



Regione Lombardia

Est Ticino Villoresi



D.G.R. XI/4337 del 22.02.2021 - CONVENZIONE PER MANUTENZIONE STRAORDINARIA DELLA ROGGIA CARONA IN COMUNE DI LACCHIARELLA (MI), DEL NAVIGLIACCIO, VERNAVOLA E VERNAVOLINO IN COMUNE DI PAVIA (PV) E DEL TICINELLO MENDOSIO IN COMUNE DI BINASCO (MI)

LAVORI DI DIFESA E SOSTEGNO SPONDALE MEDIANTE RISAGOMATURA E FORMAZIONE DI SCOGLIERE"

CUP C97H21002240002
PROGETTO DEFINITIVO

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

geom. Andrea Ferrari

ELABORATO

R.03-CAR

IL PROGETTISTA

ing. Alessandro Di Leo

DESCRIZIONE

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA
Roggia Carona

SCALA

DATA
LUGLIO 2022

REV.

DATA

DESCRIZIONE MODIFICA

REDATTO

CONTROLL.

APPROVATO

Est Ticino Villoresi



Consorzio di Bonifica

CONSORZIO DI BONIFICA EST TICINO VILLORESI

Via Ludovico Ariosto, 30

20145 - Milano

tel. 02 48561301

e.mail: info@etvilloresi.it - PEC: etvilloresi@pec.it

Provincia di Milano
COMUNE DI LACCHIARELLA



ROGGIA CARONA
REALIZZAZIONE NUOVO MURO
DI SOSTEGNO SPONDALE
VIA PER BIROLO

Relazione Geologica e Sismica
ai sensi del D.M. 17.01.2018
e del D.G.R. N. IX/2616 del 30.11.2011

Carpenedolo (BS), 03.11.2021

Dott. Geol. Giancarlo Poli – Dott. Geol. Leonardo Spada – Ing. Paolo Franzoni – Ing. Paolo Franzoni
Via Meucci, 26 25013 Carpenedolo (BS)

**Provincia di Milano
COMUNE DI LACCHIARELLA**

**ROGGIA CARONA
REALIZZAZIONE NUOVO MURO DI SOSTEGNO SPONDALE
VIA PER BIROLO**

**COMMITTENTE: Consorzio di Bonifica Est Ticino Villoresi
Via Lodovico Ariosto, 30
20145 - Milano (MI)**

INDICE

1	RIFERIMENTI NORMATIVI	4
2	GENERALITÀ.....	6
3	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO, GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO.....	7
3.1	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	7
3.2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO.....	8
3.3	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	8
4	FATTIBILITÀ GEOLOGICA, VINCOLI E PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE	10
5	SISMICITÀ.....	13
6	INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	15
6.1	GENERALITÀ.....	15
6.2	PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE (SCPT)	15
6.2.1	GENERALITÀ.....	15
6.2.2	ATTREZZATURA	16
6.2.3	ELABORAZIONE.....	16
6.2.4	PARAMETRI GEOTECNICI DESUNTI DALLE PROVE PENETROMETRICHE SCPT	16
7	INDAGINE SISMICA	18
7.1	INTRODUZIONE.....	18
7.2	INDAGINE MASW	18
7.2.1	METODOLOGIA DI INDAGINE.....	18
7.2.2	STRUMENTAZIONE	20
7.2.3	ELABORAZIONE.....	21
7.2.4	RISULTATI	22
8	AMPLIFICAZIONE SISMICA DEL SITO.....	24
8.1	GENERALITÀ.....	24
8.2	PROCEDURA REGIONE LOMBARDIA.....	24
8.3	DETERMINAZIONE DEL PERIODO DI RIFERIMENTO DEL SITO	25

9	AZIONE SISMICA	27
9.1	INTRODUZIONE.....	27
9.2	AZIONE SISMICA DI BASE	28
9.3	AZIONE SISMICA DI PROGETTO	30
10	RISCHIO DI LIQUEFAZIONE	32
10.1	GENERALITÀ.....	32
11	NATURA E CARATTERISTICHE GEOMECCANICHE DEL SOTTOSUOLO	34
12	CONCLUSIONI E PRESCRIZIONI	37

ALLEGATI

- Corografia generale in scala 1:10.000
- Carta Geologica in scala 1:100.000
- Planimetria generale con ubicazione indagini
- Sintesi risultati prove penetrometriche dinamiche continue (SCPT)
- Report fotografico

1 RIFERIMENTI NORMATIVI

- **Decreto Ministeriale 11/03/1988**

"Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione"

- **Decreto Ministeriale 16/01/1996**

"Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche"

- **Decreto Ministeriale 14/01/2008**

Norme Tecniche per le Costruzioni

- **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Circolare n.617 del 02/02/2009**

Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al D.M. 14/01/2008. Circolare 02/02/2009

- **Decreto Ministeriale 17/01/2018**

Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni"

- **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici – Circolare n.7 del 21/01/2019**

Istruzioni per l'applicazione dell'"Aggiornamento Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al D.M. 17/01/2018. Circolare 02/02/2009"

- **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**

Legge per il Governo del Territorio

- **Legge Regionale Lombardia n.4 del 15/03/2016**

Revisione della normativa regionale in materia di difesa del suolo, di prevenzione e mitigazione del rischio idrogeologico e di gestione dei corsi d'acqua

- **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)

- **Direttiva 2007/60/CE del parlamento europeo e del consiglio del 23/10/2007**

Valutazione e gestione dei rischi di alluvioni

- **D.Lgs 23/02/2010, n. 49**

Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni

- **D.P.C.M. 26/10/2015**

Approvazione del "Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni" per il Distretto Idrografico Padano

- **Autorità di Bacino del Fiume Po**

Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI)-Interventi sulla rete idrografica e sui versanti-Norme di Attuazione

- **Autorità di Bacino del Fiume Po – Atto del Comitato Istituzionale - Deliberazione n.4/2015**

D.Lgs 23/02/2010, n. 49 e s.m.i., art.7, comma 8: adozione del "Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni" del Distretto Idrografico Padano

- **Autorità di Bacino del Fiume Po – Atto del Comitato Istituzionale - Deliberazione n.2/2016**

Direttiva 2007/60/CE, art.7; D.Lgs. 3/04/2006, n.152 e s.m.i., art.63, comma 10; D.Lgs. 23/02/2010 n.49 e s.m.i., art. 7, comma 8 – Approvazione del "Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni del Distretto Idrografico Padano" (PGRA)

- **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 del Comune di Lacchiarella**

2 GENERALITÀ

Su incarico dell'Ing. Di Leo Alessandro, per conto della società Consorzio di Bonifica Est Ticino Villoresi, è stata eseguita una campagna di indagini geognostiche e geofisiche, nonché è stata redatta la presente geologica e sismica, sui terreni interessati dalla realizzazione di un nuovo muro di sostegno sponale lungo la roggia Carona, ubicata in Comune di Lacchiarella (MI), in via per Birolo, s.n.c..

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, contiene le considerazioni e le stime a carattere geologico-geotecnico riguardanti i terreni interessati dalle fondazioni dell'opera in progetto.

L'opera in progetto, alla luce della normativa vigente (NTC 2018), appartiene al Tipo 2 (N.T.C. 2018 2.4.1, Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari) con Classe d'Uso II (N.T.C. 2018 2.4.2, Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti).

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 della relazione d'opera geotecnica.

Per la caratterizzazione geologico-geotecnica dei terreni di sottofondazione e per la definizione della categoria di sottosuolo e della frequenza naturale di sito, nel mese di settembre 2021, sono state eseguite le seguenti indagini:

- n.1 prova penetrometrica dinamica continua (SCPT) di tipo super pesante (DPSH), spinta sino a profondità pari a -10.00 m da p.c.;
- n.1 prospezione sismica attiva di tipo MASW, con stendimento di lunghezza pari a 46.00 m;

Per le notizie di carattere geologico generale e geologico tecnico 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 dagli scriventi nella zona, tramite precedenti lavori e indagini.

3 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO, GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO

3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

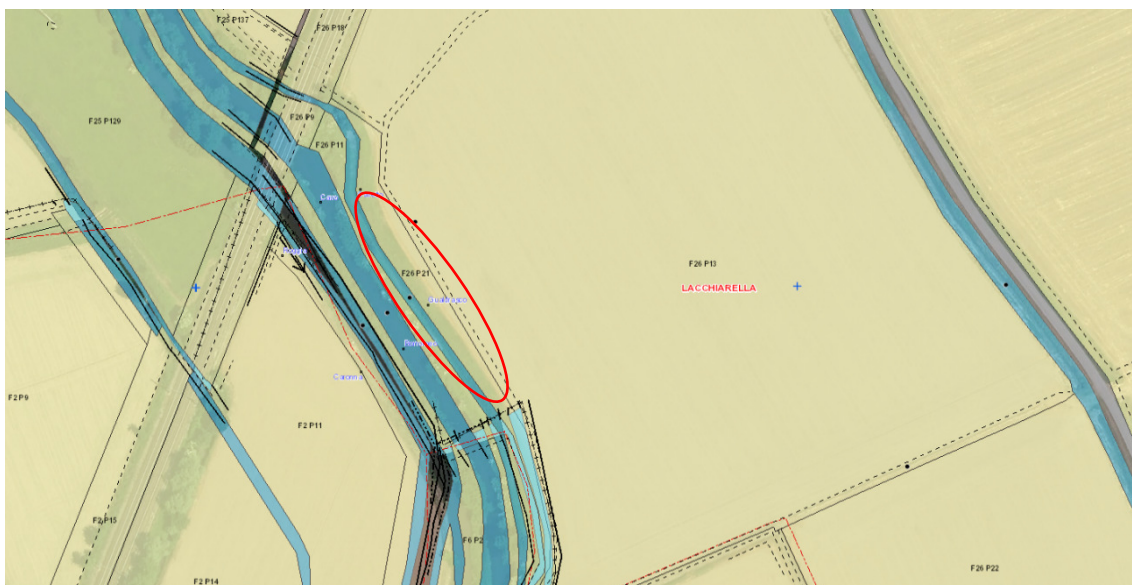
Il territorio comunale di Lacchiarella, che si estende su un'area di 24.04 km², è compreso tra una quota minima di 87 m s.m. nella porzione sud orientale del Comune e una massima di 101 m s.m. in corrispondenza del confine settentrionale.

L'area in oggetto, situata in Comune di Lacchiarella, presso via per Birolo s.n.c.; ricade nel Foglio B7B1 della Carta Tecnica Regionale ed è centrata sulle coordinate 45°17'55.49" di latitudine N, 09°10'46.00" di longitudine E, a una quota di circa 90 m s.m.



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

Catastalmente l'area oggetto di intervento è identificata dalla particella 21 del Foglio n.26 del Comune di Lacchiarella (codice catastale E395).



-Veduta aerea dell'area in esame (estratto da mappa catastale)-

3.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Il territorio comunale di Lacchiarella è caratterizzato dalla presenza di alluvioni della superficie principale della pianura (Diluvium Recente), talora ricoperte localmente da limi successivi difficilmente distinguibili.

Tali alluvioni sono costituite da ghiaietto, sabbie e limo argilloso alterati nella parte superficiale, nonché da banchi di argilla.

Tali depositi denotano una genesi fluvioglaciale e sono attribuibili al Fluvioglaciale Wurm. Essi rappresentano la porzione medio-grossolana dei sedimenti risalenti al Pleistocene Superiore, accumulatisi nella Valle Padana durante la fase parossistica dell'ultima glaciazione (Wurmiana).

Tali depositi costituiscono il livello principale della Pianura Padana, definito in letteratura come Piano Generale Terrazzato (P.G.T.).

Litologicamente il sottosuolo è costituito prevalentemente da materiale tendenzialmente fine a scheletro sabbioso con rara ghiaia talora intercalato da livelli decisamente limosi e/o argillosi.

Essendo sedimenti di natura alluvionale, tali intercalazioni si presentano sottoforma lenticolare talora con limitata estensione areale.

Geomorfologicamente il territorio comunale risulta pianeggiante, senza evidenza di elementi morfologici degno di nota.

Le uniche forme morfologiche evidenti sono legate alla presenza di piccole scarpate connesse ai canali e rogge principali.

Secondo la Carta Geologica a scala 1: 100.000 Foglio N.59-PAVIA, l'area in esame appartiene alle Alluvioni della superficie principale della pianura (Q_{1r}, Diluvium recente), costituite da alluvioni sabbiose e limose, occasionalmente argillose, talora ricoperte (localmente) da limi successivi difficilmente distinguibili.

Morfologicamente il sito in esame, posto ad una quota di circa 90 m s.m., è ubicato in un'area pianeggiante, non soggetta a fenomeni di dinamica geomorfologica in atto o potenziali che pregiudichino la stabilità dei luoghi.

3.3 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Dal punto di vista idrogeologico il territorio comunale di Lacchiarella è caratterizzato dalla presenza di tre acquiferi, costituiti da sabbie a matrice limosa, i quali presentano estensione e potenza piuttosto variabile:

- Primo Acquifero: esteso da 0.0 m a 13-15 m da p.c., costituito da ghiaie e sabbie con subordinate lenti limose e argillose. Tra 13-15 m da p.c. e 18-20 m da p.c. si individua un livello piuttosto continuo di argille e sabbie fini;

- Secondo Acquifero: esteso da 18-20 m da p.c. sino a 57-60 m da p.c., costituito da sabbie e ghiaie con lenti di limo e argilla ad andamento laterale molto discontinuo. Al di sotto si rinviene un livello molto continuo di argille grigie per uno spessore di oltre 10 metri con presenza di torbe, sia al tetto che internamente;
- Terzo Acquifero: costituito da sabbie e ghiaie molto fini, contenente falde in pressione.

Il livello della prima falda si imposta a ridotta profondità e talvolta emergere dalla superficie topografica dando origine a fontanili.

L'andamento delle isofreatiche della falda superficiale denota un flusso principale con direzione da NO-SE, con quote variabili compresa tra 96 m s.m. (settore NO) e 85 m s.l.m. (settore SE).

Il gradiente della falda non è costante, ma connesso principalmente alle caratteristiche litologiche, alle diverse velocità di movimento, alla presenza di cavi, rogge e canali che possono disperdere le loro acque nel sottosuolo.

