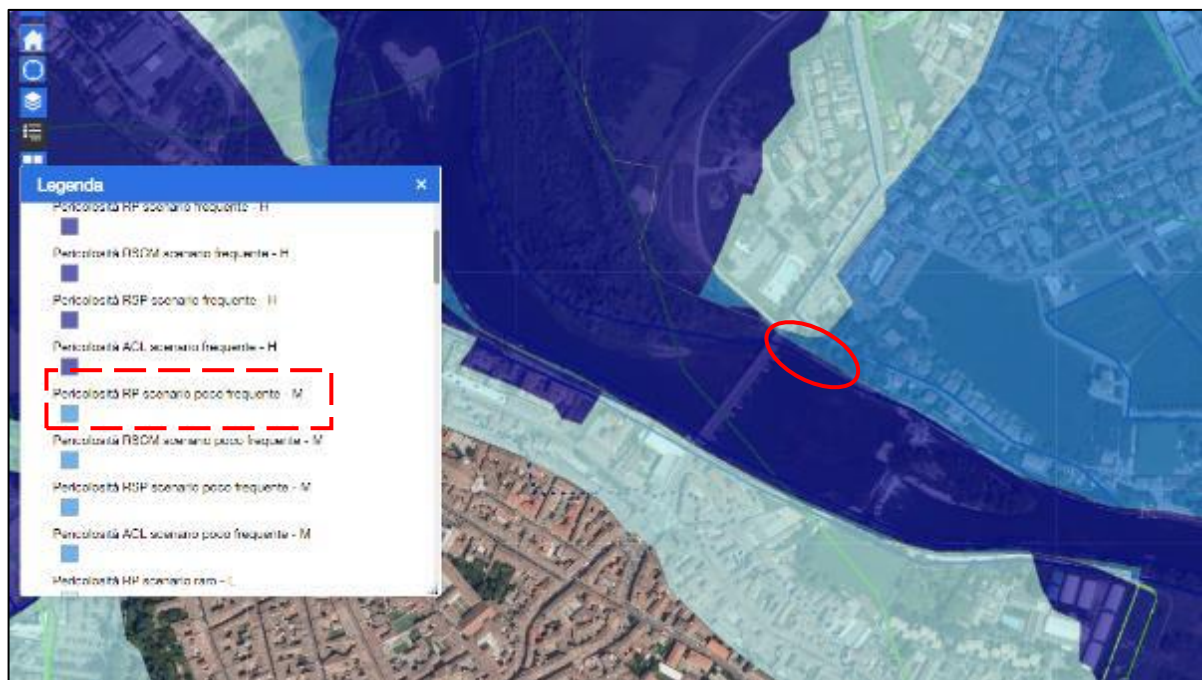
Sulla base di detta analisi si afferma che l'area in oggetto, come si evince anche dagli stralci delle figure seguenti, ricade a cavallo tra la Fascia A e la Fascia C del PAI.



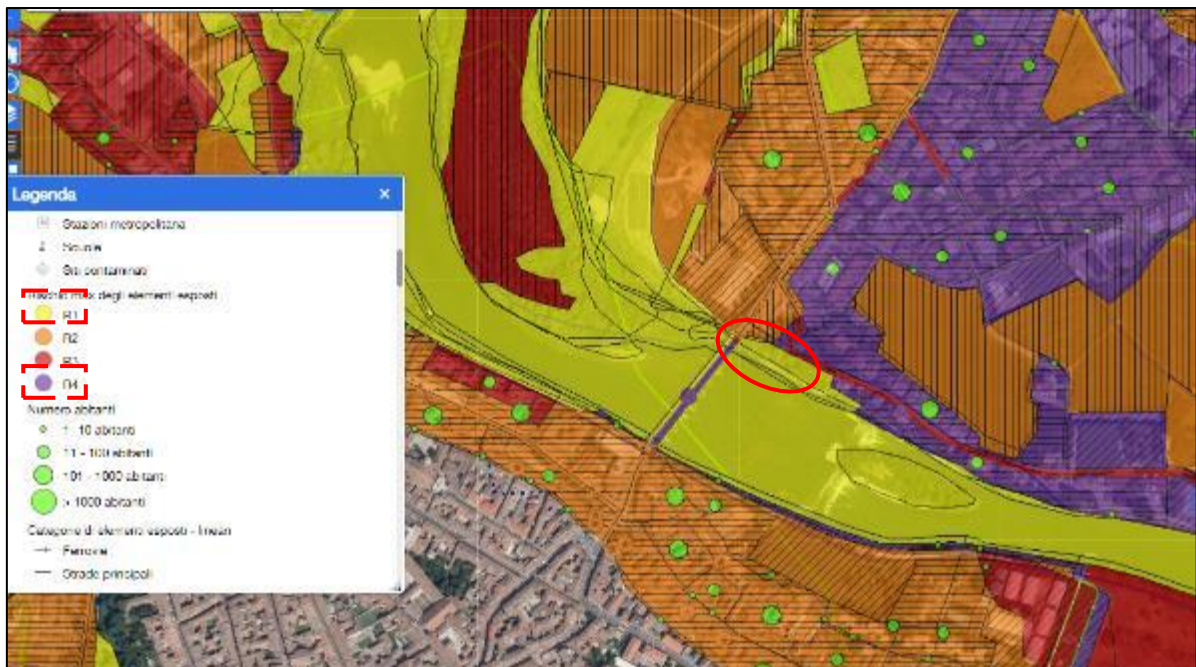
– Individuazione area di interesse sulla carta dei vincoli geologici del PGT



Ricadendo nelle fasce PAI, sono presenti anche areali del PGRA che classificano l'area come potenzialmente interessata da alluvioni poco frequenti (aree allagabili sui corsi d'acqua principali, classificate come RP-M), passando, verso l'alveo dell'Adda, allo scenario RP-H, caratterizzato da inondazioni frequenti, con rischio che passa da molto elevato (R4) a moderato (R1).

