
RELAZIONE GEOLOGICA

ai sensi del D.M. 17/01/2018 (R1) e della DGR IX/2616/2011 (R3)

- Caratterizzazione e modellazione geologica del sito
- Sismicità
- Indagini geognostiche
- Risposta sismica del sito, risposta sismica locale con analisi numerica 1D
- Compatibilità dell'intervento di progetto con le risultanze dello Studio Geologico Comunale e con le normative geologiche di fattibilità, di vincolo e di Pericolosità sismica.

RELAZIONE GEOTECNICA

ai sensi del D.M. 17/01/2018 (R2)

- Modello geotecnico
- Elementi per le verifiche della sicurezza e delle prestazioni

Edificio adibito a refettorio e sala polifunzionale in Via Pertini

COMUNE DI PIEVE SAN GIACOMO

Provincia di Cremona

Committente: Comune di Pieve San Giacomo

Il Tecnico

Dott. Geol. Damiano Scalvini

(RELAZIONE FIRMATA DIGITALMENTE)

Lonato del Garda, 31/01/2023

Sommario

1.	PREMESSA.....	3
1.1.	Esame delle norme di fattibilità e di vincolo vigenti sull'area.....	4
1.2.	Metodologia di lavoro	5
2.	CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO	7
2.1.	Inquadramento geologico, geomorfologico ed idrogeologico generale.....	7
2.2.	Inquadramento di dettaglio	8
3.	SISMICITA'.....	9
3.1.	Tettonica regionale e locale	9
3.2.	Sismicità storica	10
3.3.	Normativa sismica vigente e valori di a_g	11
4.	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL SITO	13
4.1.	Campagna d'indagine geognostica 2016	13
4.1.1.	Prove penetrometriche CPT	13
4.1.2.	Sondaggio geognostico.....	15
4.1.3.	Altri dati geognostici.....	15
4.1.4.	Dati sismostratigrafici.....	16
4.1.4.1.	Indagine sismica MASW.....	16
4.1.4.2.	Indagini di sismica HSVR.....	16
5.	MODELLO GEOTECNICO E GEOFISICA DEL SITO.....	18
6.	RISPOSTA SISMICA LOCALE - Metodo semplificato e Analisi di 1° e 2° livello	20
6.1.	Scenario di Pericolosità Sismica Locale, Categoria di Sottosuolo e Categoria Topografica	21
6.1.1.	Categoria di Sottosuolo –Effetti di Amplificazione Litologica - Analisi di 1° Livello e Approfondimento Sismico Analisi di 2° Livello	21
6.1.2.	Categoria Topografica	22
6.2.	Pericolosità Sismica del Sito - Parametri sismici di riferimento per la definizione dell'Azione Sismica (Metodo semplificato)	22
7.	RISPOSTA SISMICA LOCALE – Metodo Numerico 1D.....	25
7.1.	Generalità	25
7.2.	Risposta Sismica Locale 1D - Analisi di 3° livello ai sensi della D.G.R. 9/2616/2011 (All. 5 - par. 2.3.3).....	28
7.2.1.	Metodiche di Analisi Numeriche di Risposta Sismica Locale	29
7.2.1.1.	Metodo lineare equivalente.....	30
7.2.1.2.	Soluzione alla singola iterazione mediante FEM.....	31
7.2.1.3.	Procedimento iterativo	33
7.2.1.4.	Interpretazione dei risultati.....	33
7.3.	Dati di INPUT – Nuovo Refettorio Via Pertini	34
7.3.1.	Indagini Specifiche	34
7.3.2.	Scelta della schematizzazione geometrica e definizione del modello geotecnico di sottosuolo	34
7.3.3.	Stratigrafia e caratteristiche meccaniche dei singoli strati	34
7.3.4.	Curve di decadimento dei materiali.....	35
7.3.5.	Definizione delle Azioni Sismiche in ingresso.....	35
7.3.6.	Scelta della procedura di Analisi	37
7.4.	Risultati - Output	40
7.4.1.	Parametri stimati lungo la sezione di calcolo e le colonne di controllo	40
7.4.2.	Azioni sismiche allo SLO.....	42
7.4.3.	Azioni sismiche allo SLD.....	43
7.4.4.	Azioni sismiche allo SLV	44
7.4.5.	Azioni sismiche allo SLC	45
7.5.	Parametri sismici di riferimento (Risposta Sismica del Sito - Metodo Numerico 2D) - Valori di S e Cc.....	46
8.	VERIFICHE DI STABILITA'	48
8.1.	Stabilità nei confronti della liquefazione – Esclusione della verifica a liquefazione.....	48
8.2.	Stabilità dei pendii.....	49
9.	PROGETTO DI INTERVENTO E RACCOMANDAZIONI	50
10.	OPERAZIONI DI SCAVO	51
10.1.	Modalità esecutive degli scavi in condizioni di sicurezza – Interventi di impermeabilizzazione e drenaggio.....	51
10.2.	Linee guida generali di utilizzo del materiale escavato	51
11.	ELEMENTI PER LE VERIFICHE DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI	57
11.1.	Verifica di predimensionamento delle strutture di fondazione.....	58
11.2.	Elementi per le verifiche degli Stati Limite Ultimi.....	59
11.3.	Elementi per le verifiche agli Stati Limite d'Esercizio (SLE) – Stima dei cedimenti	60
12.	COMPATIBILITÀ DELL'INTERVENTO DI PROGETTO CON LE RISULTANZE DELLO STUDIO GEOLOGICO COMUNALE E CON LE NORMATIVE GEOLOGICHE DI FATTIBILITÀ, DI VINCOLO E DI PERICOLOSITÀ SISMICA	63