Complessivamente, la falda risulta interessata da una sostanziale stabilità delle oscillazioni (al massimo 1.0 m all'anno), legate all'azione regolatrice svolta dai principali canali artificiali e naturali. Ovvero, essendo il territorio comunale di Lacchiarella,

Nel corso delle indagini eseguite è stata osservata la presenza di falda acquifera a una profondità pari a circa -2.20 m da p.c., in accordo con quanto riportato sul PGT comunale.

4 FATTIBILITÀ GEOLOGICA, VINCOLI E PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

La fase di progettazione 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 Comunale, nonché delle limitazioni relative alla normativa sovraordinata (Provinciale, Regionale e di Bacino).

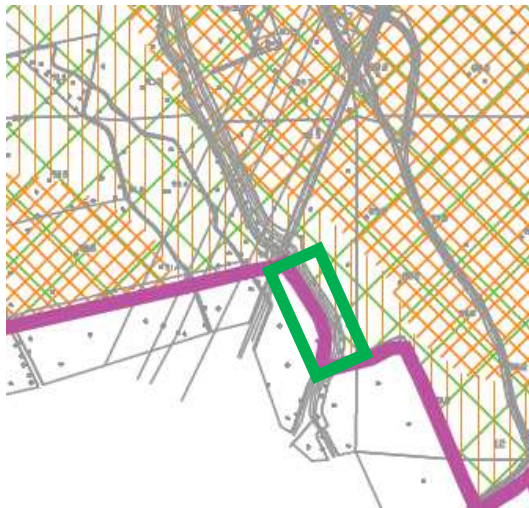
Dall'esame della componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del P.G.T. vigente del Comune di Lacchiarella si ricavano i seguenti dati:

- In riferimento alla "Carta di Fattibilità geologica per le azioni di piano", l'area oggetto di intervento ricade in classe 3a (Classe di fattibilità geologica con consistenti limitazioni- aree caratterizzate dalla presenza entro almeno i primi 2.5 m di profondità di terreni che presentano scadenti caratteristiche geotecniche, a componente prevalente limoso argillosa, che comporta una limitata capacità portante)
- In riferimento alla "Carta dei vincoli", l'area oggetto di intervento risulta inclusa all'interno della fascia di rispetto di 10 m del reticolo idrico secondario e risulta soggetta a vincoli paesaggistici (Parchi regionali: Parco agricolo Sud Milano).
- In riferimento al Piano di Gestione del Rischio Alluvioni, l'area oggetto di intervento non risulta collocata in alcuno scenario di pericolosità per l'ambito territoriale di Reticolo secondario di Pianura (RSP).
- Con riferimento alla Carta della Pericolosità Sismica Locale l'area oggetto di intervento risulta inquadrata nello scenario sismico Z4a (zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi).

Sulla base di quanto sopra esposto, gli interventi in progetto sono compatibili in relazione ai vincoli e alle limitazioni comunali e sovracomunali presenti nell'area in oggetto in quanto l'opera in progetto è classificata come intervento di sistemazione idrologica/idrogeologica necessario alla messa in sicurezza dei siti.

Per quanto riguarda il vincolo paesaggistico, il progetto dell'opera deve essere autorizzato dal Consiglio Direttivo del Parco Agricolo Sud, secondo quanto prescritto dal D.G.R. n.7/818 del 3 agosto 2000.

Nelle figure seguenti sono riportati gli stralci della cartografia ufficiale consultata con l'ubicazione dell'area oggetto di intervento.



CLASSE II
Comprende le aree in cui sono state rilevate modeste condizioni limitative alla modifica di destinazione d'uso dei terreni, quali la limitata soggiacenza della falda, che in tali aree si attesta a più di 2,5 - 3,0 metri di profondità dal piano campagna locale.

CLASSE III
In questa classe ricadono le zone in cui sono state riscontrate consistenti limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica d'uso per le condizioni di pericolosità/vulnerabilità individuate, per il superamento delle quali potrebbero rendersi necessari interventi specifici o opere di difesa

SOTTOCLASSE III a
caratterizzata dalla presenza, entro almeno i primi 2,5 metri di profondità, di terreni che presentano scadenti caratteristiche geotecniche a componente prevalentemente limosa e argillosa che comporta una limitata capacità portante dei terreni

SOTTOCLASSE III b
la soggiacenza della falda si attesta a profondità inferiori a 2,5 metri dal piano campagna locale, determinando un elemento di limitazione in caso di progetti edificatori che comportino la realizzazione di cantine, piani interrati o garage sotterranei

SOTTOCLASSE III c
aree ove la falda si attesta in prossimità del piano campagna (- 0,50 m _ - 1,0 m), soprattutto durante i periodi di irrigazione per le pratiche agricole, nei quali il livello della falda si alza decisamente

SOTTOCLASSE III d
aree caratterizzate dalla presenza, entro almeno i primi 2,5 metri di profondità, di terreni che presentano scadenti caratteristiche geotecniche a componente prevalentemente limosa e argillosa che comporta una limitata capacità portante dei terreni e dalla presenza della falda in prossimità del piano campagna (- 0,50 m _ - 1,0 m), soprattutto durante i periodi di irrigazione per le pratiche agricole, nei quali il livello della falda si alza decisamente



Aree di sottoposizione delle opere idriche

Zona di tutela assoluta del pozzo idroelettrico avente raggio 70 m, istituito con ordinanza che opera di tutela del pozzo idroelettrico (Decreto del 14/01/00, L. 15/01/00 succ. modifiche).

Zona di tutela assoluta del pozzo idroelettrico avente raggio 70 m, istituito con ordinanza che opera di tutela del pozzo idroelettrico (Decreto del 14/01/00, L. 15/01/00 succ. modifiche).

Resto di opere dei lavori di idr.

Resto di opere dei lavori di idr. (cassa di 50 metri) murato e intonacato, in stato di degrado, con opere di restauro in corso.

Vincoli per la tutela delle opere idriche

Resto di opere dei lavori di idr. (cassa di 50 metri) murato e intonacato, in stato di degrado, con opere di restauro in corso.

Resto di opere dei lavori di idr. (cassa di 50 metri) murato e intonacato, in stato di degrado, con opere di restauro in corso.

Resto di opere dei lavori di idr. (cassa di 50 metri) murato e intonacato, in stato di degrado, con opere di restauro in corso.

Resto di opere dei lavori di idr. (cassa di 50 metri) murato e intonacato, in stato di degrado, con opere di restauro in corso.

Resto di opere dei lavori di idr. (cassa di 50 metri) murato e intonacato, in stato di degrado, con opere di restauro in corso.

Resto di opere dei lavori di idr. (cassa di 50 metri) murato e intonacato, in stato di degrado, con opere di restauro in corso.

Resto di opere dei lavori di idr. (cassa di 50 metri) murato e intonacato, in stato di degrado, con opere di restauro in corso.

Vincoli per la tutela delle opere idriche

Resto di opere dei lavori di idr. (cassa di 50 metri) murato e intonacato, in stato di degrado, con opere di restauro in corso.

Resto di opere dei lavori di idr. (cassa di 50 metri) murato e intonacato, in stato di degrado, con opere di restauro in corso.

Resto di opere dei lavori di idr.

Resto di opere dei lavori di idr. (cassa di 50 metri) murato e intonacato, in stato di degrado, con opere di restauro in corso.

Vincoli per la tutela delle opere idriche

Resto di opere dei lavori di idr. (cassa di 50 metri) murato e intonacato, in stato di degrado, con opere di restauro in corso.

Resto di opere dei lavori di idr. (cassa di 50 metri) murato e intonacato, in stato di degrado, con opere di restauro in corso.

Resto di opere dei lavori di idr. (cassa di 50 metri) murato e intonacato, in stato di degrado, con opere di restauro in corso.

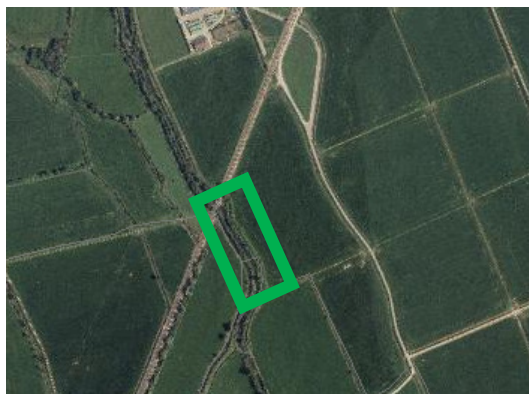
Resto di opere dei lavori di idr. (cassa di 50 metri) murato e intonacato, in stato di degrado, con opere di restauro in corso.

Resto di opere dei lavori di idr. (cassa di 50 metri) murato e intonacato, in stato di degrado, con opere di restauro in corso.

Resto di opere dei lavori di idr. (cassa di 50 metri) murato e intonacato, in stato di degrado, con opere di restauro in corso.

Resto di opere dei lavori di idr. (cassa di 50 metri) murato e intonacato, in stato di degrado, con opere di restauro in corso.

-Stralcio Carta della Fattibilità Geologica per le Azioni di Piano e stralcio Carta dei Vincoli-



Pericolosità

Pericolosità RP scenario frequente - H

Pericolosità RP scenario poco frequente - M

Pericolosità RP scenario raro - L

Pericolosità RSP scenario frequente - H

Pericolosità RSP scenario poco frequente - M

Pericolosità RSP scenario raro - L

Pericolosità RSP scenario frequente - H

Pericolosità RSP scenario poco frequente - M

Pericolosità RSP scenario raro - L

Pericolosità RSP scenario frequente - H

Pericolosità RSP scenario poco frequente - M

Pericolosità RSP scenario raro - L

Pericolosità RSP scenario frequente - H

Pericolosità RSP scenario poco frequente - M

Pericolosità RSP scenario raro - L

Pericolosità RSP scenario frequente - H

Pericolosità RSP scenario poco frequente - M

Pericolosità RSP scenario raro - L

Pericolosità RSP scenario frequente - H

Pericolosità RSP scenario poco frequente - M

Pericolosità RSP scenario raro - L

Pericolosità RSP scenario frequente - H

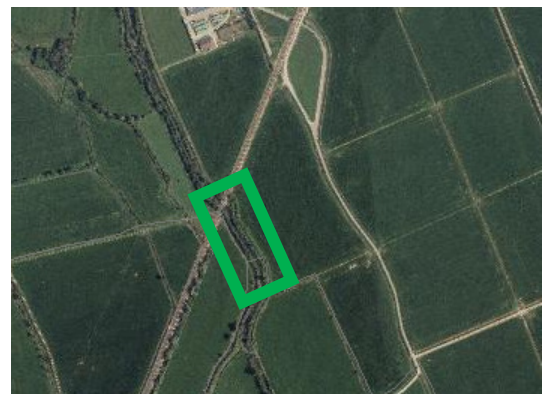
Pericolosità RSP scenario poco frequente - M

Pericolosità RSP scenario raro - L

Pericolosità RSP scenario frequente - H

Pericolosità RSP scenario poco frequente - M

Pericolosità RSP scenario raro - L



Rischio max degli elementi esposti

R1

R2

R3

R4

Categorie di elementi esposti - lineari

Ferrovie

Strade principali

Strade secondarie

Metropolitane

Rischio degli elementi lineari

R1

R2

R3

R4

R1

R2

R3

R4

R1

R2

R3

R4

R1

R2

R3

R4

Categorie di elementi esposti - poligonali

Zone urbanizzate

Attività produttive

Strutture strategiche e sedi di attività collettive

Infrastrutture strategiche

Inseadimenti produttivi o impianti tecnologici, potenzialmente pericolosi dal punto di vista ambientale e aree protette potenzialmente interessate

Beni ambientali, storici e culturali di rilevante interesse

Rischio molto elevato - R4

Rischio elevato - R3

Rischio medio - R2

Rischio moderato - R1

Rischio molto elevato - R4

Rischio elevato - R3

Rischio medio - R2

Rischio moderato - R1

Rischio molto elevato - R4

Rischio elevato - R3

Rischio medio - R2

Rischio moderato - R1

Rischio molto elevato - R4

Rischio elevato - R3

Rischio medio - R2

Rischio moderato - R1

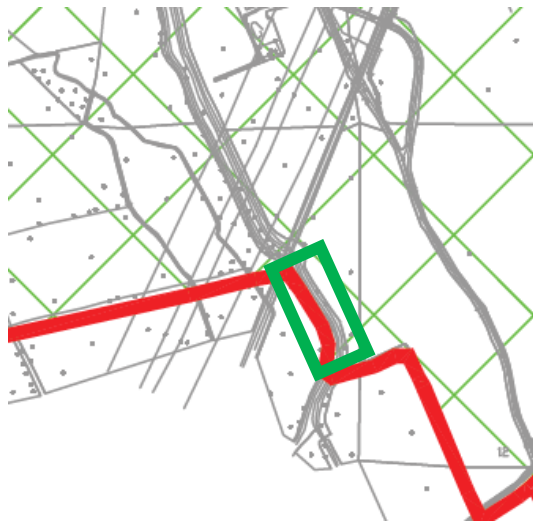
Rischio molto elevato - R4

Rischio elevato - R3

Rischio medio - R2

Rischio moderato - R1

-Stralcio Carte Piano Gestione Rischio Alluvioni (PGRA): pericolosità (sinistra) e rischio (destra)-



Scenario di pericolosità sismica (studio di I livello)



Z4a - Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi soggetta ad amplificazioni litologiche e geometriche.

Indagini sismiche pregresse e risultati dello studio di II livello



Stendimenti sismici pregressi, eseguiti con metodologia MASW. In rosso la relativa categoria di sottosuolo determinata a seguito dello studio sismico di II livello, idonea sia per strutture con T compreso tra 0,1-0,5s che strutture con T compreso tra 0,5-1,5s.



Stendimenti sismici aggiuntivi, eseguiti con metodologia MASW e relativo codice identificativo che rimanda all'Allegato 3. In rosso la relativa categoria di sottosuolo determinata a seguito dello studio sismico di II livello, idonea sia per strutture con T compreso tra 0,1-0,5s che strutture con T compreso tra 0,5-1,5s.

Indagini tromometriche pregresse



Indagine sismica passiva, pregressa, e relativo codice identificativo che rimanda all'Allegato 3. In rosso i picchi di frequenza caratteristica di risonanza del sito (espressi in Hz).