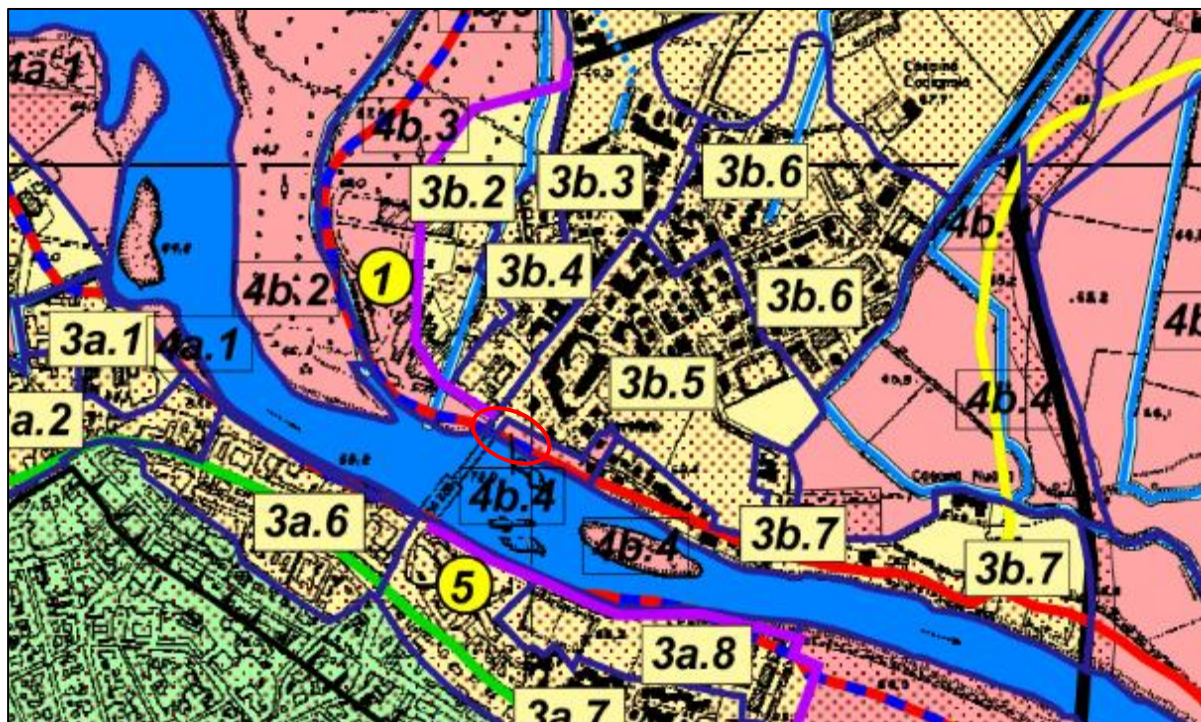


– Carta PGRA pericolosità –

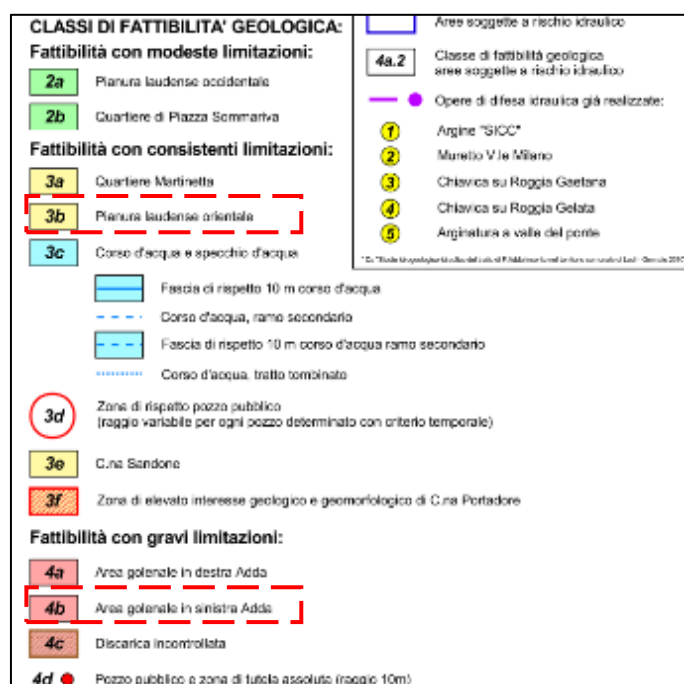


– Carta PGRA rischio –

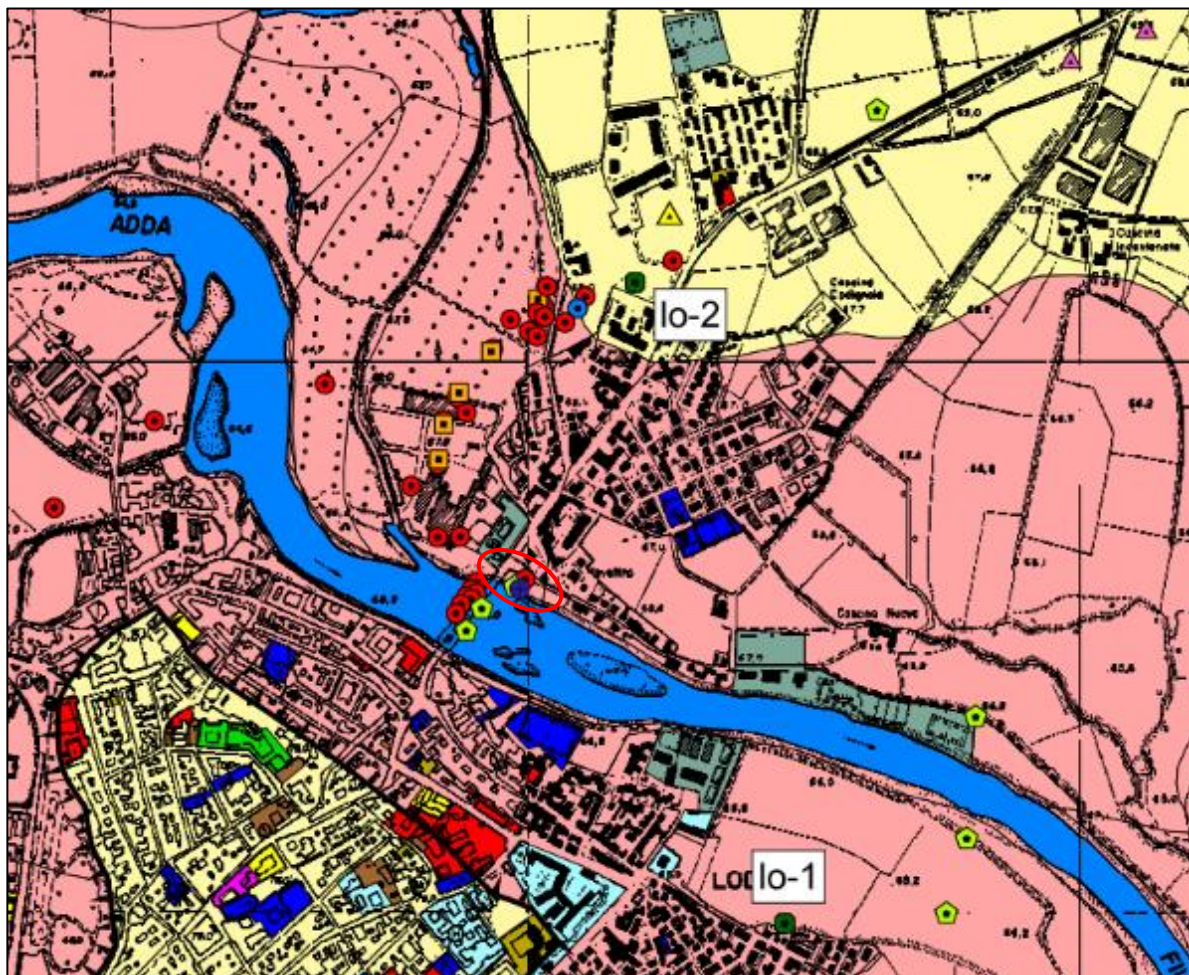
In riferimento alla “Carta di fattibilità geologica per le azioni di piano” della “Componente geologica, idrogeologica, e sismica del Piano di Governo del Territorio” del Comune di Lodi, l’area in oggetto ricade a cavallo tra **classe 3b**: *Pianura Laudense Orientale - Fattibilità con consistenti limitazioni* e la **classe 4b**: *Area golenale in sinistra Adda - Fattibilità con gravi limitazioni*.



-Individuazione area di interesse sulla carta di Fattibilità Geologica-



Con riferimento alla pericolosità sismica locale l'area è inquadrata nello scenario **Z2**:
Zona con terreni di fondazione particolarmente scadenti e zone con depositi granulari fini saturi – Cedimenti e/o liquefazioni



- Individuazione area di interesse sulla carta di Pericolosità Sismica Locale –

LEGENDA

Scenari di pericolosità sismica locale:

Z2

Zona con terreni di fondazione particolarmente scadenti e zone con depositi granulari fini saturi.
 Effetti: cedimenti e/o liquefazioni



Z3a

Zona di ciglio $H > 10$ m. Scenario di pericolosità sismica locale presente lungo alcuni tratti della scarpata morfologica principale caratterizzati da un'altezza superiore a 10 m.
 Effetti: amplificazioni topografiche

Z4a

Zona di pianura con presenza di depositi alluvionali granulari e/o coesivi.
 Effetti: amplificazioni litologiche e geometriche

6. SISMICITÀ

La porzione di territorio in cui ricade l'area in esame risulta a bassa sismicità.