STUDIO GEOLOGICO SCALVINI

Via San Giuseppe 8 – 25017 – LONATO DEL GARDA (BS) Cell. 333.8506030 - Tel 030.618.2811

E mail: damiano@studiotecnicoscalvini.com

PEC: damianoscalvini@epap.sicurezzaepapale.it (dal 1.07.22 damianoscalvini@pec.epap.it)

1. PREMESSA

Per conto del Comune di Pieve San Giacomo, su incarico dell'Ing. Antonio Cerioli è stato richiesto uno **studio geologico e geotecnico** per il progetto di realizzazione "Edificio adibito a refettorio e sala polifunzionale" presso la Scuola dell'Infanzia in Via Perini a Pieve San Giacomo, su terreno identificato in mappa al Foglio 8 entro il mapp. 412.

Con **D.G.R. X/2129/14** la Regione Lombardia ha approvato un "**Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia** (L.R. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d)", che recepisce definitivamente la classificazione dell'OPCM 3519/2006 e che è entrato in vigore a partire dal 10 Aprile 2016.

La recente **L.R. 33 del 12/10/2015** definisce le "**Disposizioni in materia di opere o di costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche**" e di fatto trasferisce ai comuni, singoli o associati, numerose funzioni prima assegnate alla Regione (di cui agli art. 61, 90 comma 2, 93 comma 1, 94 comma 1, 96, 97, 99, 100 e 104 del D.P.R. 380/2001) ed in particolare inerenti "**Norme per le costruzioni in zone sismiche**" e "**Vigilanza sulle costruzioni in zone sismiche**"; essa è definitivamente entrata in vigore con la pubblicazione della **D.G.R. 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)**", sul B.U. di Regione Lombardia del 07 Aprile 2016.

Ciò comporta, tra l'altro, specifiche prescrizioni nella redazione degli elaborati tecnici a corredo dei progetti e, in zona sismica 2 (ai sensi del DPR 380/2001 come modificato dalla L. 55 del 14/06/2019), l'obbligo di acquisire **l'Autorizzazione Sismica di cui all'Art.8 comma 1 della L.R. 33/2015**, da rilasciare a carico dei Comuni o della Regione entro 60 gg dalla data di protocollo (fatto salvo il ricorso da parte del comune al parere regionale) o **l'Attestazione di avvenuto Deposito di cui all'Art.7 comma 1 della L.R. 33/2015**, da rilasciare a carico dei Comuni all'atto del deposito stesso.

Si rimanda al Progettista la classificazione della tipologia di intervento **ai sensi dell'art. 94 bis del D.P.R 380/2001 e s.m.i.** e la conseguente idonea applicazione degli adempimenti richiesti dalla L.R. 33/2015.