Comune di Lacchiarella

-Stralcio Carta della Pericolosità Sismica Locale (PSL)-

5 SISMICITÀ

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

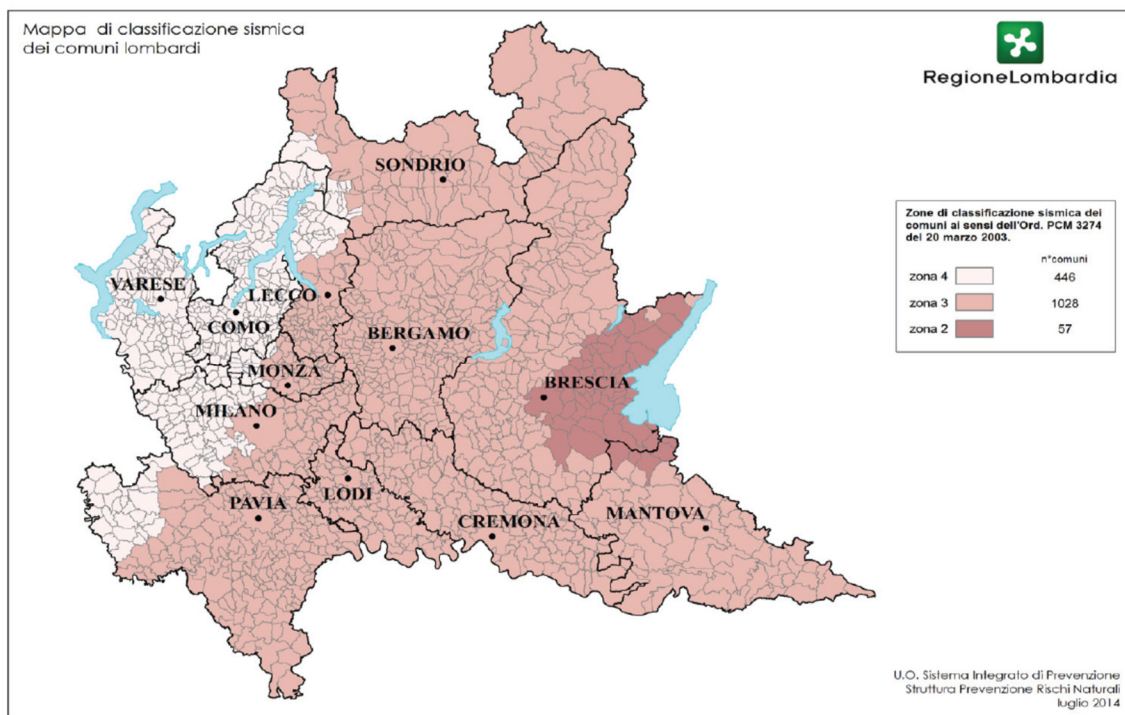
La normativa vigente sul rischio sismico è di seguito riassunta:

- 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 Lacchiarella viene classificato in **zona 3**.



-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

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 è 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 stabilisce che fino al 30 giugno 2009, in alternativa all'applicazione delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008), è 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 20 marzo 2018, con l'entrata in vigore del D.M. 17 gennaio 2018, vengono applicate le Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018).

6 INDAGINI GEOGNOSTICHE

6.1 GENERALITÀ

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

- n.1 prova penetrometrica dinamica continua (SCPT) di tipo super pesante (DPSH), spinta sino a profondità pari a -10.00 m da p.c.;

Negli allegati specifici, annessi al presente documento, sono riportati, i risultati delle prove in sito eseguite, nonché la relativa documentazione fotografica.

Nei paragrafi seguenti sono sinteticamente descritte le lavorazioni effettuate.

6.2 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE (SCPT)

6.2.1 GENERALITÀ

Durante la campagna di indagini è stata eseguita n.1 prova penetrometrica dinamica continua con penetrometro super pesante (DPSH), realizzata secondo la normativa EN ISO 22476-2, in conformità con le procedure ISSMF del 1998 e con le Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche (A.G.I.).

Le prove penetrometriche dinamiche consistono nell'infissione verticale all'interno del terreno, di una punta conica avvitata all'estremità inferiore di una batteria di aste metalliche, mediante battitura con un maglio che cade liberamente da un'altezza costante.

L'infissione della batteria di aste può essere eventualmente alternata all'infissione di una batteria di rivestimento esterna, dotata all'estremità inferiore di una scarpa tagliente.

Durante la prova si rileva il numero di colpi necessari per la penetrazione di un tratto di 20.0 cm della punta ed alternativamente del rivestimento (se utilizzato).

La prova si considera a rifiuto nel caso in cui il numero di colpi necessario all'infissione della punta di 20 cm è superiore a 100.

La buona diffusione di questo tipo di prova, applicabile in tutti i tipi di deposito (granulari e coesivi), e la sua standardizzazione, consentono di ottenere una valutazione qualitativa del grado di addensamento o di consistenza dei terreni attraversati, nonché un'identificazione attendibile dei principali parametri geotecnici, mediante l'utilizzo delle principali correlazioni presenti in bibliografia.

I parametri geotecnici del terreno di fondazione possono essere ricavati da relazioni empiriche proposte da vari autori correlando il numero di colpi del penetrometro con quelli della prova SPT, oppure correlando la resistenza dinamica R_{PD} alla resistenza alla punta q_c ottenuta con le prove penetrometriche statiche CPT. Le prove sono state eseguite con penetrometro statico/dinamico Pagani TG 63-200 KN da 20 ton, montato su semovente cingolato.

6.2.2 ATTREZZATURA

L'attrezzatura utilizzata per l'esecuzione delle prove, oltre al penetrometro di cui sopra, è costituita da:

- Aste $\varnothing 32-34$ mm, $L=1.00$ m, peso 5.9 kg/m;
- Punta conica $\varnothing 50.5$ mm, angolo di apertura pari a 90° , area pari a 20.03 cm²;
- Tubi metallici di rivestimento $\varnothing_{EST}=48$ mm, peso 5.3 kg/m;
- Scarpa tagliente per colonna di rivestimento;
- Dispositivo di infissione della punta dotato di dispositivo di sganciamento automatico costituito da un maglio di peso pari a 73 kg, che cade liberamente da un'altezza costante di 0.75 m, e da una testa di battuta avvitata alla sommità della batteria di aste (energia specifica per colpo eseguito pari a 238 kJ/m²);
- Dispositivo conta colpi analogico.

6.2.3 ELABORAZIONE

Al fine di garantire l'uniformità dei risultati di prove eseguite con diverse attrezzature, per ogni passo di infissione della punta (di spessore pari a 20 cm), viene calcolata la resistenza alla penetrazione dinamica (R_{pd}), mediante la seguente formulazione (Formulazione Olandese):

$$R_{pd} = \frac{M^2 \times H}{A \times e \times (M + P)}$$

Dove:

- M (kg): massa del maglio;
- H (cm): altezza di caduta del maglio;
- A (cm²): area della sezione trasversale della punta;
- e (cm): infissione media per colpo ($e=\delta/N$);
- δ (cm): avanzamento della punta (in questo caso 0.20 m);
- N (-): numero di colpi necessario alla penetrazione della punta di un tratto di lunghezza standard (in questo caso N_{20});
- P (kg): peso totale aste e sistema di battuta.

Nello specifico allegato sono riportati i tabulati dei risultati ottenuti da ogni singola prova e i grafici dell'andamento di N_{20} e R_{pd} con la profondità.

6.2.4 PARAMETRI GEOTECNICI DESUNTI DALLE PROVE PENETROMETRICHE SCPT

I parametri geotecnici dei terreni interessati dalle prove sono stati ricavati suddividendo i depositi investigati in livelli caratterizzati da valori di N_{20} relativamente costanti; per ogni livello è stato calcolato il valore di N_{SPT} equivalente ottenuto dalla seguente formulazione:

$$N_{SPT,EQ} = \beta_T \times N$$

Dove:

- $N_{SPT, EQ}$ (-): numero di colpi da prova SPT equivalenti al numero di colpi da prova penetrometrica dinamica (N);
- β_T (-): rapporto fra energia specifica per colpo da prova penetrometrica dinamica (Q) e da prova penetrometrica SPT (Q_{SPT});

$$\beta_T = \frac{Q}{Q_{SPT}} \qquad Q = \frac{M \times H}{A \times \delta} \qquad Q_{SPT} = 7.83 \text{ kg/cm}^2$$

Dai valori di $N_{SPT, EQ}$ ottenuti, opportunamente corretti in funzione del carico litostatico e della lunghezza delle aste ($(N_1)_{60-EQ}$), sono stati successivamente calcolati i principali parametri geotecnici medi associati agli strati utilizzando le seguenti correlazioni empiriche:

- Densità relativa: determinata secondo le formulazioni proposte da Terzaghi & Peck (1967) e da Yoshida & Kokusho (1988);
- Angolo di attrito efficace: determinato utilizzando le correlazioni proposte da Peck, Hansaon & Thornburn (1974) e da Meyerhof (1956);
- Coesione non drenata: determinata utilizzando le correlazioni proposte da Terzaghi & Peck (1948) e da Sivrikay & Togol (2007);
- Modulo di deformazione drenato: determinato utilizzando le correlazioni proposte da Tornaghi et Al. e da Bowles (1987);
- Modulo di deformazione drenato al 25%: determinato utilizzando le correlazioni proposte da Jamiolkowsky (1988) e da Stroud (1989);
- Modulo di deformazione non drenato: determinato utilizzando le correlazioni proposte da Bowles (1987) e da Kulhawy & Mayne (1990).

Nello specifico allegato sono riportate le tabelle di sintesi dei risultati delle prove SCPT effettuate e i corrispondenti parametri geotecnici ricavati dalla stessa, utilizzando le correlazioni di cui sopra.

7 INDAGINE SISMICA

7.1 INTRODUZIONE

Nel mese di ottobre 2021, in via dell'Artigianato nel comune di Binasco, è stata eseguita un'indagine geofisica con metodo MASW, con l'obiettivo di determinare la velocità ponderata delle onde sismiche di taglio nei primi 30 metri a partire dal piano delle fondazioni ($V_{s,EQ}$), in riferimento alla nuova classificazione sismica del territorio, al D.M. 17/01/18 ("Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni") e secondo le direttive della Giunta Regionale della Regione Lombardia contenute nella D.G.R. n. 9/2616 del 30 Novembre 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 Marzo 2005, n. 12).

Di seguito si riporta la descrizione della metodologia adottata, nonché i risultati dell'indagine eseguita.

7.2 INDAGINE MASW

7.2.1 METODOLOGIA DI INDAGINE

La MASW (Multichannel Analysis of Seismic Waves) è una metodologia di indagine geofisica che consente l'individuazione di frequenza, ampiezza, lunghezza d'onda e velocità di propagazione delle onde sismiche superficiali (principalmente onde di Rayleigh) generate artificialmente. L'analisi delle onde superficiali permette la determinazione delle velocità delle onde di taglio verticali (V_s) nei terreni al di sotto dello stendimento sismico.

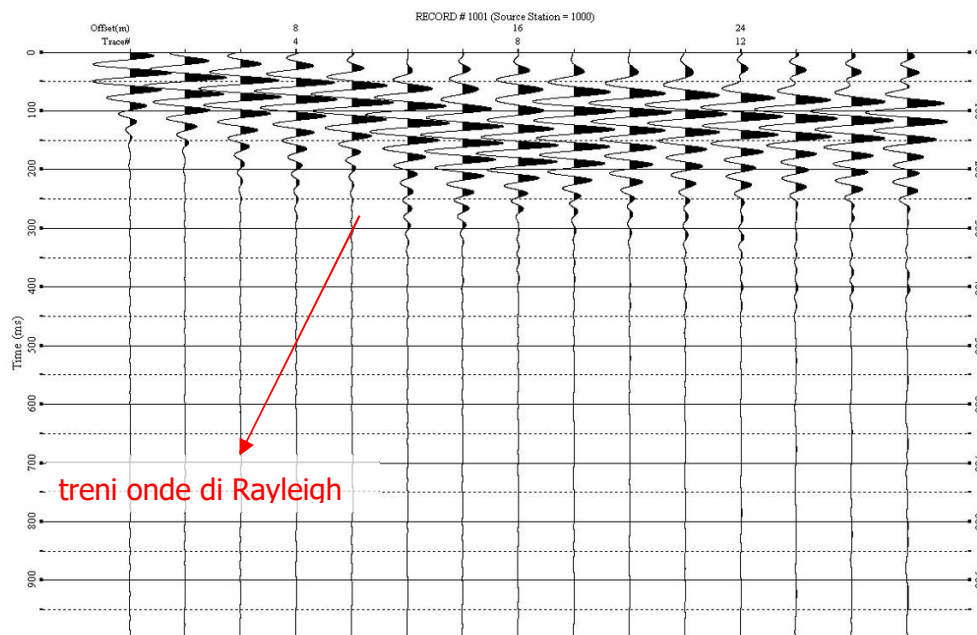
L'indagine è realizzata disponendo lungo una linea retta, a intervalli regolari, una serie di geofoni collegati ad un sismografo. Una fonte puntuale di energia, quale mazza battente su piastra metallica o cannoncino sismico, produce treni d'onda che attraversano il terreno con percorsi, velocità e frequenze variabili. Il passaggio del treno d'onda sollecita la massa inerziale presente nel geofono, l'impulso così prodotto viene convertito in segnale elettrico e acquisito dal sismografo. Il risultato è un accelerogramma che contiene molteplici informazioni quali tempo di arrivo ai geofoni rispetto all'istante di energizzazione, frequenze e relative ampiezze dei treni d'onda.

La successiva elaborazione consente di ottenere un diagramma 1D (profondità/velocità onde di taglio) tramite modellizzazione ed elaborazione matematica con algoritmi capaci di minimizzare le differenze tra i modelli elaborati e i dati di partenza. Il diagramma, riferibile al centro della linea sismica, rappresenta un valor medio della sezione di terreno interessata all'indagine di lunghezza circa corrispondente a quella della linea sismica e profondità variabile principalmente in funzione delle caratteristiche dei materiali attraversati e della geometria dello stendimento.

Il metodo MASW sfrutta le caratteristiche di propagazione delle onde di Rayleigh per ricavare le equivalenti velocità delle onde di taglio (V_s), essendo le onde di Rayleigh prodotte dall'interazione delle onde di taglio verticali e delle onde di volume (V_p).