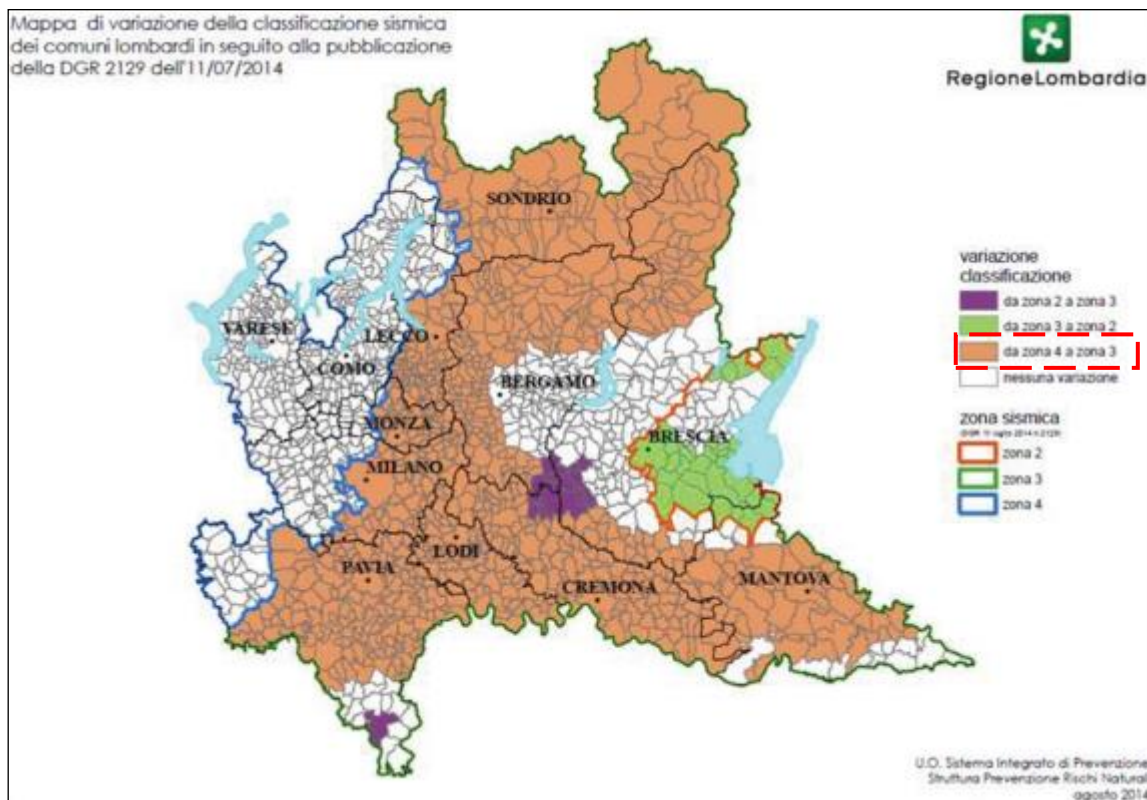
In base alle normative vigenti sul rischio sismico, ovvero:

- Ordinanza del P.C.M. n° 3274 del 20/03/2003 e succ. mod. ed int., pubblicata sul supplemento ordinario della Gazzetta Ufficiale n° 105 del 08/05/2003, che emana i "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzioni in zone sismiche" e disciplina la progettazione e la costruzione di nuovi edifici soggetti ad azioni sismiche, nonché la valutazione della sicurezza e gli interventi di adeguamento e miglioramento su edifici esistenti soggetti al medesimo tipo di azioni. Il sito di costruzione ed i terreni in esso presenti dovranno in generale essere esenti da rischi di cedimenti permanenti causati da fenomeni di liquefazione o eccessivo addensamento in caso di terremoto. L'occorrenza di tali fenomeni andrà valutata con opportune indagini geognostiche il cui scopo sarà anche quello di classificare il terreno di fondazione nelle categorie individuate dall'ordinanza.
- Il D.G.R. della Regione Lombardia del 30 novembre 2011, n. 9/2616: aggiornamento dei "Criteri e indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio in attuazione dell'art. 57, comma 1, della L.R. 11 marzo 2005, n. 12", approvati con D.G.R. 22 dicembre 2005, n. 8/1566 e successivamente modificati con D.G.R. 28 maggio 2008, n. 8/7374.
- Il D.G.R. della Regione Lombardia del 11 luglio 2014, n. 10/2129: aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d).

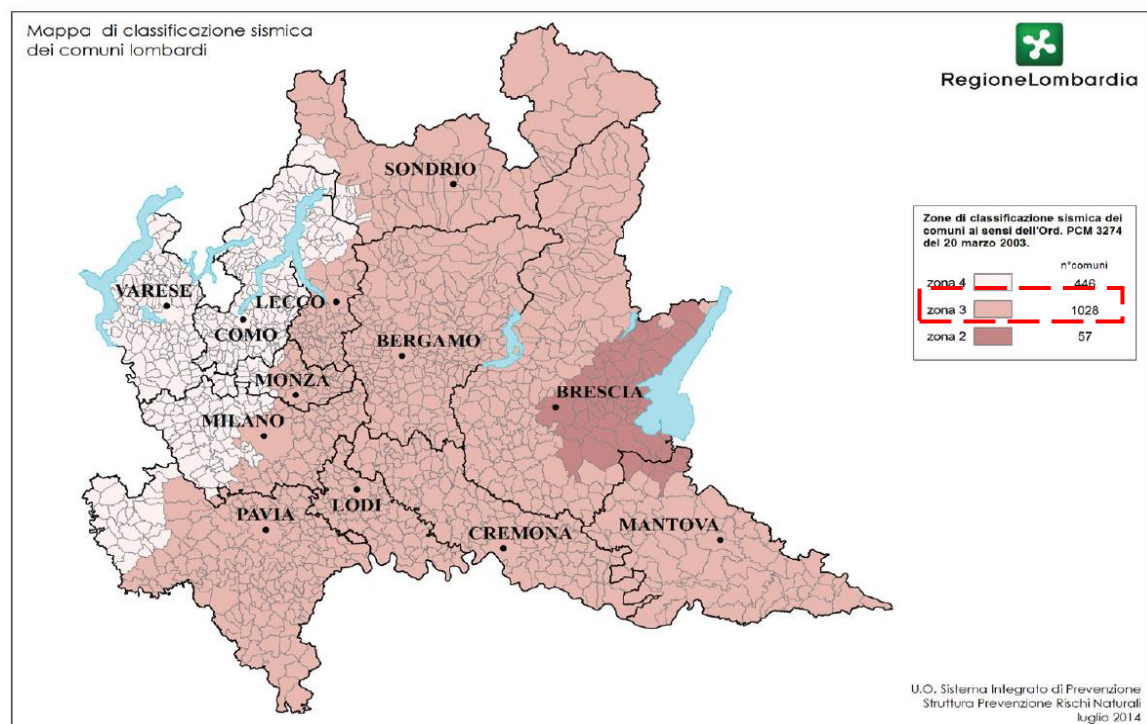
Con il D.G.R. 10 ottobre 2014 - n. 10/2489, la Giunta Regionale ha provveduto al differimento del termine per l'entrata in vigore della nuova classificazione sismica dei Comuni lombardi, di cui alla D.G.R. 11 luglio 2014, n. 2129 "Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art.3, c.108, lett. d)".