Si segnala infine l'entrata in vigore della **D.G.R. X/6738 del 19 Giugno 2017** "**Disposizioni regionali concernenti l'attuazione del piano gestione dei rischi di alluvione (PGRA) nel settore urbanistico e di pianificazione dell'emergenza ai sensi dell'art.58 delle norme di attuazione del piano stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI) del bacino del fiume Po così come integrate dalla variante adottata in data 7 Dicembre 2016 con deliberazione n.5 del comitato istituzionale di bacino del Fiume Po**", che integra la **D.G.R. 9/2616/2011** con particolare riferimento all'introduzione del nuovo Titolo V delle Norme di Attuazione (N.D.A.) del PAI ed alle disposizioni relative all'attuazione della variante normativa PAI nel settore urbanistico alla scala comunale. Tali disposizioni e le norme correlate

STUDIO GEOLOGICO SCALVINI

Via San Giuseppe 8 – 25017 – LONATO DEL GARDA (BS) Cell. 333.8506030 - Tel 030.618.2811

E mail: damiano@studiotecnicoscalvini.com

PEC: damianoscalvini@epap.sicurezzapostale.it (dal 1.07.22 damianoscalvini@pec.epap.it)

sono vigenti a partire dalla data di pubblicazione della D.G.R. e pertanto dal 19 Giugno 2017.

Con l'entrata in vigore della **L.R. 19 del 08/07/2014**, che apporta sostanziali modifiche alla L.R. 31 del 05/12/2008 è divenuto a carico dei Comuni (commi 2 e 3 dell'Art. 44 della L.R. 31/2008 come modificato dalla L.R.19/2014), autorizzare la trasformazione d'uso del suolo dei terreni soggetti a vincolo idrogeologico di cui all'Art. 1 del R.D. 3267 del 30/12/1923, in conformità alle indicazioni ed alle informazioni idrogeologiche contenute negli studi geologici comunali, nei piani territoriali e nei piani forestali di cui all'art.47 della L.R.31/2008. In particolare, ai sensi del comma 2 Art. 44 della L.R. 31/2008 come modificato dalla L.R.19/2014, per i comuni dotati di piano di governo del territorio (PGT) i titoli abitativi edilizi devono essere provvisti di tale autorizzazione che va rilasciata previa verifica di conformità delle trasformazioni d'uso del suolo rispetto alla componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT prevista dall'art. 57 comma 1 lettera b) della L.R. 12/2005.

Dovrà pertanto essere predisposta una **relazione geologica**, in ottemperanza alle vigenti normative nazionali ed alle norme di fattibilità/vincolo/pericolosità sismica regionali individuate nel PGT per il sito di progetto (par. 6.1.2 e 6.2.1 NTC 18; D.G.R. 9/2616/2011), ed una **relazione geotecnica** (par. 6.1.2 NTC 18; p.to C 6.2.2.5 Circolare esplicativa n.617 del 02/02/2009).

Pertanto, in ottemperanza alla D.G.R. 9/2616/2011 ed alla D.G.R. 10/5001/2016 è stata presa preliminare visione della Classe di Fattibilità, di Vincolo e di Pericolosità Sismica vigenti per l'area di progetto in relazione alle Norme di PGT del territorio Comunale di Pieve San Giacomo nonché delle aree di pericolosità e rischio individuate dal PGRA.

Si specifica che in adempimento alla normativa vigente (D.M. 17/01/18) la presente relazione geologica-geotecnica può essere utilizzata solo per il sito indicato in premessa ed in riferimento agli interventi progettuali così come definiti nei paragrafi illustrativi (cap. 8) e nelle tavole cartografiche e tecniche e non può essere quindi utilizzata per altri e diversi interventi progettuali successivi, se non previa presa in esame di eventuali nuovi interventi progettuali e di eventuale nuova normativa da parte del professionista Geologo.

1.1. Esame delle norme di fattibilità e di vincolo vigenti sull'area

Il Comune di Pieve San Giacomo è dotato di Studio Geologico redatto dal Dott. Geol. Giuseppe Malerba nel maggio 2010, secondo i *“Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57 della L.R. 11/03/05 n° 12”*, emanate con **D.G.R. n° 8/7374 del 28/06/2008**.

L'area d'indagine ricade nella **Classe di fattibilità 2 con modeste limitazioni.**

Essa è inoltre inserita nello **Scenario di pericolosità sismica** per **AMPLIFICAZIONI LITOLOGICHE E GEOMETRICHE**

STUDIO GEOLOGICO SCALVINI

Via San Giuseppe 8 – 25017 – LONATO DEL GARDA (BS) Cell. 333.8506030 - Tel 030.618.2811

E mail: damiano@studiotecnico-scalvini.com

PEC: damianoscalvini@epap.sicurezza-postale.it (dal 1.07.22 damianoscalvini@pec.epap.it)

- **Z4a Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi**

caratterizzato da potenziale amplificazione litologica con F_a di sito (FAC) < F_a di soglia (FAS).

L'area interessata dell'edificio di progetto non è compresa in aree soggette a vincolo relative alla pianificazione di bacino del PAI.