Le onde di Rayleigh si propagano secondo fronti d'onda cilindrici, producendo un movimento ellittico delle particelle durante il transito. Con i metodi di energizzazione usuali i due terzi dell'energia prodotta viene trasportata dalle onde di Rayleigh a fronte di meno di un terzo suddiviso tra le rimanenti tipologie di onde. Inoltre le onde di Rayleigh sono meno sensibili delle onde P e S alla dispersione in funzione della distanza e con un'attenuazione geometrica inferiore.

Onde di Rayleigh ad alte frequenze e piccole lunghezze d'onda trasportano informazioni relative agli strati più superficiali mentre quelle a basse frequenze e lunghezze d'onda maggiori interessano anche gli strati più profondi. In pratica il metodo MASW di tipo attivo opera in intervalli di frequenze comprese tra 5 e 70 Hz circa, permettendo di indagare una profondità massima variabile, in funzione delle caratteristiche dei terreni interessati, tra 30 e 50 m.



- Record sismico -

La geometria della linea sismica ha influenza sui dati e quindi sul risultato finale, infatti la massima lunghezza d'onda acquisibile è circa corrispondente alla lunghezza dello stendimento; mentre la distanza tra i geofoni, solitamente compresa tra 1 e 3 m, definisce la minima lunghezza d'onda individuabile evitando fenomeni di aliasing.

Nella campagna di indagine in oggetto è stato eseguito uno stendimento di 24 geofoni con spaziatura intergeofonica di 2 m, per una lunghezza totale della linea sismica pari a 46.0 m.

L'energizzazione è stata eseguita a 10, 5 e 2 metri dal primo geofono e a 2 metri dall'ultimo geofono; inoltre, allo scopo ridurre il rumore di fondo e migliorare la qualità complessiva dei record sismici, sono stati eseguiti più tiri in ogni stazione e, ove ritenuto utile, essi sono stati sommati (stacking).

I siti di indagine sono collocati in un'area molto urbanizzata, tuttavia non si evidenziano particolari fonti di rumore antropico in grado di interferire in modo significativo con il segnale sismico.

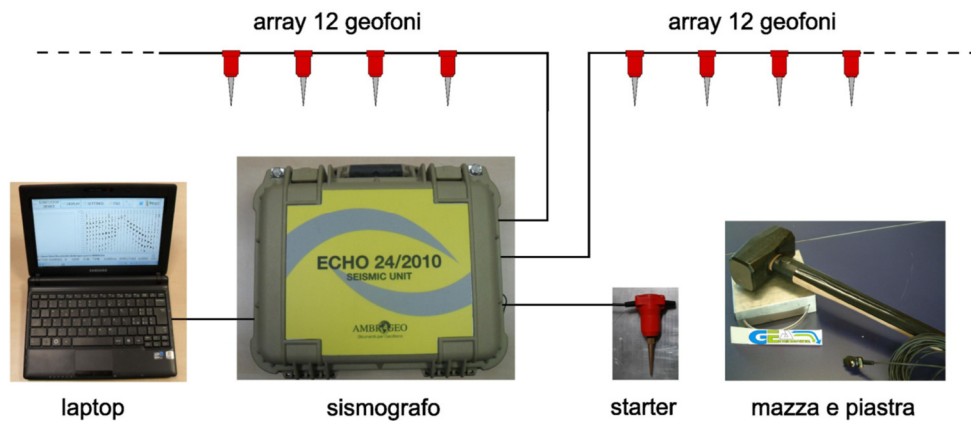
7.2.2 STRUMENTAZIONE

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un sismografo multicanale "PASI 16SG24", dotato di 24 geofoni verticali Oyo Geospace con frequenza propria di 4.5 Hz, collegati allo strumento tramite cavi elettrici schermati.

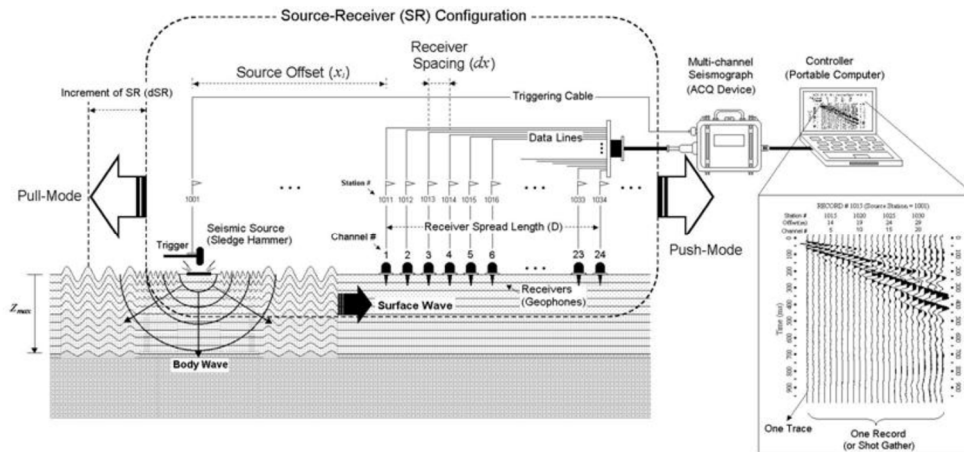
Lo strumento è in grado di gestire l'acquisizione simultanea su 24 canali e di rilevare l'istante di energizzazione (tempo zero) tramite geofono starter. È inoltre equipaggiato di software proprietario in grado di gestire tutte le operazioni di campagna attraverso le seguenti fasi:

- impostazione numero di canali e metodologia di indagine;
- impostazione frequenza e lunghezza di campionamento;
- selezione entità dell'amplificazione del segnale per ogni canale;
- impostazione filtraggi delle frequenze indesiderate;
- visualizzazione del record con misura dei tempi di arrivo;
- esecuzione operazioni di somma e sottrazione di ulteriori record;
- memorizzazione di tutti i dati relativi all'acquisizione.

Per l'energizzazione è stata utilizzata una mazza del peso di 8 kg e una piastra di battuta di alluminio.



- ECHO 24/2010" con due array da 12 geofoni -



- Schema esecuzione MASW -

7.2.3 ELABORAZIONE

L'elaborazione è stata effettuata con un software dedicato (*Winmasw 4.3 – Elisoft*) in grado di gestire le fasi di preparazione, analisi, modellizzazione e restituzione finale.

La fase iniziale consiste nel filtraggio del segnale sismico per eliminare il “rumore” ed eventuali frequenze indesiderate. Il software permette di visualizzare l'accelerogramma nel dominio spazio-tempo e visualizzando i grafici frequenza-ampiezza anche per le singole tracce. Sono disponibili varie modalità di gestione del segnale, le cui principali sono i filtri “passa basso”, “passa alto”, “passa banda”, “taglia banda”, il “muting” e l'ACG. Inoltre tramite le curve di attenuazione delle onde superficiale è possibile valutare con maggior precisione la qualità dei dati acquisiti.

La fase successiva consiste nel calcolo della curva di dispersione, visualizzata tramite diagramma frequenza-numero d'onda con appropriata scala cromatica dell'ampiezza.

Utilizzando la curva di dispersione si procede ad individuare la curva della velocità di fase apparente del modo fondamentale e, ove possibile, dei modi superiori.

La fase di inversione prevede una modellizzazione monodimensionale che consente di determinare un profilo di velocità delle onde di taglio V_s in funzione della profondità. L'elaborazione avviene tramite l'applicazione di procedimenti calcolo e algoritmi genetici di inversione (*global-search methods*), che gestiscono all'intero di un “spazio di ricerca”, modelli caratterizzati da parametri velocità di taglio (V_s) e spessori degli strati. Altri parametri previsti dal modello sono il coefficiente di Poisson e la velocità delle onde di volume (V_p) che, assieme a spessore degli sismostrati e relative V_s , possono venire modificati anche manualmente. Tramite interazioni successive si ottiene un modello di inversione in grado di far coincidere con la migliore approssimazione possibile la curva di dispersione elaborata nella fase precedente e quella modellizzata. Viene inoltre restituita una stima dell'attendibilità (deviazione standard) del modello proposto ottenuta con tecniche statistiche.

Avendo a disposizione informazioni addizionali, quali ad esempio stratigrafie di sondaggio, analisi granulometriche, di densità, prove CPT ecc, è possibile impostare un modello geologico\geofisico con il quale definire parametri quali lo spessore degli strati, la velocità delle onde P stimata e coefficiente di Poisson. Tale modello consente una più accurata inversione dei dati di campagna e di conseguenza una migliore definizione della sismostratigrafia del sito.

In conclusione viene restituito un diagramma (1D) delle velocità delle onde di taglio (V_s) in funzione della profondità, con relativa tabella, calcolo delle $V_{s,EQ}$ e correlazione al tipo di terreno, come da normativa.

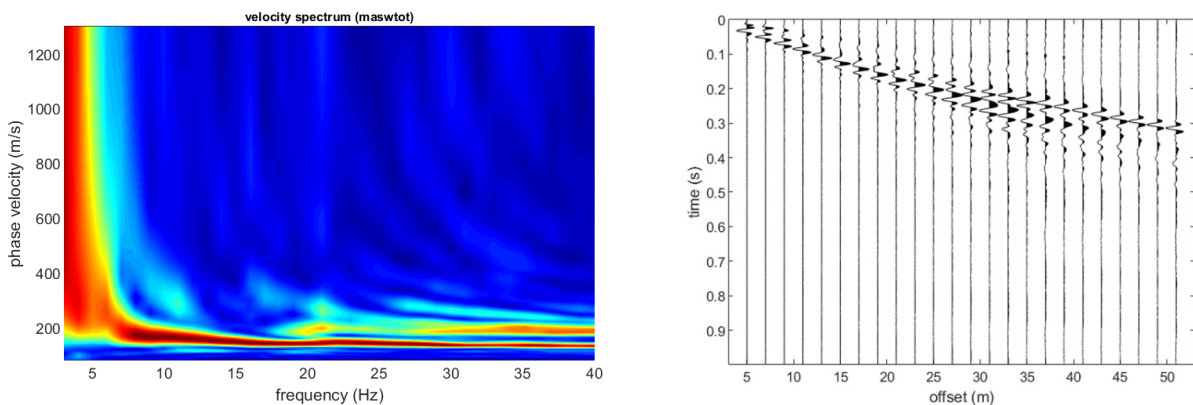
Va ricordato che il diagramma 1D mostra una suddivisione sismostratigrafica ricostruita sul differente comportamento sismico dei materiali investigati. È quindi possibile che variazioni di velocità non corrispondano necessariamente a passaggi litologici netti.

7.2.4 RISULTATI

L'analisi delle onde di taglio (V_s) tramite metodo MASW ha consentito di determinare lo spessore dei sismostrati e le relative velocità di taglio, come riportato in tabella e relativo diagramma, permettendo di calcolare il valore $V_{s,EQ}$ per la sezione indagata.

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 e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità (N.T.C. 2018 3.2.2).

I valori di $V_{s,EQ}$ sono riferiti ai primi 30 m a partire da piano fondazioni, ipotizzato a -1.00 m da p.c..



- Curva di dispersione e record sismico MASW-01 -

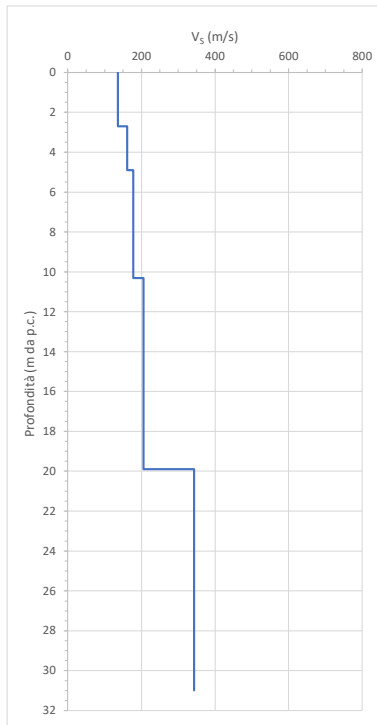


TABELLA SISMOSTRATIGRAFICA		
Profondità (m da p.c.)	Spessore (m)	Vs (m/s)
2.70	2.70	136
4.90	2.20	161
10.30	5.40	178
19.90	9.60	206
31.00	11.10	343

- Grafico velocità Vs/profondità e sismostratigrafia MASW-01-Re.Mi.-01 -

Il valore $V_{s,EQ}$ è pari a 221 m/s, secondo normativa la categoria di appartenenza del litotipo equivalente è la C.

Categoria	Descrizione da D.M. 17/01/2018 - Tabella 3.2.II
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>

- Categoria di sottosuolo -

Descrizione da D.M. 17/01/2018 - Tabella 3.2.V		
Categoria	S_s	C_c
A	1.00	1.00
B	$1.00 \leq 1.40 - 0.40 \cdot F_0 \cdot \text{ag/g} \leq 1.20$	$1.10 \cdot (TC^*) - 0.20$
C	$1.00 \leq 1.70 - 0.60 \cdot F_0 \cdot \text{ag/g} \leq 1.50$	$1.05 \cdot (TC^*) - 0.33$
D	$0.90 \leq 2.40 - 1.50 \cdot F_0 \cdot \text{ag/g} \leq 1.80$	$1.25 \cdot (TC^*) - 0.50$
E	$1.00 \leq 2.00 - 1.10 \cdot F_0 \cdot \text{ag/g} \leq 1.60$	$1.15 \cdot (TC^*) - 0.40$

- Espressioni di S_s e C_c -

8 AMPLIFICAZIONE SISMICA DEL SITO

8.1 GENERALITÀ

La verifica dell'eventuale amplificazione sismica è condotta applicando le metodologie geologico-geofisiche indicate dalla Regione Lombardia nella D.G.R. 11 Novembre 2011 n° 9/2616 "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".

Il parametro calcolato per ciascun Comune da Regione Lombardia è riportato in una banca dati e rappresenta il valore di soglia oltre il quale lo spettro proposto dalla normativa nazionale (NTC 2018) risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione del sito.

Per il Comune di Lacchiarella Regione Lombardia ha assegnato i valori di amplificazione per le diverse categorie di sottosuolo, sotto riportati, in funzione di due intervalli di periodi, di cui quello tra 0.1 e 0.5 s corrisponde indicativamente a fabbricati di altezza inferiore ai 5 piani mentre quello compreso tra 0.5 e 1.5 s è relativo a fabbricati più alti.