Con il D.G.R. 8 ottobre 2015 - n. 10/4144, la Giunta Regionale ha provveduto all'ulteriore differimento del termine per l'entrata in vigore della nuova classificazione sismica dei Comuni lombardi, di cui alla D.G.R. 11 luglio 2014, n. 2129 "Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art.3, c.108, lett. d)". Dal

10/04/2016, con l'entrata in vigore del D.G.R. n. 10/2129, il comune di Lodi viene riclassificato da zona 4 a zona 3.



- Mappa di variazione della classificazione sismica dei comuni lombardi -



- Mappa di classificazione sismica dei comuni lombardi -

Si riporta la tabella che individua ciascuna zona secondo i valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo (a_g), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni.

Zona sismica	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [a_g/g]	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [a_g/g]
1	> 0.25	0.35
2	0.15 – 0.25	0.25
→ 3	0.05 – 0.15	0.15
4	< 0.05	0.05

Tab. 1

Attraverso l’emanazione di successive ordinanze (Ordinanza di protezione civile n° 3379 del 05/11/2004, Ordinanza del P.C.M. n° 3431 del 03/05/2005, Ordinanza del P.C.M. n° 3452 del 01/08/2005) il termine per l’entrata in vigore dell’O.P.C.M. 3274/2003 era stato prorogato all’ 8 ottobre 2005.

Tale scadenza, 8 ottobre 2005, ha visto un ulteriore periodo transitorio per l’applicazione delle norme tecniche di 18 mesi, previsto dalla legge 18 agosto 2005, n° 168, ulteriormente prorogata al 31 dicembre 2007 (legge 26 febbraio 2007, n° 17).

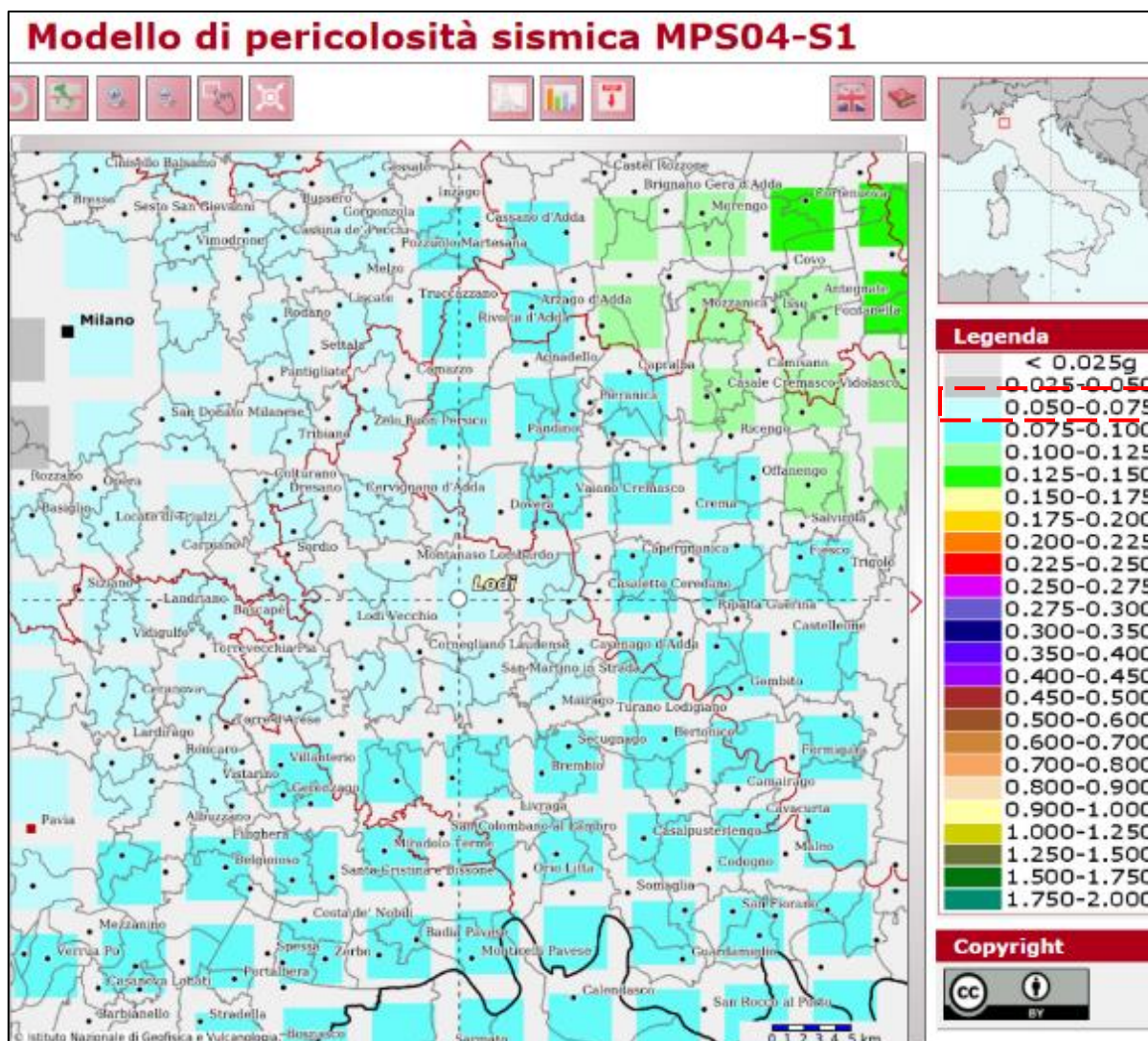
In particolare con l’entrata in vigore della legge n. 31/08 del 28/02/2008, si stabiliva che fino al 30 giugno 2009, in alternativa all’applicazione delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008), era possibile fare riferimento al D.M. 14 settembre 2005 oppure al D.M. 9 gennaio 1996.

A partire dal 01/07/2009 è terminato il periodo transitorio ed è divenuta obbligatoria l’applicazione del D.M. 14 gennaio 2008. Dal 22 marzo 2018 sono in vigore le Norme Tecniche per le Costruzioni 2018, approvate con D.M. 17 gennaio 2018.

7. CALCOLO DELL'AZIONE SISMICA

Con l'entrata in vigore del D.M. 14/01/2008 la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente".

Il territorio nazionale è stato suddiviso in punti denominati "nodi", a ciascuno dei quali è stato assegnato un valore dell'accelerazione orizzontale massima al suolo (a_g), con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (corrispondente a un periodo di ritorno di 475 anni). Le zone sismiche individuate con l'Ordinanza n° 3274/2003 assumono, pertanto, una valenza puramente amministrativa. Di seguito viene riportata la mappa di pericolosità sismica del progetto DPC INGV S1.



- Mappa di pericolosità sismica - Progetto DPC INGV S1 -

Il valore mediato degli spettri di risposta della “tabella parametri spettrali” allegata al D.M. per l’accelerazione di picco orizzontale del suolo, con probabilità di eccedenza in 50 anni del 10% (corrispondente ad un periodo di ritorno T_R di 475 anni), è di 0,070 g (dove g è l’accelerazione di gravità). Pertanto potranno essere assunte le Norme Tecniche per le Costruzioni relative al valore individuato.

La normativa prevede, inoltre, l’analisi delle condizioni topografiche che per configurazioni superficiali semplici può far riferimento alla seguente tabella (D.M. 17/01/2018).

Descrizione da D.M. 17/01/2018 – Tabella 3.2.III	
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 $i > 30^\circ$

Tab. 2

Tali categorie topografiche devono essere prese in considerazione nell’analisi sismica solo se di altezza maggiore di 30 m.

L’area oggetto della presente risulta priva di variazioni morfologiche significative (**T1**).

Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione che è descritta dalla probabilità che in un fissato lasso di tempo (periodo di riferimento V_R espresso in anni), in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato.