L'edificio e le opere di progetto non risultano comunque interessati da vincoli di Polizia Idraulica.

Nell'ambito del P.G.R.A. l'area in esame **NON** è inclusa entro aree a pericolosità e aree a rischio.

L'area in esame non risulta inserita in aree sottoposte a Vincolo Idrogeologico.

Stralci di tutte le cartografie vengono riportate in allegato.

1.2. Metodologia di lavoro

La **relazione geologica-sismica** sarà redatta sulla base di tutti i dati geognostici raccolti avendo come finalità la valutazione del **Modello Geologico** (D.M. 17/01/18) e **Geofisico** (D.M. 16/01/96, Ord. 3274/2003, Ord. 3519/2006, D.M. 17/01/18, D.G.R. 9/2616/2011 e D.G.R. 10/5001/2016) del sito di progetto. In essa si dovrà inoltre procedere alla verifica della compatibilità dell'intervento con le Norme di PGT e sovracomunali vigenti, individuando eventuali prescrizioni/interventi necessari per la sua realizzazione. Nella relazione si prevede quindi l'inquadramento geologico, geomorfologico ed idrogeologico dell'area nonché l'inquadramento della sismicità regionale e la determinazione dei parametri relativi alla Pericolosità Sismica di Sito (Categoria di sottosuolo-Categoria Topografica, Amplificazione Stratigrafica e Topografica, Parametri Sismici Normativi $-a_g$, F_0 e T_c^* - stimati per varie frequenze annuali di superamento, ecc.) con applicazione dei livelli di approfondimento richiesti dalla normativa regionale (D.G.R. 9/2616/2011 e D.G.R. 10/5001/2016), tenuto conto delle Norme di PGT vigenti. In particolare verranno eseguite le verifiche delle condizioni di stabilità del sito come previsto al cap. 11 del DM 17/01/18.

Si prevede quindi il rilascio del **“Modulo 9 – Dichiarazione/Asseverazione della congruità della Relazione Geologica ai requisiti richiesti dal punto 6.2.1 delle NTC DM 17/01/18 e/o dalla D.G.R. 9/2616/2011”**.

La **relazione geotecnica** sarà redatta sulla base di tutti i dati raccolti e con particolare riguardo alla valutazione del **Modello Geotecnico** (D.M. 17/01/18). Verranno infine forniti gli elementi necessari per le verifiche della sicurezza e delle prestazioni, ai sensi dello stesso Decreto, utili per una corretta progettazione degli edifici di progetto. Si prevede rilascio del **“Modulo 10 – Dichiarazione/Asseverazione dell'Estensore della Relazione Geotecnica di congruità dei contenuti della Relazione Geotecnica ai requisiti richiesti dal punto 6.2.2 delle NTC DM 17/01/18”**.

Dal punto di vista metodologico è stato dapprima eseguito il rilievo geolitologico e geomorfologico dell'area in oggetto e di quelle ad essa limitrofe.

Per la caratterizzazione geologica-geotecnica dei terreni, in adempimento alle norme di fattibilità geologica e per gli scenari di PSL individuati, si fariferimento ad una

STUDIO GEOLOGICO SCALVINI

Via San Giuseppe 8 – 25017 – LONATO DEL GARDA (BS) Cell. 333.8506030 - Tel 030.618.2811

E mail: damiano@studiotecnico-scalvini.com

PEC: damianoscalvini@epap.sicurezza-postale.it (dal 1.07.22 damianoscalvini@pec.epap.it)

specifica indagine geognostica condotta in loco mediante **n° 5 prove penetrometriche statiche (C.P.T.)** e **n. 1 sondaggio** eseguiti nel 2016.

Per la caratterizzazione sismica del sito nel 2016 entro l'area d'indagine è stata eseguita una linea sismica MASW ed una specifica indagine sismica mediante n° 2 misure/registrazioni di sito con stazione singola HVSR sismica passiva (tromografo) collocate in campo libero e all'interno dell'edificio, allo scopo di determinare la frequenza di risonanza del sito, al fine di operare un confronto con la frequenza di risonanza dell'edificio.