INTERVALLO	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO			
(secondi)	B	C	D	E
0.1÷0.5	1.4	1.9	2.2	2.0
0.5÷1.5	1.7	2.4	4.2	3.1

-Fattori di amplificazione definiti da Regione Lombardia per il Comune di Lacchiarella-

8.2 PROCEDURA REGIONE LOMBARDIA

1° LIVELLO

Applicando il primo livello d'approfondimento si ricava che l'area in esame è soggetta a possibili amplificazioni per effetti litologici, in quanto ricadente nello scenario denominato Z4a:

Zona PSL Z4a - zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi.

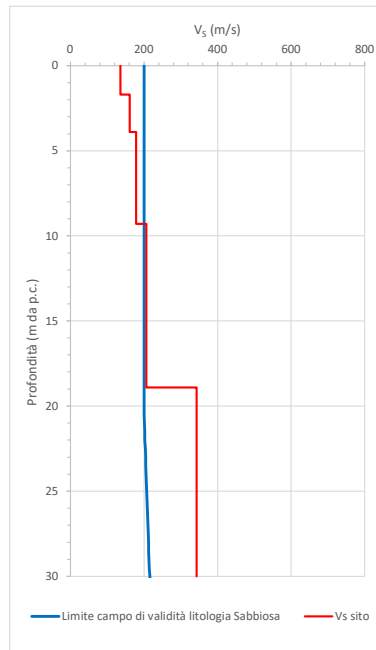
2° LIVELLO

Ricadendo in scenario Z4a Regione Lombardia prevede la verifica di 2° livello che si esplica nella verifica del fattore di amplificazione sismica. Il primo passaggio da compiere è quello di controllare la compatibilità dei dati ricavati con l'indagine sismica nel sito di intervento e la corrispondenza, nel campo delle variazioni di velocità con la profondità, delle schede tipo della Regione Lombardia relative ad alcune tipologie di suolo.

A questo punto, scelta la scheda di riferimento, si deve accertare che il valore di amplificazione in sito sia inferiore a quello definito da R.L. Nel caso in esame, come previsto dalla normativa regionale, si è adottata la *scheda dei terreni di litologia sabbiosa*, che ben si associa all'andamento delle velocità con la profondità ricavate nel corso delle indagini geofisiche, come si vede nel grafico di seguito riportato.

Di fatto l'indagine geofisica evidenzia nei primi metri da piano fondazione valori di V_s di circa 136 m/s, in progressivo aumento con la profondità fino alla massima profondità ricavata che è di circa -31.00 m da p.c. (-30.00 m da piano fondazione).

Di seguito è riportato il grafico dell'andamento delle velocità sismiche da piano fondazione confrontate con la curva caratteristica.



- Andamento V_s scheda litologia sabbiosa Regione Lombardia/MASW-01 -

8.3 DETERMINAZIONE DEL PERIODO DI RIFERIMENTO DEL SITO

La determinazione del periodo di riferimento del sito si ottiene applicando la seguente relazione:

$$T(s) = \frac{4 \times \sum_1^n h_i}{\frac{\sum_1^n v_{s,i} \times h_i}{\sum_1^n h_i}}$$

Dove h_i è lo spessore in metri dello strato i-esimo, $v_{s,i}$ è la velocità delle onde di taglio dello strato i-esimo e n è il numero di strati.

L'applicazione della relazione implica di conoscere l'andamento delle velocità con la profondità sino a raggiungimento di velocità delle onde di taglio ≥ 800 m/s. Nel caso in esame non è stato individuato il bedrock sismico fino a circa -31.00 m da p.c., pertanto si è dovuto stimare l'andamento delle velocità in profondità.

A tale scopo sono state utilizzate informazioni geologiche tratte da bibliografia oltre a valutare il trend di incremento della velocità con la profondità, ipotizzando una profondità del bedrock sismico a circa -45.0 m da piano fondazioni.

Considerando che la velocità del primo strato equivalente, di spessore pari a 18.90 m (a partire da piano fondazioni), è di circa 183 m/s e che la verifica degli effetti è stata condotta a partire da piano fondazioni, si ricava quanto segue:

- Periodo proprio di sito $T = 0.65$ s
- Fattore di amplificazione ricavato dalla scheda litologia sabbiosa per periodo $0.1 \div 0.5$ s: $F_a = 1.0$ (soglia comunale categoria C = 1.9 ± 0.1)
- Fattore di amplificazione ricavato dalla scheda litologia sabbiosa per periodo $0.5 \div 1.5$ s: $F_a = 2.0$ (soglia comunale categoria C = 2.4 ± 0.1)

Tenendo conto di un valore di variabilità di ± 0.1 del valore della soglia comunale, come previsto da normativa regionale, i valori di F_a caratteristico del sito di studio relativo alla categoria di sottosuolo C risultano entrambi inferiori ai valori di soglia comunale per i periodi $0.1 \div 0.5$ s e $0.5 \div 1.5$ s.

Sulla base di quanto sopra esposto, la normativa nazionale è da ritenersi sufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica del sito sia per il periodo $0.1 \div 0.5$ s sia per il periodo $0.5 \div 1.5$ s, di conseguenza in fase di verifiche geotecniche e strutturali si potrà assumere la categoria di sottosuolo ricavata dalle indagini geofisiche eseguite (categoria di sottosuolo C).

9 AZIONE SISMICA

9.1 INTRODUZIONE

Con l'entrata in vigore del D.M. 14/01/2008 e del successivo aggiornamento (D.M. 17/01/2018), la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente".

La normativa prevede la definizione della Pericolosità sismica di base del sito in costruzione in termini di:

- Accelerazione orizzontale massima attesa in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (a_g);
- Spettro di risposta elastico in accelerazione corrispondente, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza (P_{VR}) nel periodo di riferimento (V_R), legate alle prestazioni della costruzione nel suo complesso (Stati Limite), definiti a partire dai valori dei parametri caratteristici a_g , F_0 e T^*_C (rispettivamente accelerazione orizzontale massima al sito, valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale e periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale).

Stati Limite		P_{VR} - Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R
Di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Il territorio nazionale è stato suddiviso in punti denominati "nodi", a ciascuno dei quali sono stati assegnati i valori dei parametri spettrali di cui sopra (a_g , F_0 e T^*_C) per diversi tempi di ritorno dell'azione sismica (T_R), definiti sulla base del periodo di riferimento (V_R) e della probabilità di superamento nel periodo di riferimento (P_{VR}).

$$T_R = \frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} \pi r^2$$

Il periodo di riferimento (V_R) è definito, come prescritto al §2.4.3 delle NTC, in funzione della vita nominale dell'opera in progetto (V_N) e della sua Classe d'uso (funzione della tipologia d'opera, a cui corrisponde un coefficiente d'uso C_U):

$$V_R = V_N \times C_U$$

Una volta determinata la pericolosità sismica di base, legata essenzialmente all'ubicazione del sito oggetto di studio sul territorio nazionale e sulle caratteristiche dell'opera in progetto, la normativa prevede la definizione dell'azione sismica di progetto in termini di massima accelerazione attesa al suolo (a_{MAX}) e spettro di accelerazione di progetto, mediante la valutazione di eventuali effetti di amplificazione stratigrafica (S_S e C_C) e topografica (S_T) del moto sismico, in corrispondenza del sito in oggetto di studio, secondo quanto riportato al § 3.2.2 della normativa stessa.

CATEGORIE E COEFFICIENTI DI AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA			
Cat. Strat.	Descrizione	S_s	C_c
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori delle onde di taglio superiori a 800m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3m.</i>	1.00	1.00
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine 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>	$1.00 \leq 1.40 - 0.40 \times F_0 \times a_g / g \leq 1.20$	$1.1 \times (T^*_{*c})^{-0.20}$
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine 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>	$1.00 \leq 1.70 - 0.60 \times F_0 \times a_g / g \leq 1.50$	$1.05 \times (T^*_{*c})^{-0.33}$
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine 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 fra 100 m/s e 180 m/s.</i>	$0.90 \leq 2.40 - 1.50 \times F_0 \times a_g / g \leq 1.80$	$1.25 \times (T^*_{*c})^{-0.50}$
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>	$1.00 \leq 2.00 - 1.10 \times F_0 \times a_g / g \leq 1.60$	$1.15 \times (T^*_{*c})^{-0.40}$

-Categoria e coefficienti di amplificazione stratigrafica (NTC 2018)-

Cat. Topo.	Caratteristiche della superficie topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$	-	1
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	In corrispondenza della sommità del pendio	1.2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.4

-Categoria e coefficienti di amplificazione topografica (NTC 2018)-

In definitiva, per ogni probabilità di superamento del periodo di riferimento, il valore dell'accelerazione massima attesa al suolo è ricavato dalla seguente equazione:

$$a_{max} = a_g \times S_s \times S_T$$

9.2 AZIONE SISMICA DI BASE

La definizione dei parametri sismici di progetto è stata eseguita, direttamente per il sito in esame, a partire dai parametri fondamentali per l'opera in progetto.

Sulla base delle caratteristiche dell'opera, sono stati scelti i seguenti parametri:

Tipo di costruzione:	Categoria 2	Costruzioni con livelli di prestazioni normali
Vita nominale (V_N):	50 anni	Funzione del tipo di costruzione

Classe d'uso:	II	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti
Coefficiente C_u :	1.0	Funzione della classe d'uso
Periodo di riferimento (V_R):	50 anni	

I parametri di pericolosità sismica di base sono stati elaborati a partire dalle coordinate del sito di riferimento:

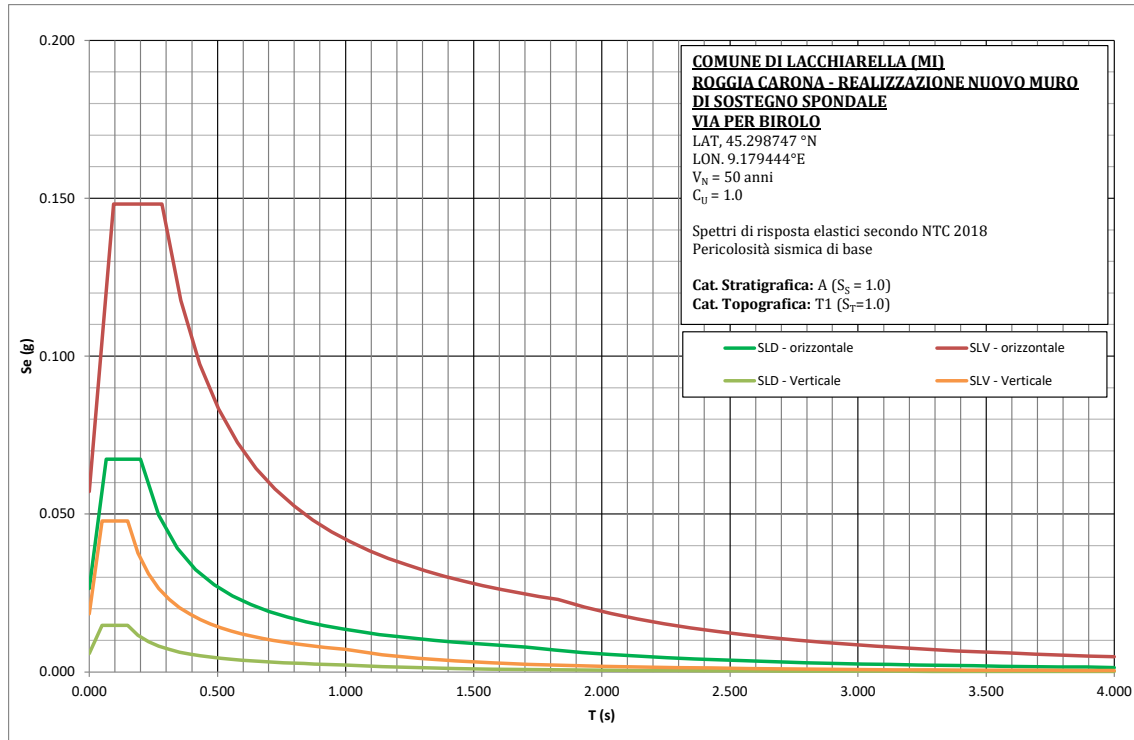
- Sito in esame: via per Biolo, s.n.c. – Lacchiarella (MI)
- Latitudine: 45.298747°N
- Longitudine: 9.179444°E

Sulla base di tali parametri di ingresso si ottengono i seguenti valori di pericolosità sismica di base:

PARAMETRI SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICA SU SUOLO RIGIDO	u.m.	STATO LIMITE			
		SLO	SLD	SLV	SLC
Probabilità di superamento (P_{VR})	%	81	63	10	5
Tempo di ritorno (T_R)	anni	30	50	475	975
Accelerazione orizzontale massima attesa (su suolo rigido) (a_g)	g	0.021	0.026	0.057	0.072
Valore massimo fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale (F_0)	-	2.552	2.551	2.593	2.594
Tempo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale (T^*_d)	s	0.183	0.200	0.283	0.293

-Parametri sismici spettro di risposta elastica su suolo rigido-

Nella figura seguente vengono riportati gli spettri elastici di base (su suolo rigido) orizzontale e verticale (NTC 2018) relativi allo stato limite di danno (SLD) e allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV).



- Spettri di risposta elastici su suolo rigido (NTC 2018)-

9.3 AZIONE SISMICA DI PROGETTO

L'azione sismica di progetto è stata calcolata, secondo quanto prescritto nella normativa di riferimento (NTC2018), valutando le amplificazioni stratigrafiche e le amplificazioni topografiche specifiche del sito oggetto di studio.

- Categoria topografica: definita sulla base delle osservazioni effettuate in sito e sulle informazioni riportate sul PGT del Comune di Lacchiarella in relazione all'area oggetto di studio.

Categoria topografica: T1 *superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media < 15°*

- Categoria stratigrafica: definita sulla base dei risultati delle indagini geofisiche eseguite e dello studio dell'amplificazione sismica locale secondo la normativa regionale (§7, §8).