La pericolosità sismica è quindi definita in termini di:

1. accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido (categoria A) con superficie topografica orizzontale (categoria T1).

- ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$ con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PV_R nel periodo di riferimento V_R .

Ai fini dell'NTC sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PV_R , a partire dei valori dei seguenti parametri sul sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g** accelerazione orizzontale massima al sito
- F_o** valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
- T^*C** periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

Una delle novità dell'NTC è appunto la stima della pericolosità sismica basata su una griglia di 10751 punti dove viene fornita la terna di valori a_g , F_o , T^*C .

MURI ARGINALI E SCOGLIERE

TIPO DI COSTRUZIONE	2
VITA NOMINALE VN	≥ 50 anni
CLASSE D'USO	II
COEFFICIENTE D'USO CU	1,0
VITA DI RIFERIMENTO $V_R=VN \times CU$	50 anni

Tab. 3

Parametri sismici

Sito in esame			
latitudine:	45,320554		
longitudine:	09,510939		
Classe:	2		
Vita nominale:	50		
Siti di riferimento			
Sito 1 ID: 12930	Lat: 45,3168	Lon: 09,4408	Distanza: 5500,123
Sito 2 ID: 12931	Lat: 45,3192	Lon: 09,5117	Distanza: 0165,001

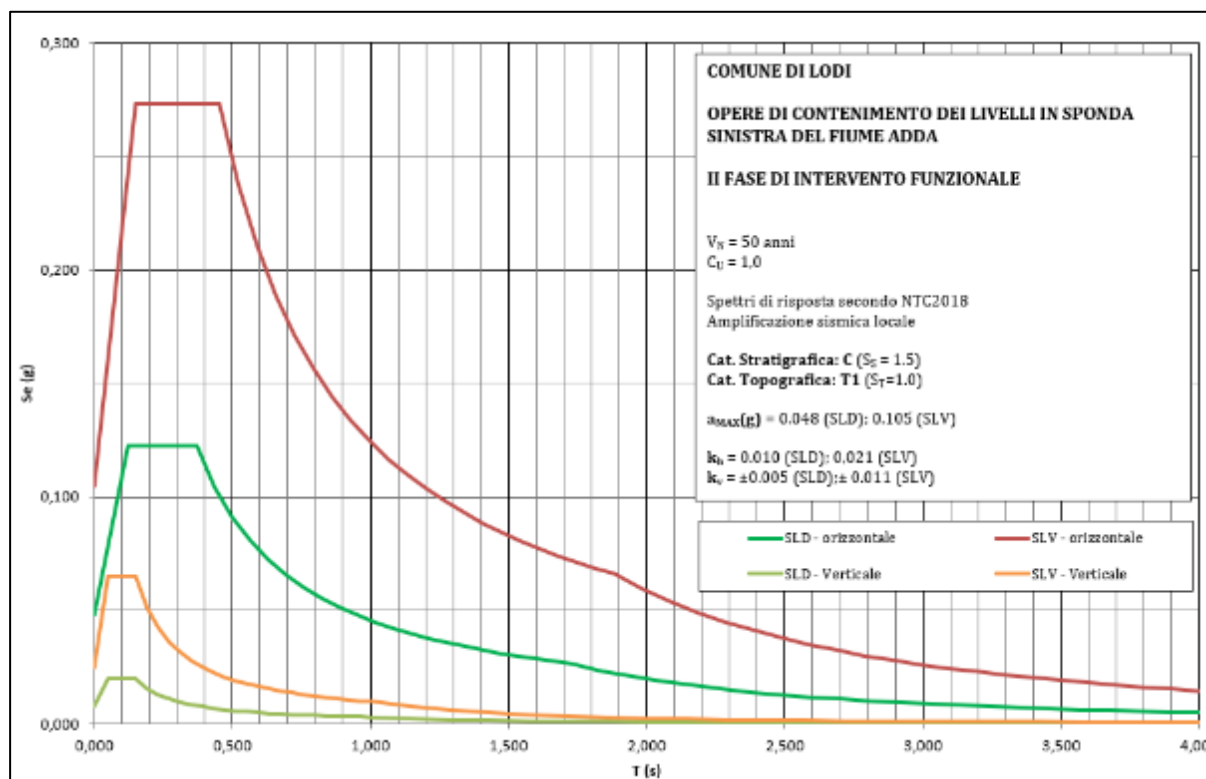
Sito 3	ID: 12709	Lat: 45,3691 Lon: 09,5084	Distanza: 5405,083
Sito 4	ID: 12708	Lat: 45,3668 Lon: 09,4374	Distanza: 7710,971
Parametri sismici			
Categoria sottosuolo:		C	
Categoria topografica:		T1	
Periodo di riferimento:		50 anni	
Coefficiente cu:		1,0 (coefficiente d'uso)	
Operatività (SLO):			
Probabilità di superamento:		81%	
Tr:		30 [anni]	
ag:		0,026 g	
Fo:		2,495	
Tc*:		0,199 [s]	
Danno (SLD):			
Probabilità di superamento:		63%	
Tr:		50 [anni]	
ag:		0,032 g	
Fo:		2,552	
Tc*:		0,212 [s]	
Salvaguardia della vita (SLV):			
Probabilità di superamento:		10%	
Tr:		475 [anni]	
ag:		0,070 g	
Fo:		2,603	
Tc*:		0,287 [s]	
Prevenzione dal collasso (SLC):			
Probabilità di superamento:		5%	
Tr:		975 [anni]	
ag:		0,088 g	
Fo:		2,603	
Tc*:		0,299 [s]	

Tab. 4

Coefficienti Sismici

SLO: Ss: 1,500 Cc: 1,790 St: 1,000 Kh: 0,008 Kv: 0,004 Amax: 0,381 Beta: 0,200	SLD: Ss: 1,500 Cc: 1,750 St: 1,000 Kh: 0,010 Kv: 0,005 Amax: 0,475 Beta: 0,200
SLV: Ss: 1,500 Cc: 1,590 St: 1,000 Kh: 0,021 Kv: 0,011 Amax: 1,034 Beta: 0,200	SLC: Ss: 1,500 Cc: 1,560 St: 1,000 Kh: 0,026 Kv: 0,013 Amax: 1,293 Beta: 0,200

Tab. 5



- Spettri di progetto -

L'accelerazione massima a_{max} è fornita dal valore nominale di a_g (g), accelerazione orizzontale massima attesa al sito, quindi a_g (SLV) = $0,070 \cdot 9,81 = 0,6867 \text{ m/sec}^2$

L'accelerazione massima a_{max} è data da:

$$a_{max} = a_g \cdot S = 0,6867 \cdot 1,500 = 1,0301 \text{ m/sec}^2$$

con $S = S_s \times S_t = 1,500 \times 1,000$ (cat. C x cat. topografica T1)

da cui si ottiene, dividendo per (g), un **a_g di sito di 0,105 g.**

La determinazione del valore a_g , consente di calcolare i parametri previste dalle Norme Tecniche; quindi, in funzione della tipologia di progetto, si individuano gli Stati Limite di Esercizio di Operatività (SLO) e di Danno (SLD) e gli Stati Limite Ultimi di Salvaguardia della Vita (SLV) e di prevenzione del Collasso (SLC).