Si allega:

- Corografia (sc. 1:10.000)
- Estratti cartografici del PGT vigente e del PGRA
- Planimetria dell'area con ubicazione indagini 2016 (sc. 1:200)
- Scheda Prove penetrometriche CPT
- Stratigrafia del Sondaggio
- Sezione geotecnica
- Stratigrafia Pozzo Comunale
- Allegato fotografico
- Allegato 1: classificazione sismica e parametri di calcolo
 - Tabelle di classificazione dei terreni (DM 14-01-2008)
 - Mappa di pericolosità sismica (INGV)
 - Scheda dei parametri di calcolo per il sito d'intervento
 - Grafico degli spettri di risposta elastici per i diversi SL
 - Grafico dei valori di progetto dei parametri sismici in funzione di TR
 - Scheda di verifica dell'amplificazione litologica
- Allegato 2: Metodologie di calcolo adottate nel predimensionamento delle fondazioni
- Allegato 3: Elaborazione linea sismica MASW
- Allegato 4: Elaborazione indagine HVSR

2. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO

(par. 6.2.1. del DM 17/01/18)

2.1. Inquadramento geologico, geomorfologico ed idrogeologico generale

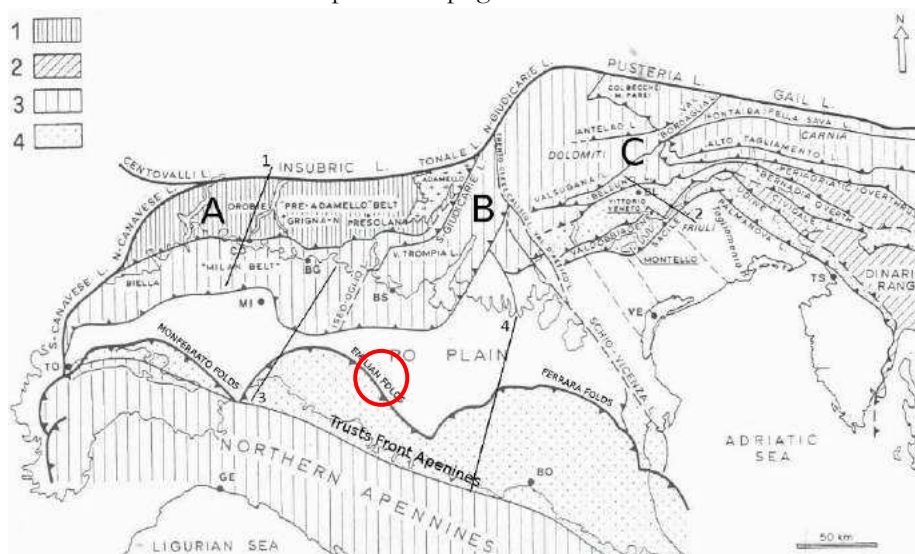
Il territorio del comune di Pieve San Giacomo, in provincia di Cremona, è inserito nell'ambito della Pianura Padana e, in particolare, appartiene alla cosiddetta "Bassa Pianura a meandri".

L'area è caratterizzata dalla presenza di un ripiano morfologico, chiamato "Piano Generale Terrazzato" o "Livello Fondamentale della Pianura" che, nell'ambito del territorio comunale, presenta una blanda pendenza verso sud est, con quote che variano da un massimo di 41 ad un minimo di 33 m s.l.m.. Il ripiano morfologico è limitato, a sud, dalle scarpate dell'incisione valliva del F. Po e a nord dalle scarpate dell'incisione valliva del fiume Oglio.

Dal punto di vista strutturale la Pianura Padana risulta interposta tra la catena Alpina, a nord, caratterizzata essenzialmente da movimenti tettonici sud-vergenti, e la catena Appenninica, a sud, caratterizzata al contrario da sistemi tettonici essenzialmente nord-vergenti.

Il bacino padano interposto è caratterizzato dalla presenza di thrust frontali, sepolti al di sotto dei depositi alluvionali, pertinenti sia alla catena alpina sia alla catena appenninica.

Nell'ambito della pianura il materasso alluvionale risulta quindi di spessore alquanto variabile andando a mascherare tali thrust sepolti i quali, localmente, risultano a profondità molto prossime alla superficie. Nell'area di Pieve San Giacomo, la base dei depositi Pliocenici si attesta intorno ai 4000 m di profondità ma in alcuni settori della pianura, in corrispondenza dei punti più avanzati dei thrust, tale profondità si riduce anche a meno di 250 m dalla superficie topografica¹.