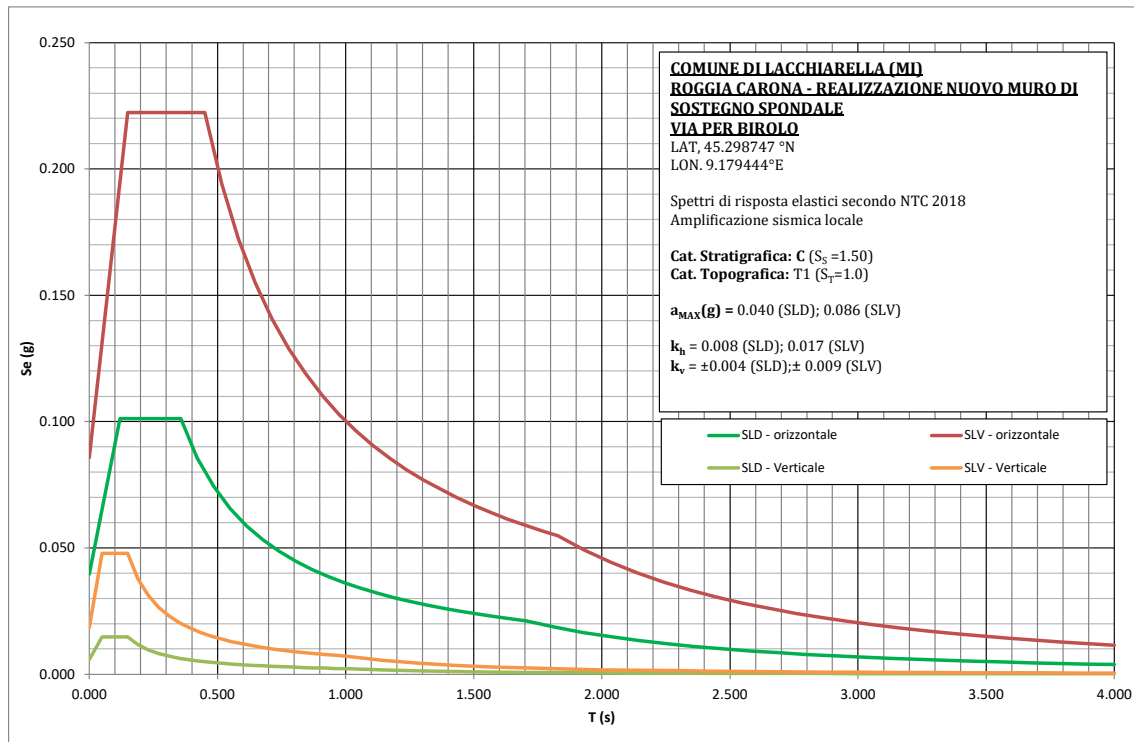
Categoria di sottosuolo: C *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*

In definitiva, sulla base di tutte le considerazioni di cui sopra, i parametri sismici di progetto risultano:

PARAMETRI SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICA DI PROGETTO	u.m.	STATO LIMITE			
		SLO	SLD	SLV	SLC
Coefficiente topografico (S_T)	-	1.000	1.000	1.000	1.000
Coefficiente stratigrafico (S_S)	-	1.500	1.500	1.500	1.500
Coefficiente di modifica del periodo (C_C)	-	1.838	1.787	1.592	1.575
Accelerazione orizzontale massima attesa di progetto ($a_{MAX}(g)$)	g	0.031	0.040	0.086	0.108
Accelerazione orizzontale massima attesa di progetto (a_{MAX})	m/s ²	0.302	0.389	0.841	1.057
Coefficiente di riduzione accelerazione massima attesa (β_S)	-	0.20	0.20	0.20	0.20
Coefficiente sismico orizzontale (k_H)	-	0.006	0.008	0.017	0.022
Coefficiente sismico verticale (k_V)	-	0.003	0.004	0.009	0.011

-Parametri sismici spettro di progetto sito specifici-

Nella figura seguente vengono riportati gli spettri elastici di progetto orizzontale e verticale (NTC2018), relativi allo stato limite di danno (SLD) e allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV).



-Spettri di risposta elastici di progetto sito specifici -

Il rispetto dei vari stati limite viene considerato conseguito dalle NTC 2018:

- 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).

10 RISCHIO DI LIQUEFAZIONE

10.1 GENERALITÀ

La liquefazione di un terreno è un fenomeno di drastica riduzione (o completo annullamento) della resistenza al taglio dello stesso, causata dall'aumento delle pressioni interstiziali a seguito di un evento sismico.

Generalmente possono essere suscettibili a liquefazione depositi saturi costituiti da sabbia fine o media, con contenuto in fine variabile generalmente da 0 a 25%, da poco a mediamente addensati, posizionati a profondità inferiori a -15.00÷-20.00 m da p.c..

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; se la scossa sismica produce un numero di cicli tale da far aumentare la pressione interstiziale fino a eguagliare o superare la pressione litostatica, si sviluppa il fenomeno della liquefazione.

I metodi di calcolo permettono di esprimere la suscettibilità alla liquefazione del deposito attraverso un coefficiente di sicurezza, dato dal rapporto tra la resistenza ciclica mobilitata (R) e le azioni cicliche indotte dal sisma (T), ovvero:

$$F_s = \frac{R}{T}$$

Un deposito dovrà essere considerato suscettibile di liquefazione, se il coefficiente di sicurezza sarà inferiore o pari a 1.

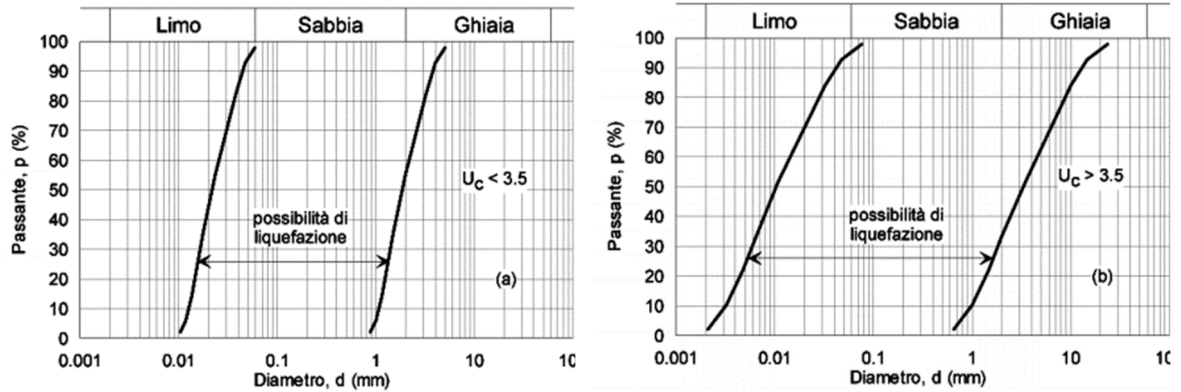
Le azioni cicliche indotte da un evento sismico (T) dipendono dai parametri dell'evento stesso, mentre la resistenza ciclica mobilitata (R) è funzione delle caratteristiche meccaniche del deposito, (principalmente del suo stato di addensamento), e può essere ricavato attraverso correlazioni con i risultati di prove penetrometriche dinamiche, statiche o con le velocità di propagazione delle onde di taglio (V_s) all'interno dei terreni, ricavate da stendimenti di sismica a rifrazione o da indagini geofisiche in foro.

In ogni caso la verifica alla liquefazione può essere esclusa, in accordo con la normativa vigente (NTC 2018), quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1 g;
- Profondità media stagionale della falda superiore a 15.0 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali.
- Depositati costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1,N} > 180$, dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata da prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100

kPa e $q_{C1,N}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa.

- Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nelle figure successive nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ e nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$.



Nel caso in oggetto, viste le caratteristiche simiche sito specifiche, la verifica a liquefazione è stata esclusa, in quanto una drastica riduzione della resistenza al taglio in caso di sviluppo di un evento sismico risulta estremamente improbabile.

11 NATURA E CARATTERISTICHE GEOMECCANICHE DEL SOTTOSUOLO

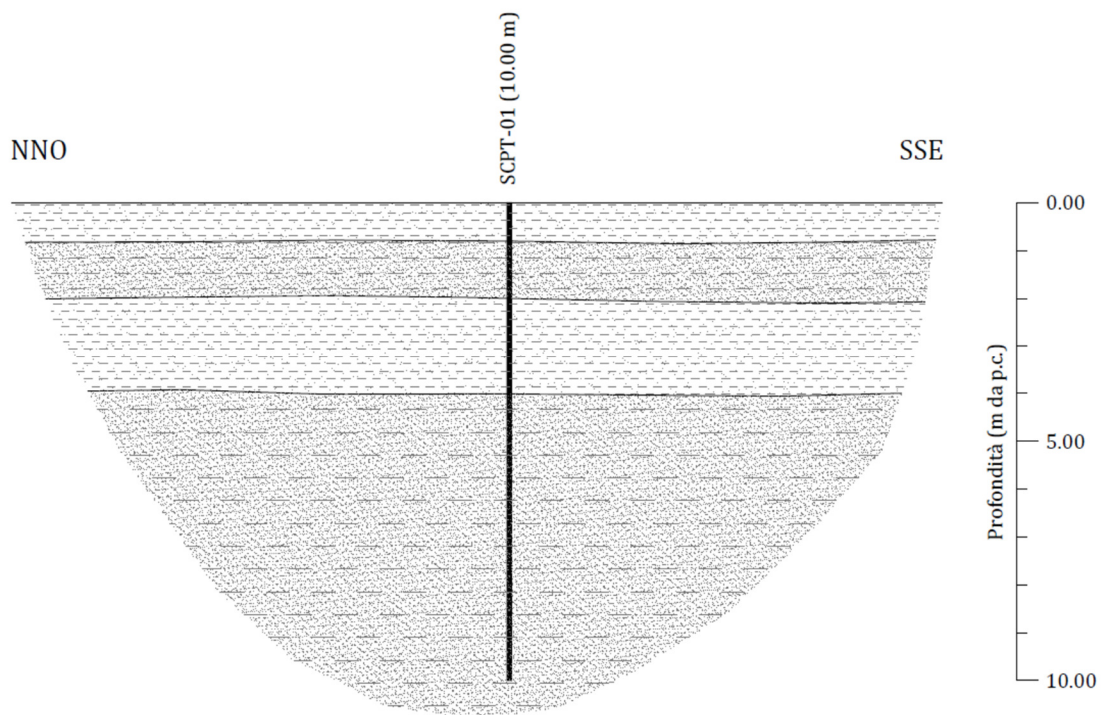
Si ritiene che i risultati dell'indagine siano sufficientemente esaustivi e rappresentativi, tali da permettere una caratterizzazione litologica del terreno indagato in relazione alla tipologia costruttiva in progetto. I terreni in oggetto, dal punto di vista stratigrafico, si presentano piuttosto omogenei anche se non mancano eterogeneità sia in senso verticale che orizzontale con passaggi laterali ed eteropie, nonché variazioni nel grado di addensamento.

Al di sotto di uno strato di depositi alluvionali fini, costituiti da limo con argilla, localmente argilloso, localmente deb. sabbioso, di spessore pari a circa 4.00 m, sono presenti depositi granulari di natura alluvionale costituiti da sabbia fine, localmente medio fine, da con limo a limosa, da poco addensata a moderatamente addensata, fino alla massima profondità raggiunta dalle indagini (-10.00 m da p.c.).

Tra -0.80 m da p.c. e -2.00 m da p.c. è presente un livello di sabbia fine con limo, poco addensati.

Durante l'esecuzione delle indagini la falda acquifera è stata osservata a profondità pari a -2.20 m da p.c..

Nella figura seguente è riportato il modello geologico dell'area oggetto di indagine.



-Modello geologico dell'area-

La successione stratigrafica, espressa in termini di unità geotecniche, sulla base delle informazioni desunte dalle indagini eseguite può essere sintetizzata come di seguito riportato:

UNITÀ GEOTECNICA A

- Depositi alluvionali fini: limo con argilla, localmente argilloso, localmente deb. sabbioso
- Profondità: da 0.00 m a -0.80 m da p.c. e da -2.00 m da p.c. a -4.00 m da p.c.

Peso di volume naturale (t/mc)	$\gamma_N = 1.89$
Peso di volume saturo (t/mc)	$\gamma_N = 2.01$
Coesione efficace (kg/cm ²)	$c' = 0.1$
Angolo di resistenza al taglio (°)	$\phi' = 24-25$
Modulo elastico (kg/cm ²)	$E = 100-110$

UNITÀ GEOTECNICA B1

- Depositi alluvionali granulari poco addensati: sabbia fine, localmente medio fine, con limo
- Profondità: da -0.80 m da p.c. a -2.00 m da p.c., da -4.00 m da p.c. a -5.40 m da p.c. e da -7.20 m da p.c. a -8.20 m da p.c.

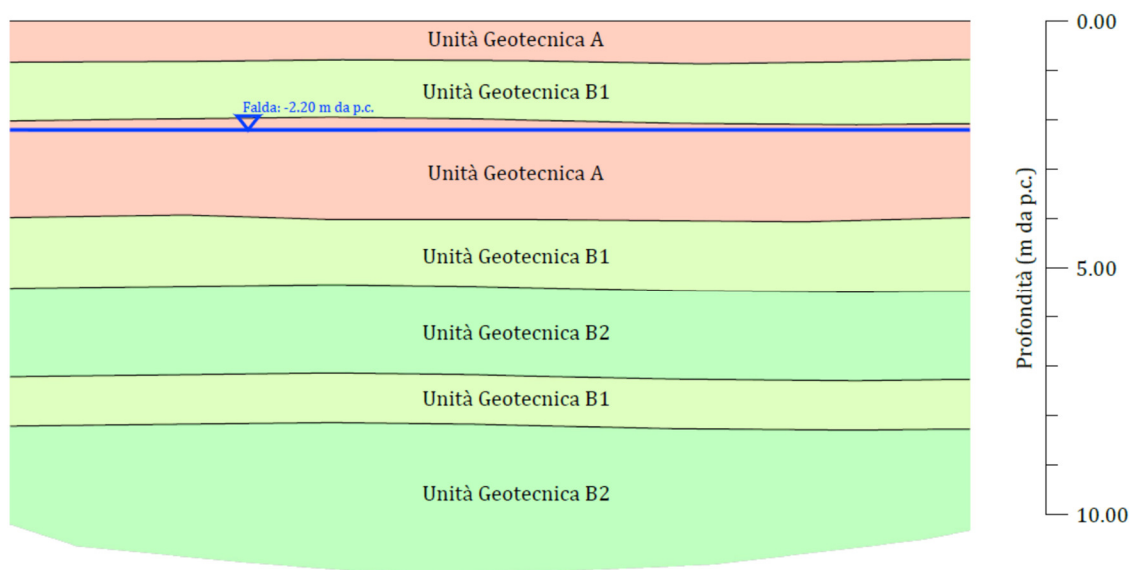
Peso di volume naturale (t/mc)	$\gamma_N = 1.89$
Peso di volume saturo (t/mc)	$\gamma_N = 2.01$
Densità relativa (%)	$D_r = 35-40$
Coesione efficace (kg/cm ²)	$c' = 0.0$
Angolo di resistenza al taglio (°)	$\phi' = 28-29$
Modulo elastico (kg/cm ²)	$E = 160-180$

UNITÀ GEOTECNICA B2

- Depositi alluvionali granulari poco addensati: sabbia fine, localmente medio fine, limosa
- Profondità: da -5.40 m da p.c. a -7.20 m da p.c. e da -8.20 m da p.c. a -10.00 m da p.c. (massima profondità raggiunta dalle indagini)

Peso di volume naturale (t/mc)	$\gamma_N = 1.89$
Peso di volume saturo (t/mc)	$\gamma_N = 2.01$
Densità relativa (%)	$D_r = 35-40$
Coesione efficace (kg/cm ²)	$c' = 0.0$
Angolo di resistenza al taglio (°)	$\phi' = 31-32$
Modulo elastico (kg/cm ²)	$E = 280-290$

Nella figura seguente è riportato in forma grafica il modello geotecnico adottato per il sito in esame.