In sintesi:

Valutazione dell'accelerazione di progetto - FONDAZIONI			
	STATO LIMITE		a_g(g)
	<u>ULTIMO (SLU)</u>	<u>salvaguardia della vita (SLV)</u>	<u>0,070</u>
	ULTIMO (SLU)	prevenzione collasso (SLC)	0,088
	ESERCIZIO (SLE)	operatività (SLO)	0,026
	<u>ESERCIZIO (SLE)</u>	<u>Danno (SLD)</u>	<u>0,032</u>
a_{max} accelerazione massima	$a_{max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_t \cdot a_g$	1,0301 m/sec²	(per SLV)
Coeff. sismico orizzontale	$K_h = \beta_s \cdot a_{max}/g$	0,0210	
Coeff. sismico verticale	$K_v = \pm 0.5 \cdot K_h$	$\pm 0,0105$	

Tab. 6

NUOVA CAMPATA PONTE

TIPO DI COSTRUZIONE	2
VITA NOMINALE VN	≥ 50 anni
CLASSE D'USO	III
COEFFICIENTE D'USO CU	1,5
VITA DI RIFERIMENTO VR=VNxCU VR	75 anni

Tab. 7

Parametri sismici

Sito in esame

latitudine: 45,320554
 longitudine: 09,510939
 Classe: 3
 Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 12930	Lat: 45,3168 Lon: 09,4408	Distanza: 5500,123
Sito 2	ID: 12931	Lat: 45,3192 Lon: 09,5117	Distanza: 0165,001
Sito 3	ID: 12709	Lat: 45,3691 Lon: 09,5084	Distanza: 5405,083
Sito 4	ID: 12708	Lat: 45,3668 Lon: 09,4374	Distanza: 7710,971

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C
 Categoria topografica: T1
 Periodo di riferimento: 75 anni
 Coefficiente cu: 1,5 (coefficiente d'uso)

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81%
 Tr: 45 [anni]
 ag: 0,031 g
 Fo: 2,540
 Tc*: 0,209 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63%
 Tr: 75 [anni]
 ag: 0,037 g
 Fo: 2,572
 Tc*: 0,226 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10%
 Tr: 712 [anni]
 ag: 0,080 g
 Fo: 2,603
 Tc*: 0,294 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

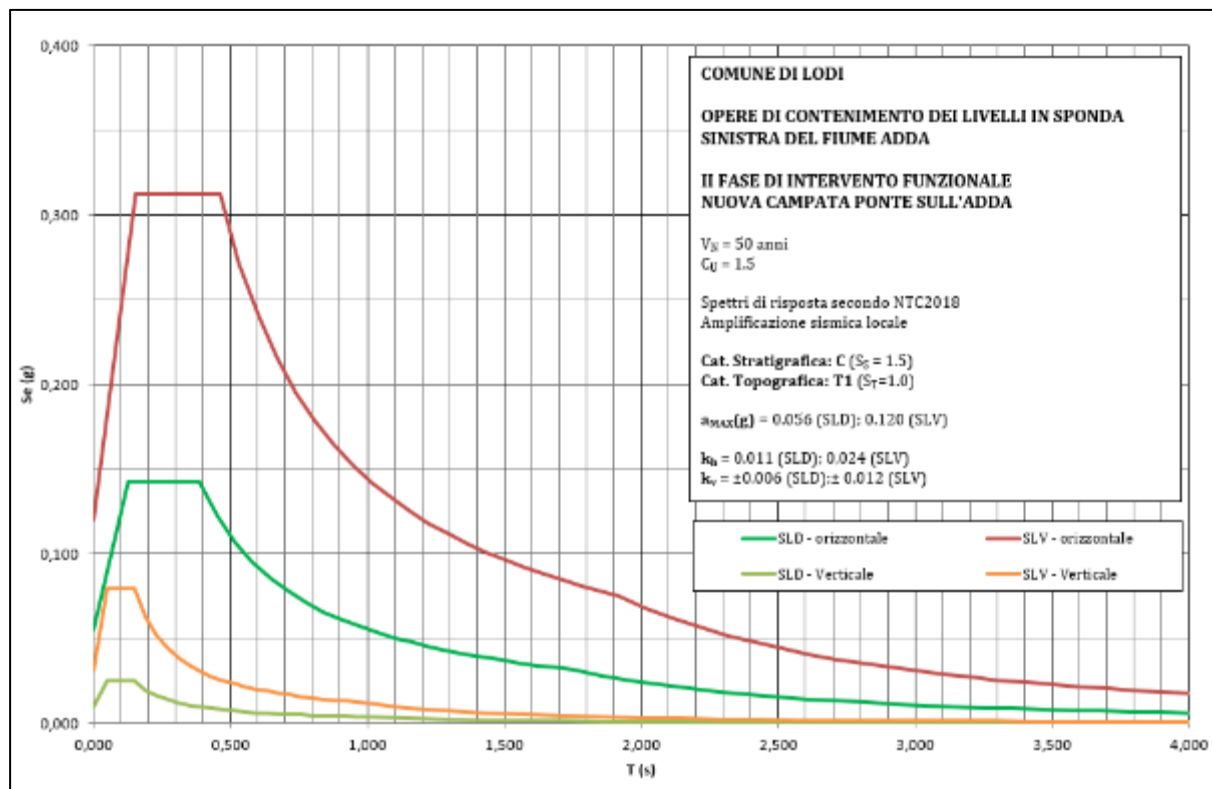
Probabilità di superamento:	5%
Tr:	1462 [anni]
ag:	0,099 g
Fo:	2,616
Tc*:	0,304 [s]

Tab. 8

Coefficienti Sismici

SLO: Ss: 1,500 Cc: 1,760 St: 1,000 Kh: 0,009 Kv: 0,005 Amax: 0,454 Beta: 0,200	SLD: Ss: 1,500 Cc: 1,720 St: 1,000 Kh: 0,011 Kv: 0,006 Amax: 0,550 Beta: 0,200
SLV: Ss: 1,500 Cc: 1,570 St: 1,000 Kh: 0,024 Kv: 0,012 Amax: 1,173 Beta: 0,200	SLC: Ss: 1,500 Cc: 1,560 St: 1,000 Kh: 0,030 Kv: 0,015 Amax: 1,461 Beta: 0,200

Tab. 9



- Spettri di progetto -

L'accelerazione massima a_{max} è fornita dal valore nominale di a_g (g), accelerazione orizzontale massima attesa al sito, quindi a_g (SLV) = $0,080 \cdot 9,81 = 0,7848 \text{ m/sec}^2$

L'accelerazione massima a_{max} è data da:

$$a_{max} = a_g \cdot S = 0,7848 \cdot 1,500 = 1,1772 \text{ m/sec}^2$$

con $S = S_s \times S_t = 1,500 \times 1,000$ (cat. C x cat. topografica T1)

da cui si ottiene, dividendo per (g), un **a_g di sito di 0,120 g.**

La determinazione del valore a_g , consente di calcolare i parametri previste dalle Norme Tecniche; quindi, in funzione della tipologia di progetto, si individuano gli Stati Limite di Esercizio di Operatività (SLO) e di Danno (SLD) e gli Stati Limite Ultimi di Salvaguardia della Vita (SLV) e di prevenzione del Collasso (SLC).

In sintesi:

Valutazione dell'accelerazione di progetto - FONDAZIONI			
	STATO LIMITE		$a_g(g)$
	<u>ULTIMO (SLU)</u>	salvaguardia della vita (SLV)	<u>0,080</u>
	ULTIMO (SLU)	prevenzione collasso (SLC)	0,099
	ESERCIZIO (SLE)	operatività (SLO)	0,031
	<u>ESERCIZIO (SLE)</u>	<u>Danno (SLD)</u>	<u>0,037</u>
a_{max} accelerazione massima	$a_{max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_t \cdot a_g$	1,1772 m/sec²	(per SLV)
Coeff. sismico orizzontale	$K_h = \beta_s \cdot a_{max}/g$	0,0240	
Coeff. sismico verticale	$K_v = \pm 0.5 \cdot K_h$	$\pm 0,0120$	

Tab. 10

Il rispetto dei vari stati limite viene considerato conseguito dalle NTC:

- Nei confronti di tutti gli Stati Limite Ultimi (SLU) quando siano soddisfatte le verifiche al solo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV).
- Nei confronti di tutti gli Stati Limite di Esercizio (SLE) quando siano soddisfatte le verifiche al solo Stato Limite di Danno (SLD).