¹ Structural Model of Italy, CNR, Progetto Finalizzato Geodinamica,

Dal punto di vista geologico stratigrafico nel territorio di Pieve San Giacomo si riconoscono, nel settore settentrionale e orientale, terreni riferibili **all'interglaciale Riss-Wurm**, costituiti da depositi fluvio-lacustri argilloso-sabbiosi, più raramente sabbiosi, con scarsi piccoli ciottoli, fittamente stratificati, contenenti concrezioni calcaree, mentre nel settore centrale, occidentale e meridionale, compreso il centro abitato, si riconoscono terreni riferibili al **fluviale Wurm**, costituiti da depositi sabbiosi e sabbioso-argillosi, raramente a debole contenuto ghiaioso a ciottoli minuti

L'assetto geomorfologico del territorio è essenzialmente legato all'azione di erosione e deposizione delle acque fluviali in epoca glaciale, postglaciale e recente, che hanno progressivamente modellato la pianura.

La superficie topografica appare generalmente ondulata e, soprattutto dall'analisi di foto aeree ma anche all'esame cartografico, è possibile individuare le tracce di paleovalle e antichi percorsi fluviali che nel corso dei secoli e dei millenni hanno costruito e modellato la pianura. In particolare, come evidenziato nello Studio Geologico Comunale, si possono individuare con chiarezza, grazie all'esame delle isopse, due blande depressioni poste ad oriente e ad occidente del centro storico.

La rete idrografica superficiale è caratterizzata, oltre che dai canali di bonifica, dalla presenza di corsi d'acqua secondari con funzione irrigua o di bonifica (dugali), oppure promiscua di irrigazione e colo.

La maggior parte di detti corsi d'acqua è gestita dal Consorzio di Bonifica Dugali, accanto al quale operano sul territorio consorzi irrigui che in modo autonomo si occupano della distribuzione delle acque superficiali e più in generale della gestione e manutenzione dei corsi d'acqua.

L'asta idrica principale è il Dugale Delmona Tagliata che taglia il territorio in direzione WNW-ESE. Al suo fianco, a sud, scorre il Cavo Nuova Delmona, con medesimo andamento. Entrambe le aste scorrono immediatamente a nord del centro storico di Pieve San Giacomo.

La struttura idrogeologica del territorio in esame è rappresentata da un primo acquifero freatico, con soggiacenza variabile tra 1 e 3 m dal p.c.

Al di sotto è presente un sistema acquifero multifalda caratterizzato da alternanze di livelli acquiferi prevalentemente sabbiosi e livelli impermeabili o semipermeabili argilloso limosi.

2.2. Inquadramento di dettaglio

L'area in esame è ubicata presso il centro storico di Pieve San Giacomo, in Via Pertini.

Dal punto di vista geologico geomorfologico l'area, sostanzialmente pianeggiante, appare pertinente ai depositi fluviali Wurmiani sabbiosi e sabbioso argillosi.

Nell'ambito del centro abitato non è esclusa la presenza, in superficie, di spessori variabili di materiali di riporto o rimaneggiati.

Nei pressi dell'area d'indagine non risultano presenti canali o fossi afferenti al reticolo idrografico.

Nell'area la soggiacenza della falda è documentata a circa -3,00/-4,00 m dal p.c.

STUDIO GEOLOGICO SCALVINI

Via San Giuseppe 8 – 25017 – LONATO DEL GARDA (BS) Cell. 333.8506030 - Tel 030.618.2811

E mail: damiano@studiotecnico-scalvini.com

PEC: damianoscalvini@epap.sicurezza-postale.it (dal 1.07.22 damianoscalvini@pec.epap.it)

3. SISMICITA'

3.1. Tettonica regionale e locale

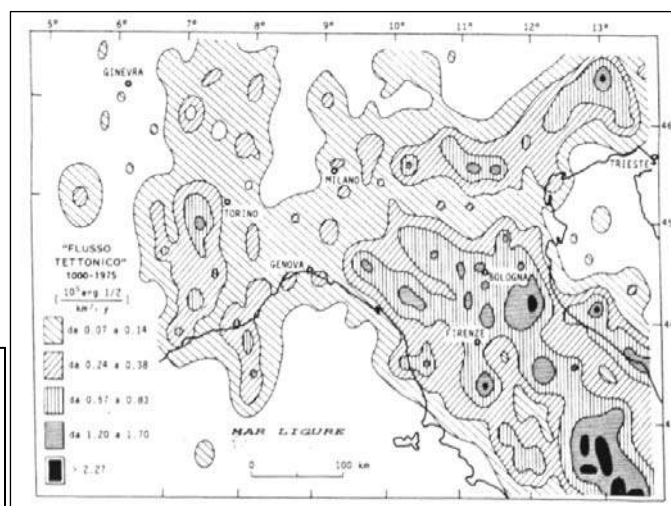
Il bacino padano risulta compreso tra due settori sismici di fondamentale importanza per tutta la sismicità del nord Italia.