-Modello geotecnico di riferimento per l'area in esame-

Alla luce di quanto sopra esposto è ragionevole estrapolare i dati ottenuti dall'indagine puntuale all'intero volume di terreno di fondazione in ogni singolo settore omogeneo, facendo cautelativamente riferimento, in sede di verifiche geotecniche, ai parametri più cautelativi delle unità sopra definite e agli spessori più pregiudizievoli per la sicurezza dell'opera.

12 CONCLUSIONI E PRESCRIZIONI

La presente relazione è stata redatta al fine di valutare le caratteristiche geologiche, idrogeologiche e sismiche di un'area ubicata nel comune di Lacchiarella, in via per Brioso, interessata dalla realizzazione di un nuovo muro di sostegno spondale in corrispondenza di un tratto della roggia Carona.

A tal fine, per verificare la natura dei terreni presenti nei primi metri di sottosuolo in corrispondenza dell'area, è stata eseguita n.1 prova penetrometrica dinamica continua (SCPT) di tipo super pesante (DPSH), spinta sino a profondità pari a -10.00 m da p.c..

Oltre alle indagini di cui sopra è stata eseguita n.1 prospezione sismica con metodo MASW.

La definizione della categoria di sottosuolo per il calcolo dei parametri sismici sito-specifici è stata effettuata sulla base dei risultati ottenuti dall'indagine geofisica effettuata (MASW) e dall'analisi di secondo livello prescritta da Regione Lombardia.

Tali indagini hanno messo in evidenza la presenza, al di sotto di uno strato di depositi alluvionali fini costituiti da limo con argilla, localmente argilloso, localmente deb. sabbioso, di spessore pari a circa 4.00 m, depositi granulari di natura alluvionale costituiti da sabbia fine, localmente medio fine, da con limo a limosa, da poco addensata a moderatamente addensata, fino alla massima profondità raggiunta dalle indagini (-10.00 m da p.c.).

Tra -0.80 m da p.c. e -2.00 m da p.c. è presente un livello di sabbia fine con limo, poco addensati.

- La geomorfologia dell'area, limitatamente alla zona interessata dagli interventi, risulta esente da fenomeni in rapida evoluzione geomorfologica in atto o potenziali che pregiudichino la stabilità dei luoghi e la buona riuscita delle opere in progetto.
- Il livello piezometrico della prima falda durante la campagna di indagine è stato osservato a profondità pari a -2.20 m da p.c., in accordo con quanto riportato sul P.G.T. comunale.
- L'area oggetto di intervento ricade in classe di fattibilità geologica con consistenti limitazioni (aree caratterizzate dalla presenza entro almeno i primi 2.5 m di profondità di terreni che presentano scadenti caratteristiche geotecniche, a componente prevalente limoso argillosa, che comporta una limitata capacità portante)
- Dall'analisi della carta dei vincoli a scala comunale è emerso che l'area oggetto di intervento risulta inclusa all'interno della fascia di rispetto di 10 m del reticolo idrico secondario e risulta soggetta a vincoli paesaggistici (Parchi regionali: Parco agricolo Sud Milano).
- Dall'analisi delle carte dei vincoli territoriali a scala sovracomunale (PAI e PGRA), è emerso che l'area oggetto di intervento non ricade in alcun scenario di pericolosità per l'ambito territoriale di Reticolo Principale (RP) e Reticolo secondario di Pianura (RSP)

- Dall'analisi delle Norme di attuazione del P.GT. comunale e degli strumenti di pianificazione sovra comunali (PAI e PGRA), gli interventi in progetto risultano compatibili in relazione ai vincoli e alle limitazioni di cui sopra.
- Con riferimento alla Carta della Pericolosità Sismica Locale l'area è inquadrata nello scenario Z4a (zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi).
- Sulla base dell'indagine sismica eseguita il valore della velocità di propagazione delle onde di taglio entro 30 m di profondità da piano fondazioni (ipotizzate a -1.00 m da p.c.) ($V_{s,EQ}$) nei terreni interessati dall'intervento in oggetto è pari a 221 m/s, pertanto 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'analisi di 2° livello per l'amplificazione sismica di sito eseguita utilizzando il metodo Regione Lombardia ha fornito, relativamente ai periodi $0.1 \div 0.5$ s e $0.5 \div 0.15$ s, valori F_a di sito rispettivamente pari a 1.0 e 2.0 per la categoria di sottosuolo C, entrambi inferiori ai corrispettivi valori di soglia comunale definiti da Regione Lombardia (rispettivamente pari a 1.9 ± 0.1 e 2.0 ± 0.1 per la categoria di sottosuolo C); in fase di verifiche geotecniche e strutturali, si potrà quindi adottare lo spettro previsto da normativa per la categoria di sottosuolo ricavata dalle indagini geofisiche (categoria C).
- 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 sito specifica e dai parametri sismici di progetto, risulta pari a 0.841 m/s^2 . I corrispondenti coefficienti verticale e orizzontale per le fondazioni sono rispettivamente: $K_h=0.017$ e $K_v= \pm 0.009$.
- La verifica a liquefazione dei terreni di fondazione, in accordo con quanto prescritto dalla normativa vigente, è stata esclusa in quanto, viste le caratteristiche sismiche sito specifiche, una drastica riduzione della resistenza al taglio legata allo sviluppo di un evento sismico, risulta altamente improbabile.
- In fase esecutiva, dato il carattere puntuale dei dati forniti dalle indagini, sarà comunque opportuno verificare la rispondenza delle condizioni locali con le caratteristiche litologiche ed idrogeologiche indicate nella presente relazione; nel caso di mancata rispondenza si consiglia la sospensione dei lavori e la tempestiva comunicazione agli scriventi. Nell'eventualità anche le condizioni geotecniche e quindi di stabilità dei depositi dovranno essere rivedute e corrette.

Carpenedolo (BS), 03.11.2021

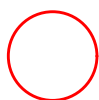
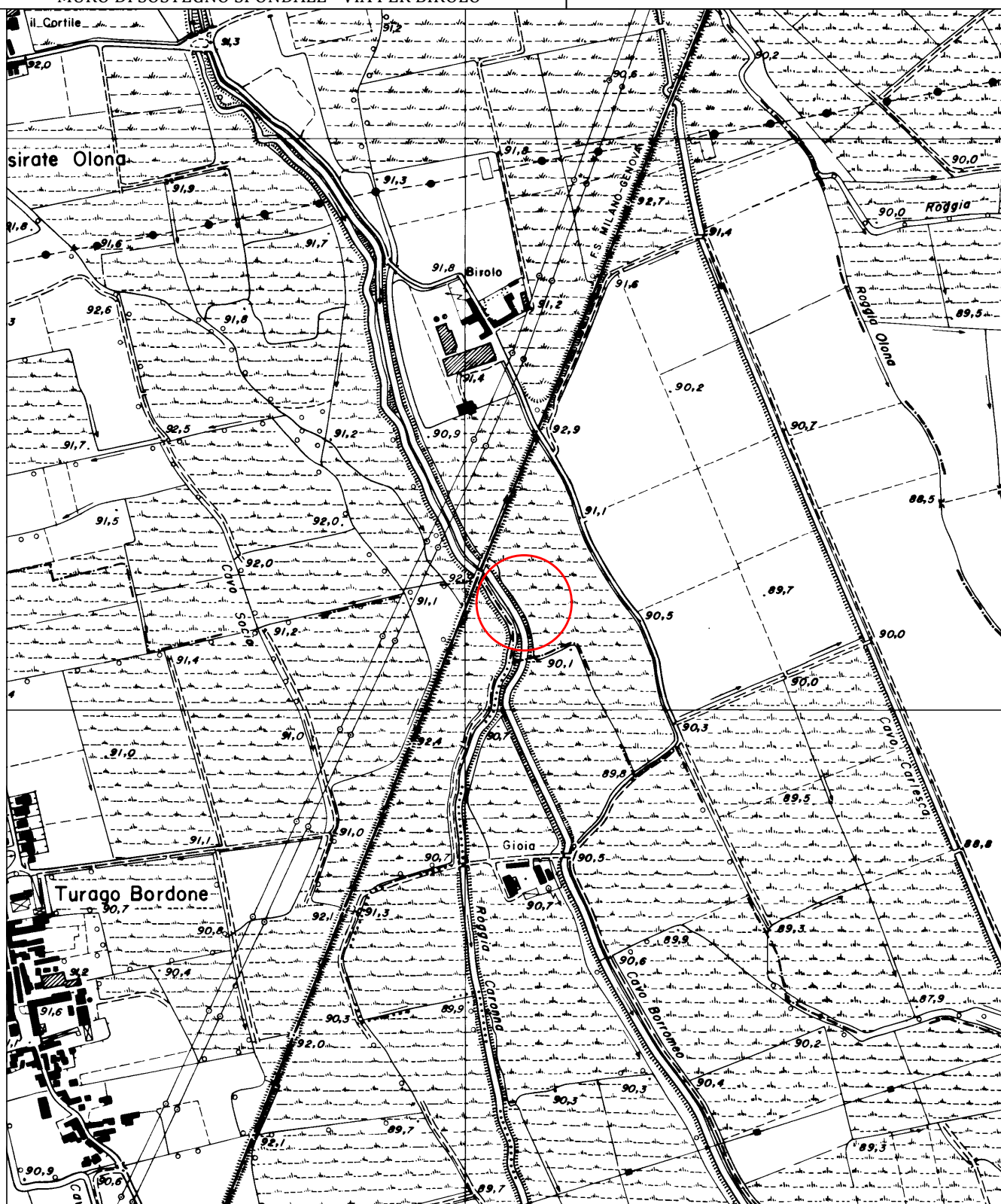
Il geologo

Pag. 38 di 39

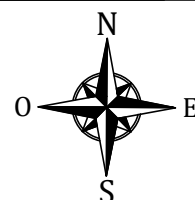
ALLEGATI

Provincia di Milano
Comune di LACCHIARELLA (MI)
ROGGIA CARONA - REALIZZAZIONE NUOVO
MURO DI SOSTEGNO SPONDALE - VIA PER BIROLO

Sez. C.T.R. B7B1
Base cartografica Carta Tecnica Regionale
Regione Lombardia

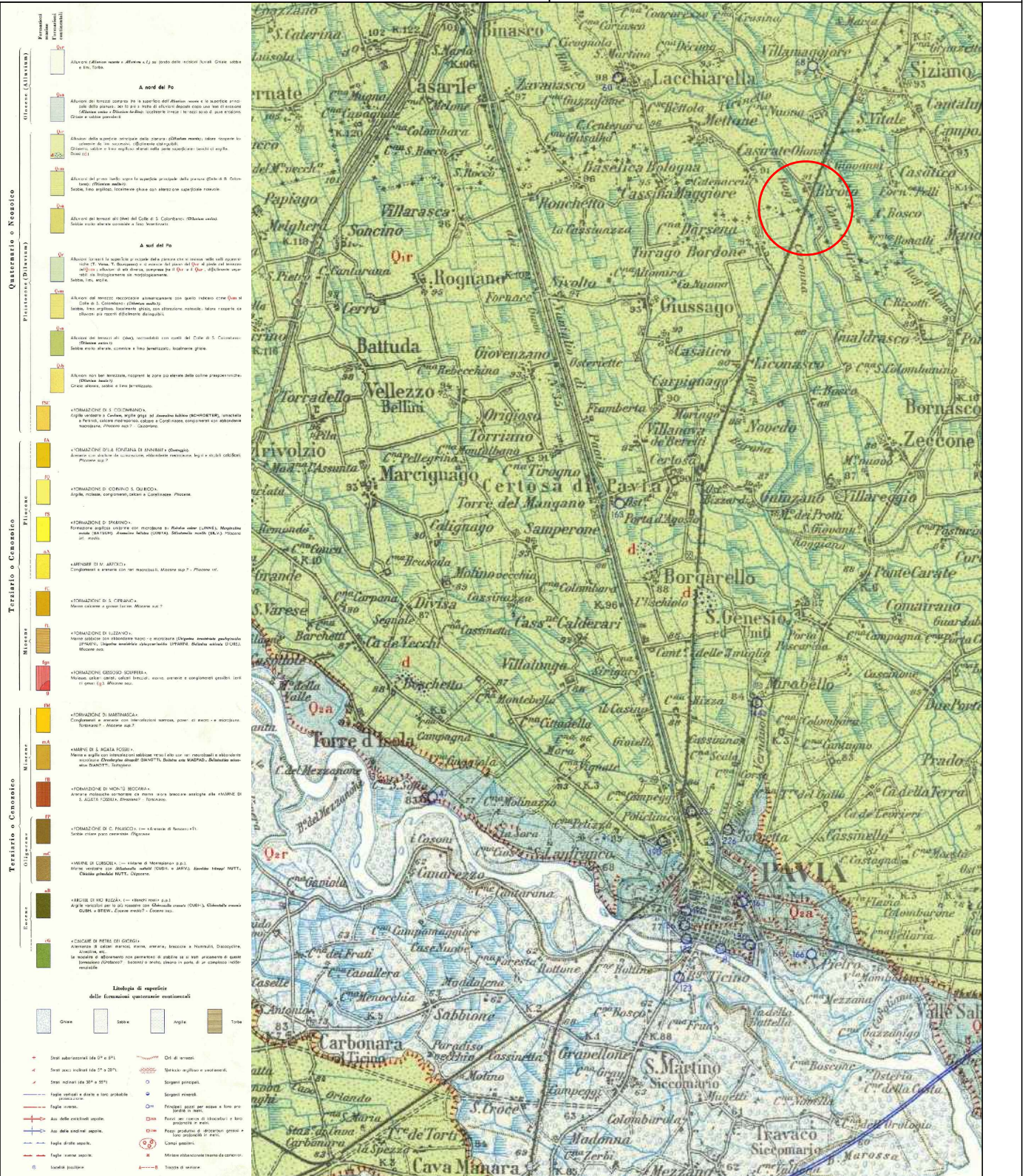


Area oggetto di intervento



Provincia di Milano
Comune di LACCHIARELLA (MI)
ROGGIA CARONA - REALIZZAZIONE NUOVO
MURO DI SOSTEGNO SPONDALE - VIA PER BIROLO