8. INDAGINE GEOGNOSTICA

La necessità di acquisire validi e significativi dati geotecnici, circa le caratteristiche del sottosuolo, ha imposto l'esecuzione di un'indagine geognostica specifica; essa è consistita nell'esecuzione di:

- n.3 sondaggi verticali, eseguiti a carotaggio continuo, spinti sino a profondità di -35.00 m da p.c;
- n.24 prove penetrometriche dinamiche in foro tipo SPT;
- prelievo di n.24 campioni di terreno rimaneggiato di tipo geotecnico, da sottoporre a prove di caratterizzazione fisica e meccanica di laboratorio;
- prove geotecniche di laboratorio sui campioni prelevati;
- n.1 prova sismica con metodo MASW.

Inoltre, per la caratterizzazione dello stato dell'opera muraria in essere, state svolte le seguenti indagini:

- n.3 Prove su porzione muraria con martinetto piatto singolo (per la valutazione del carico in esercizio) e con martinetto piatto doppio (per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del paramento murario)
- n.8 Prove endoscopiche su muratura comprensiva di realizzazione di perforazione di piccolo diametro e successiva ripresa con endoscopio o video-endoscopio e restituzione stratigrafica;
- n.18 Prove con sclerometro su mattoni in laterizio;
- n.18 Prove penetrometriche su malta;
- n.1 Indagine termografica finalizzata all'esame del paramento murario;

Per una descrizione dettagliata delle attrezzature e delle risultanze di quanto eseguito si rimanda al report illustrativo allegato alla presente che ne costituisce parte integrante.

9. NATURA E CARATTERISTICHE DEL SOTTOSUOLO

L'area è caratterizzata dalla presenza depositi di origine alluvionale nella fascia che comprende il passaggio tra le alluvioni attuali (presenti in corrispondenza dell'alveo del Fiume Adda) e le alluvioni medio recenti che affiorano ad una quota topograficamente più elevata; si tratta di terreni di natura prevalentemente ghiaioso sabbiosa e sabbioso ghiaiosa, localmente con ciottoli, cui si intercalano interstrati sabbioso limoso argillosi. Tali depositi sono comunque organizzati in geometrie lentiformi e nastriformi tipiche dell'ambiente deposizionale fluviale.

Per una descrizione dettagliata delle caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche si rimanda ai report allegati.

10. RISCHIO LIQUEFAZIONE

Per liquefazione di un terreno s'intende il quasi annullamento della sua resistenza al taglio con l'assunzione del comportamento meccanico caratteristico dei liquidi.

Possono essere suscettibili a liquefazione i depositi che presentano le seguenti caratteristiche:

- Granulometricamente sono sabbie da fini a medie con contenuto in fine variabile generalmente da 0 a 25%.
- Si trovano sotto falda.
- Sono da poco a mediamente addensati.
- Si trovano a profondità relativamente basse (di solito inferiori ai 15 m).

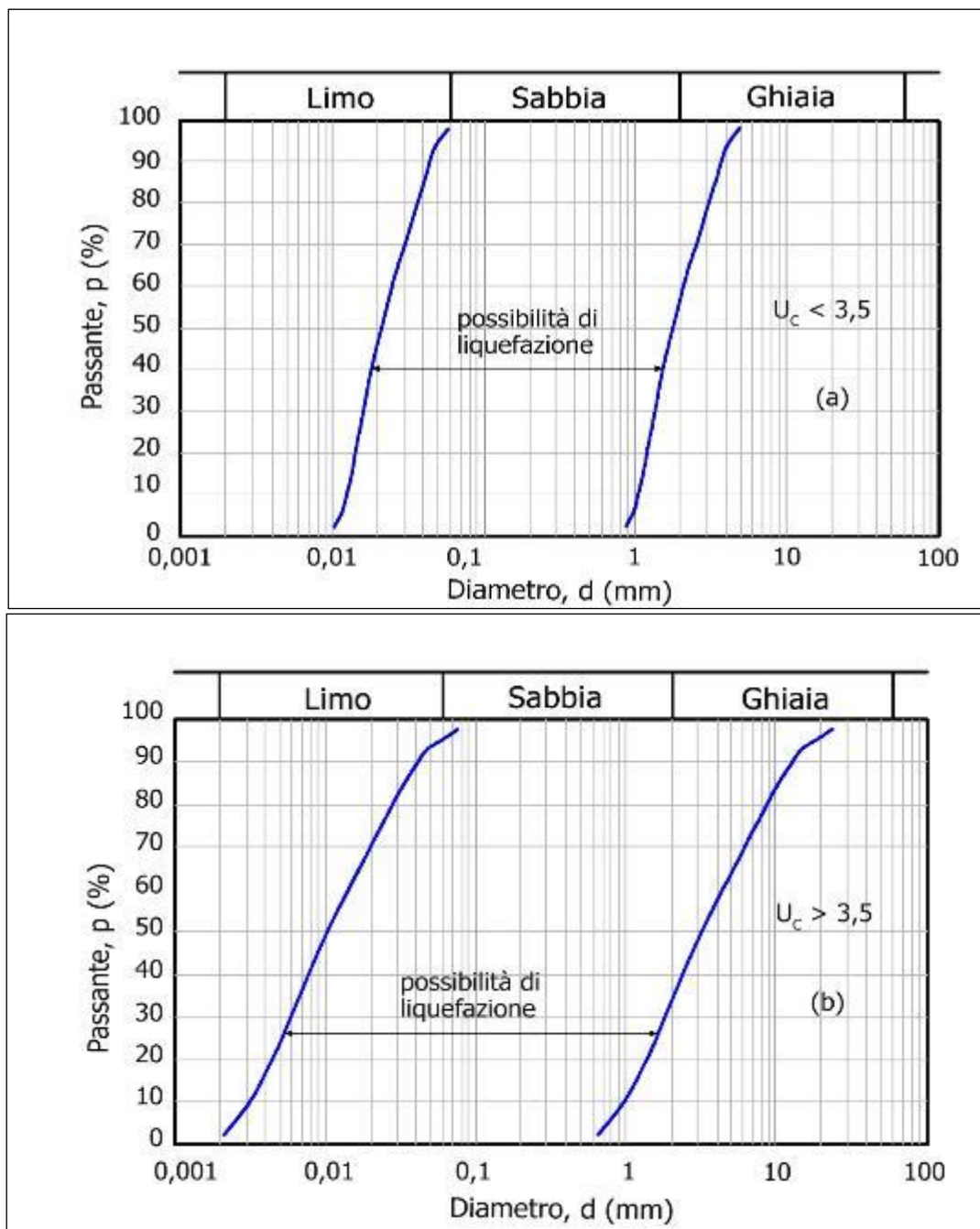
Un terreno incoerente saturo, in assenza di sollecitazioni sismiche, è soggetto soltanto alla pressione litostatica, dovuta al peso dei sedimenti soprastanti.

Durante una sollecitazione sismica vengono indotte nel terreno delle sollecitazioni cicliche di taglio, dovute alla propagazione delle onde sismiche verso la superficie, mentre la pressione litostatica resta costante. Nel terreno si possono quindi generare fenomeni di liquefazione se la scossa sismica produce un numero di cicli tale da far sì che la pressione interstiziale uguagli la pressione di confinamento, costituita, ad una data profondità, dalla colonna di terreno sovrastante e dagli eventuali sovraccarichi.