Nel settore settentrionale della pianura è presente infatti il sistema di sovrascorrimenti S-vergenti che costituiscono la continuazione in pianura delle Prealpi Lombarde mentre nel settore meridionale si ha invece un pronunciato sistema di embricazione N-vergente che costituisce l'avanfossa essenzialmente pliocenica dell'Appennino settentrionale.

I due sistemi entrano in collisione nella parte mediana della pianura; il fronte settentrionale è inquadrabile all'interno dei sistemi di deformazione del Miocene medio-superiore mentre quello meridionale è essenzialmente pliocenico. A partire dalla fine del Pleistocene inf. entrambi i margini del Bacino Padano sono in sollevamento in seguito alla formazione di un bacino flessurale più simmetrico.

Pertanto attraverso alcuni milioni di anni il progressivo moto di avvicinamento della Placca Africana e della Placca Europea ha determinato prima la nascita delle Alpi e degli Appennini e poi ne ha sollevato le porzioni assiali creando il paesaggio montuoso che oggi conosciamo, secondo un meccanismo ancora attivo alla velocità di 1-3 metri per millennio. L'avvicinamento di Alpi e Appennini secondo una direttrice circa N-S, e quindi il raccorciamento della Pianura Padana, è tuttora in atto, come mostrano i dati geodetici satellitari. In profondità questo raccorciamento si trasforma in uno sforzo di caricamento di faglie di tipo compressivo localizzate sia al piede delle Alpi Meridionali, sia al piede dell'Appennino Settentrionale, che risultano a tutti gli effetti le aree in cui si concentra l'attività sismica passata e recente.

“Flusso tettonico” medio (energia prodotta dai terremoti che attraversa l'unità di superficie nell'unità di tempo), valutato per gli ultimi 1000 anni nell'Italia settentrionale e in Lombardia. (Cattaneo et al., 1978).



La relativamente elevata sismicità rilevata recentemente nel territorio bresciano e veronese, nonché nel settore emiliano, è stata interpretata come indicativa di una consistente attività neotettonica nella zona.

Recenti studi² permettono di delineare un primo quadro interpretativo. In particolare la corrispondenza e la connessione tra le strutture geologiche e le zone sismicamente attive dimostrerebbero come siano ancora in atto movimenti tettonici connessi all'orogenesi alpina. Molti autori ritengono infatti che la maggior parte delle superfici tettoniche segnalate nella letteratura geologica rivestano un'elevata e significativa importanza nel quadro sismotettonico generale. Ciò è confermato dall'ubicazione degli ipocentri sismici del bresciano, posti in corrispondenza della parte più pellicolare della crosta (tra i 5 e i 15 km). Oltre ai movimenti lineari che si possono verificare lungo superfici di discontinuità preesistenti e che portano a classificare le faglie e le superfici tettoniche come attive, si sviluppano anche movimenti areali di carattere neotettonico. A tal proposito le strutture delineatesi a partire dal Pleistocene inf. possono costituire una sorgente sismogenetica, lungo le più recenti direzioni NE-SW e NW-SE o riattivando i sistemi già delineatisi nel neogene (E-W), riutilizzando le antiche superfici di sovrascorrimento e i loro frequenti svincoli trasversali.

Anche al di sotto dei sedimenti della Pianura Padana esistono quindi strutture tettoniche attive e capaci di generare terremoti, come testimonia sia la sismicità strumentale dell'area, sia il verificarsi di importanti terremoti storici o, più recentemente, la riattivazione dei thrust sepolti dell'Appennino Settentrionale durante la **sequenza dell'Emilia del 2012**. Una caratteristica comune delle sequenze emiliane del 1570, 1929 e 2012 è quella di essere costituite da più terremoti potenzialmente distruttivi, anche con magnitudo simile, che si susseguono nell'arco di giorni, settimane o mesi.

Ma il più forte terremoto di cui si ha notizia nell'area padana è quello che il **3 gennaio del 1117 ha duramente colpito Verona** e le aree poste a sud di essa (magnitudo stimata 6.7). La precisazione "di cui si ha notizia" è doverosa perché per molti secoli la Pianura Padana è stata sede di ampie aree paludose e di fitte e impraticabili foreste con sporadici nuclei abitati; esiste quindi la possibilità che altri forti terremoti accaduti nell'area siano stati poco risentiti dall'uomo o non siano stati risentiti affatto, e quindi che non siano stati adeguatamente documentati, apparendo come terremoti minori o scomparendo del tutto dalle fonti storiche.