Foglio n.59 - PAVIA (stralcio)
Base cartografica: Carta Geologica d'Italia
Servizio Geologico d'Italia



Area oggetto di intervento





Provincia di Milano
COMUNE DI LACCHIARELLA



ROGGIA CARONA
REALIZZAZIONE NUOVO MURO
DI SOSTEGNO SPONDALE
VIA PER BIROLO

**Sintesi risultati prove penetrometriche
dinamiche continue (SCPT)**

COMMITTENTE: Consorzio Est Ticino Villoresi

CANTIERE: Roggia Carona-Realizzazione nuovo muro di sostegno sponale

LOCALITA': Via Per Birolo-Lacchiarella (MI)

CODICE PROVA: SCPT-01

DATA ESECUZIONE: 15.10.2021

TIPOLOGIA: Super Pesante (DPSH) non rivestita

OPERATORE: Bianchi

FALDA [m da p.c.]: 2.20

CARATTERISTICHE ATTREZZATURA DI PROVA:

Penetrometro: TG 63-200

Peso massa battente [kg]: 73

Altezza caduta [m]: 0.75

Peso sist. Batt. [kg]: 6.4

Diam. aste [mm]: 34

Peso unitario aste [kg/m]: 5.9

Lunghezza aste [m]: 1.00

Giunz. prima asta [m]: 0.4

Diam. punta [mm]: 50.5

Area di base punta [cmq]: 20.03

Angolo ap. Punta [°]: 90

Avanzamento punta [m]: 0.2

Energia spec. per colpo [kg/cmq]: 13.67

Energia specifica per colpo prova SPT [kg/cmq]: 7.83

Coeff. di energia [-]: 1.74

DATI DI PROVA[illegible][illegible]

Note:

COMMITTENTE: Consorzio Est Ticino Villorese

CANTIERE: Roggia Carona-Realizzazione nuovo muro di sostegno spondale

LOCALITA': Via Per Birolo-Lacchiarella (MI)

TIPOLOGIA: Super Pesante (DPSH) non rivestita

CODICE PROVA: SCPT-01

OPERATORE: Bianchi

DATA ESECUZIONE: 15.10.2021

FALDA [m da p.c.]: 2.20

CARATTERISTICHE ATTREZZATURA DI PROVA:

Penetrometro: TG 63-200

Peso massa battente [kg]: 73

Altezza caduta [m]: 0.75

Peso sist. Batt. [kg]: 6.4

Diam. aste [mm]: 34

Peso unitario aste [kg/m]: 5.9

Lunghezza aste [m]: 1.00

Giunz. prima asta [m]: 0.4

Diam. punta [mm]: 50.5

Area di base punta [cmq]: 20.03

Angolo ap. Punta [°]: 90

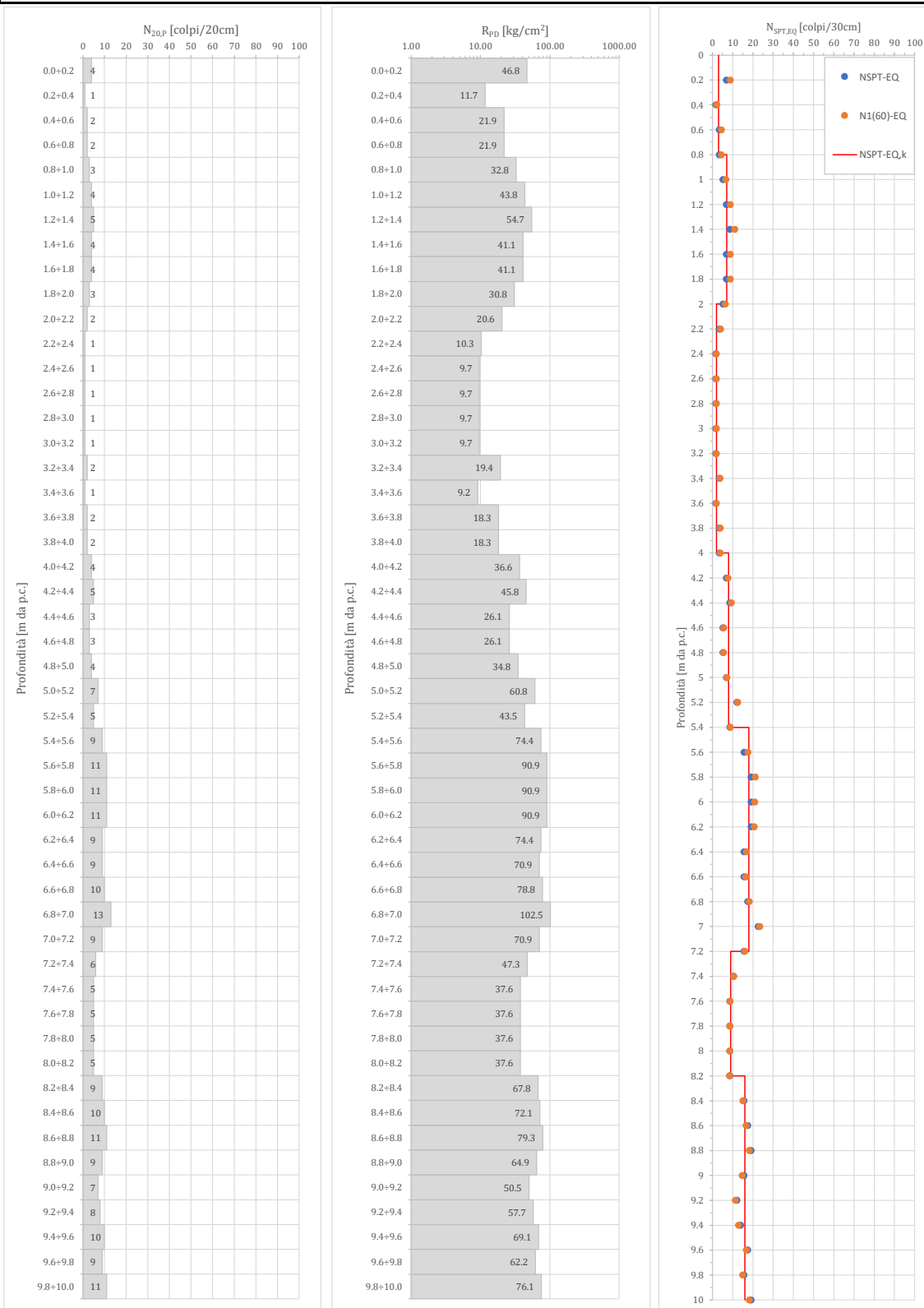
Avanzamento punta [m]: 0.2

Energia spec. per colpo [kg/cmq]: 13.67

Energia specifica per colpo prova SPT [kg/cmq]: 7.83

Coeff. di energia [-]: 1.74

DIAGRAMMI DI PROVA



Note:

COMMITTENTE: Consorzio Est Ticino Villorresi
CANTIERE: Roggia Carona-Realizzazione nuovo muro di sostegno spondale
LOCALITA': Via Per Birolo-Lacchiarella (MI) **CODICE PROVA:** SCPT-01 **DATA ESECUZIONE:** 15.10.2021
TIPOLOGIA: Super Pesante (DPSH) non rivestita **OPERATORE:** Bianchi **FALDA [m da p.c.]:** 2.20

ELABORAZIONE STATISTICA

STRATO	PROFONDITA'	N _{20,P} (colpi/20cm)					
[n]	[m da p.c.]	M	MG	MIN	MAX	D.ST	VC
1	0.00-0.80	1.7	1.6	1	2	0.6	2
2	0.80-2.00	3.8	3.8	3	5	0.8	4
3	2.00-4.00	1.4	1.3	1	2	0.5	1
4	4.00-5.40	4.4	4.3	3	7	1.4	4
5	5.40-7.20	10.2	10.1	9	13	1.4	10
6	7.20-8.20	5.2	5.2	5	6	0.4	5
7	8.20-10.00	9.3	9.2	7	11	1.3	9

STRATO	PROFONDITA'	R _{pp} [kg/cmq]					
[n]	[m da p.c.]	M	MG	MIN	MAX	D.ST	VC
1	0.00-0.80	18.49	17.76	11.70	21.88	5.88	18.50
2	0.80-2.00	40.72	39.99	30.83	54.70	8.55	40.70
3	2.00-4.00	13.48	12.72	9.16	20.55	4.92	13.50
4	4.00-5.40	39.09	37.53	26.07	60.84	12.25	39.10
5	5.40-7.20	82.74	82.07	70.93	102.45	11.31	82.70
6	7.20-8.20	39.58	39.40	37.65	47.28	4.31	39.60
7	8.20-10.00	66.62	66.05	50.46	79.30	9.02	66.60

STRATO	PROFONDITA'	N _{SPT-EQ} (colpi/30cm)					
[n]	[m da p.c.]	M	MG	MIN	MAX	D.ST	VC
1	0.00-0.80	2.9	2.8	2	3	1.0	3
2	0.80-2.00	6.7	6.6	5	9	1.3	7
3	2.00-4.00	2.4	2.3	2	3	0.9	2
4	4.00-5.40	7.7	7.4	5	12	2.4	8
5	5.40-7.20	17.8	17.7	16	23	2.4	18
6	7.20-8.20	9.1	9.0	9	10	0.8	9
7	8.20-10.00	16.3	16.1	12	19	2.3	16

STRATO	PROFONDITA'	N _{1(60),EQ} (colpi/30cm)					
[n]	[m da p.c.]	M	MG	MIN	MAX	D.ST	VC
1	0.00-0.80	3.7	3.5	2	4	1.3	4
2	0.80-2.00	8.5	8.3	6	11	1.7	8
3	2.00-4.00	2.8	2.6	2	4	1.0	3
4	4.00-5.40	8.2	7.9	6	13	2.5	8
5	5.40-7.20	19.1	19.0	16	24	2.6	19
6	7.20-8.20	9.0	9.0	9	11	0.9	9
7	8.20-10.00	15.5	15.3	11	18	2.3	15

Simbologia:

- M: media; MG: media geometrica; MIN: valore minimo; MAX: valore massimo; D.ST: deviazione standard; VC: valore caratteristico.

Note:
PARAMETRI GOTECCICI

STR.	PROFONDITA'	NATURA GRANULARE										NATURA COESIVA					
		Dr (1)	Dr (2)	φ (1)	φ (2.1)	φ (2.2)	E' (1)	E' (2)	E' ₂₅ (1.1)	E' ₂₅ (1.2)	E' ₂₅ (2)	c _u (1)	c _u (2.1)	c _u (2.2)	c _u (2.3)	E _u (1)	E _u (2)
[n]	[m da p.c.]	[%]		[°]			[kg/cm ²]		[kg/cm ²]			[kg/cm ²]				[kg/cm ²]	
1	0.00-0.80	25	30	26.3	24.3	29.6	104	91	21	95	17	0.14	0.14	0.10	0.15	27	36
2	0.80-2.00	37	40	29.0	28.1	33.3	159	111	46	197	40	0.33	0.32	0.23	0.35	39	60
3	2.00-4.00	21	23	25.6	23.5	28.8	99	89	19	88	16	0.13	0.12	0.09	0.14	26	33
4	4.00-5.40	37	38	28.8	28.6	33.8	181	116	60	258	52	0.43	0.41	0.30	0.46	42	65
5	5.40-7.20	56	56	32.9	32.4	37.5	293	167	145	557	135	1.11	1.07	0.77	1.18	73	109
6	7.20-8.20	39	40	29.3	29.4	34.6	209	123	79	335	69	0.56	0.54	0.39	0.60	46	72
7	8.20-10.00	51	52	31.7	32.0	37.1	283	160	137	545	125	1.03	0.99	0.71	1.10	68	103

Formulazioni utilizzate:

-Dr: (1) Terzaghi & Peck (1967); (2) Yoshida & Kokusho (1988);
 -φ: (1) Peck, Hansaon & Thornburn (1974); (2.1) Meyerhof (1956) sabbie fini e sabbie limose; (2.2) Meyerhof (1956) sabbie medie e grossolane;
 -E': (1) Tornaghi et Al.; (2) Bowles (1987);
 -E'₂₅: (1.1) Jamiolkowsky (1988) sabbie normal consolidate; (1.2) Jamiolkowsky (1988) sabbie sovra consolidate; (2) Stroud (1989);
 -c_u: (1) Terzaghi & Peck (1948); (2.1) Sivrikay & Togol (2007) limi e argille limose; (2.2) Sivrikay & Togol (2007) argille bassa plasticità; (2.3) Sivrikay & Togol (2007) argille alta plasticità;
 -E_u: (1) Bowles (1987); (2) Kulhawy & Mayne (1990).

Provincia di Milano
COMUNE DI LACCHIARELLA



ROGGIA CARONA
REALIZZAZIONE NUOVO MURO
DI SOSTEGNO SPONDALE
VIA PER BIROLO

Report fotografico

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA CONTINUA SCPT-01



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA CONTINUA SCPT-01 – Postazione

INDAGINE SISMICA MASW-01



INDAGINE SISMICA MASW-01 – Postazione