In definitiva il fenomeno della liquefazione si può manifestare preferibilmente in depositi sciolti non coesivi posti sotto falda, in seguito ad eventi che producano un forte aumento della pressione interstiziale dell'acqua.

In ogni caso la verifica alla liquefazione può essere esclusa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- Eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5.
- Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,100 g.
- 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 $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa.



- Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione - Figure 7.11.1a e 7.11.1b

Nel caso in oggetto, essendo l'area inquadrata nello scenario di PSL Z2, è stato necessario procedere alla verifica della liquefazione. Sussistono infatti potenziali condizioni litostratigrafiche predisponenti a fenomeni di liquefazione, imputabili alla possibile presenza di depositi sabbiosi saturi. Per la valutazione del potenziale di liquefazione è stato adottato il metodo di calcolo semi-empirico di Seed e Idriss (1982). Esso prevede la valutazione della resistenza al taglio mobilitata R tramite parametri

ricavati da prove SPT; i parametri sismici considerati sono l'accelerazione massima attesa e l'attenuazione dello sforzo di taglio dovuta al comportamento non rigido del terreno, espressa in funzione della profondità tramite il coefficiente r_d .

E' stato assunto un livello di progetto della falda a -3,00 m da p.c.

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE					
(da prove dinamiche SPT)					
Metodo semplificato					
Metodo di Seed e Idris (1982)					
PARAMETRI:				<div>R=Resistenza al taglio mobilitata</div> <div>T=Sforzo di taglio indotto dal sisma</div> <div>d₅₀=Diametro della curva granulometrica corrispondente al passante al 50%</div>	
γ	=	1,90	g/cm³		
σ _{vo}	=	0,57	kg/cm²		
σ _{vo'}	=	0,27	kg/cm²		
profondità dello strato	=	300	cm		
N _{SPT}	=	11			
profondità falda	=	300	cm		
γ H ₂ O	=	1	g/cm³		
Pressione neutra	=	0,000	kg/cm²		
z	=	3	m		
FORMULE:				RISULTATI:	
Na = (N _{SPT} *(1,7/((σ _{vo'} +0,7)))+N _f)				22,2244	Na
<div>N_f = 7,5</div>					
R = Na/90				0,2469	R
T = 0,65*((a _{max} /g)*(σ _{vo} /σ _{vo'}))*r _d				0,07449	T
<div>a_{max}/g = 0,120</div>					
<div>r_d = 0,955</div>					
1,3	≤	Fs=R/T	Sabbie sature	3,31	Verificato Fs

Tab. 7

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

(da prove dinamiche SPT)

Metodo semplificato

Metodo di Seed e Idris (1982)

PARAMETRI:

γ	=	1,90	g/cm ³
σ_{vo}	=	2,85	kg/cm ²
σ_{vo}'	=	1,65	kg/cm ²
profondità dello strato	=	15000	cm
N_{SPT}	=	31	
profondità falda	=	300	cm
γ_{H_2O}	=	1,200	g/cm ³
Pressione neutra	=	0,000	kg/cm ²
z	=	15	m

R= Resistenza al taglio mobilitata

T= Sforzo di taglio indotto dal sisma

d_{50} = Diametro della curva granulometrica corrispondente al passante al 50%

FORMULE:

RISULTATI:

$$N_a = (N_{SPT} * (1,7 / (\sigma_{vo} + 0,7)) + N_f)$$

29,9255

N_a

$$N_f = 7,5$$

$$R = N_a / 90$$

0,3325

R

$$T = 0,65 * ((a_{max} / g) * (\sigma_{vo} / \sigma_{vo}')) * r_d$$

0,1044

T

$$a_{max} / g = 0,120$$

$$r_d = 0,775$$

$$1,3 \leq F_s = R / T \quad \text{Sabbie sature}$$

3,18

Verificato F_s

Tab. 8

Per gli strati considerati si è ottenuto un $F_s > 1,30$.

11. CONCLUSIONI

La presente relazione è stata redatta al fine di valutare le caratteristiche geologiche, idrogeologiche e sismiche di un'area ubicata nel territorio comunale di Lodi a corredo della realizzazione di opere di contenimento (quali scogliere, corazzamenti fondo fiume, muri arginali ed una nuova campata del ponte esistente) in sponda sinistra del Fiume Adda – Il fase di intervento funzionale.

Sulla base delle considerazioni svolte nei paragrafi precedenti e delle indagini realizzate nell'area in oggetto si traggono le seguenti conclusioni:

- La carta della Fattibilità Geologica del PGT del comune di Lodi inquadra l'area in oggetto a cavallo tra la classe 3 (fattibilità con consistenti limitazioni) e la classe 4 (fattibilità con gravi limitazioni), mentre la carta di PSL inquadra l'area nello scenario Z2.
- Si ritiene che le opere di progetto siano compatibili con l'assetto geologico, geomorfologico ed idrogeologico dei luoghi. Pertanto, l'intervento, se eseguito in ottemperanza a quanto prescritto nella presente relazione, è compatibile con le Classi di Fattibilità Geologica in cui ricade.
- Una porzione dell'area risulta caratterizzata da fenomeni tipici della dinamica fluviale attiva di corsi d'acqua come il fiume Adda e quindi soggetta ad un'evoluzione di carattere geomorfologico. Parte degli interventi in progetto risultano volti a stabilizzare e mitigare proprio questi aspetti.
- Lo studio geologico ha permesso di definire la natura e le caratteristiche dei terreni presenti nell'area esaminata rilevando depositi di origine alluvionale di natura prevalentemente incoerente quali ghiaie sabbiose e sabbie ghiaiose, con limo e argilla in proporzione variabile, localmente con ciottoli, cui si intercalano strati sabbioso limoso argillosi dalle proprietà geotecniche complessive da più che sufficienti a discrete.
- Sulla base delle indagini sismiche eseguite la categoria di appartenenza del litotipo equivalente è la C: *“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”.

- L'accelerazione sismica massima attesa nell'area di studio (a_{max}) per lo Stato Limite di Vita (SLV), definita a partire dalla pericolosità sismica di base propria del sito e dai parametri sismici di progetto, risulta, quindi, pari a 1,0301 m/sec² (0,105 g). I corrispondenti coefficienti verticale e orizzontale per le fondazioni sono rispettivamente: $K_h = 0,0210$ e $K_v = \pm 0,0105$.
- Per la nuova campata del ponte l'accelerazione sismica massima attesa nell'area di studio (a_{max}) per lo Stato Limite di Vita (SLV), definita a partire dalla pericolosità sismica di base propria del sito e dai parametri sismici di progetto, risulta pari a 1,1772 m/sec² (0,120 g). I corrispondenti coefficienti verticale e orizzontale per le fondazioni sono rispettivamente: $K_h = 0,0240$ e $K_v = \pm 0,0120$.
- La verifica alla liquefazione, eseguita con il metodo semplificato di Seed ed Idriss, ha fornito un Fattore di sicurezza superiore a 1,30; si ritiene quindi che lo sviluppo del fenomeno di liquefazione nel sito in esame sia altamente improbabile.

Dalle considerazioni espone in questa sede e dall'esame delle condizioni geomorfologiche, geologiche ed idrogeologiche dell'area e dei depositi indagati si può affermare che le caratteristiche dell'area risultano compatibili con la destinazione d'uso prevista e con quanto in progetto, facendo riferimento a quanto sin qui esposto.

In fase esecutiva, dato il carattere puntuale dei dati forniti dalle indagini e della presenza di terreni di riporto, si dovrà comunque verificare attentamente la rispondenza delle condizioni locali con le caratteristiche litologiche ed idrogeologiche indicate nella presente relazione; nel caso di mancata rispondenza si prescrive la sospensione dei lavori. Nell'eventualità anche le condizioni geotecniche dovranno essere rivedute e corrette.