Da questo complesso quadro sismotettonico deriva quindi la "Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale" in vigore ai sensi dell'OPCM 3519/2006, riportata in fig. 1 dell'Allegato 1 alla presente relazione.

3.2. Sismicità storica

Il settore prealpino e padano è caratterizzato dalla presenza di numerosi sistemi tettonici attivi, responsabili delle varie manifestazioni sismiche documentate storicamente ed in tempi recenti soprattutto nell'area bresciana, veronese e bergamasca, consultabili nel Catalogo Parametrico dei Terremoti (CPTI15³).

Nell'ambito del territorio regionale lombardo le aree bresciane sono quelle più frequentemente interessate da eventi sismici.

L'area gardesana, inserita in una situazione di confine tra due contesti tettonici differenti, quello lombardo e centro alpino da un lato e quello veneto-friulano

² P. Vannoli, P. Burrato, G. Valensise, *The Seismotectonics of the Po Plain (Northern Italy): Tectonic Diversity in a Blind Faulting Domain*, *Pure and Applied Geophysics*, 03 Jul 2014

³ Locati M., Camassi R., Rovida A., Ervolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>

dall'altro, è teatro di numerose e significative manifestazioni sismiche tra le quali ricordiamo i terremoti di Salò (1901, M=5,70 e 2004, M=5,06), Garda occidentale (1892, M=5,02), Monte Baldo (1866, M=4,92; 1876, M=4,89; 1882, M=4,99) Bassa Veronese (1117, M=6,69).

L'area di Brescia e della pianura bresciana e bergamasca è caratterizzata dalla presenza di strutture tettoniche sepolte sotto la coltre alluvionale, tuttora poco studiate, che secondo i più recenti studi sono state la causa delle numerose manifestazioni sismiche avvenute in tempi storici e in tempi più recenti, tra le quali ricordiamo i terremoti di Brescia (1065, M=5,14), del basso bresciano (1222, M= 5,84), di Castenedolo (1799, M=5,01), della Valle dell'Oglio (1802, M=5,64), di Franciacorta (1894, M=5,07).

Queste aree ricadono nella Zona 906-Garda Veronese della Zonazione sismogenetica ZS9

Nell'area emiliana si possono ricordare principalmente i recenti terremoti dell'Emilia (2012, M=6/5,8), ma anche i terremoti dell'Appennino Modenese (1501, M=5,9), Parma (1834, M=5,7), Emilia (1796, M=5,6), Parma e Reggio (1971, M=5,6), Parmense (1438, M=5,6).

Numerosi terremoti nel corso dei secoli sono segnalati anche nell'area di Bologna (1505 e 1779, 1929 M=5,3 e 2003 M=5,3) a Ferrara (1570, M=5,5 e 1909 M=5,5), Argenta (1624, M=5,5), Alfonsine (1967, M=5,3)

Queste aree ricadono nella Zona 912-Dorsale Ferrarese e 913-Appennino Emiliano Romagnolo della Zonazione sismogenetica ZS9

3.3. Normativa sismica vigente e valori di a_g

Negli ultimi anni la normativa sismica italiana, parallelamente a quella Europea, ha subito una forte evoluzione per adeguarsi alle nuove conoscenze ed esperienze acquisite in ambito scientifico e per adottare nuove e più recenti metodologie di lavoro.

La normativa sismica (**D.M. 16 Gennaio 1996**) in Italia, anteriormente al marzo 2003, suddivideva il territorio nazionale in tre categorie di pericolosità (elevata, media e bassa).

Per ciascuna categoria erano assegnati un grado di sismicità (S) ed un coefficiente di intensità sismica ($C=(S-2)/100$). Lo spettro di progetto $Sa(I)$ si otteneva moltiplicando il coefficiente C (pari a 0.10g - 0.07g - 0.04g in ordine decrescente di pericolosità sismica) per una forma spettrale $R(I)$ indipendente dalle condizioni del sottosuolo. Questa normativa sismica non teneva conto, però, del ruolo del terreno sulla modifica di forme ed ordinate spettrali, se non con la moltiplicazione dello spettro per il coefficiente di fondazione e che di regola è unitario, salvo che per “terreni particolarmente compressibili” per i quali si consiglia di incrementare e fino a 1.3.

L' **Ordinanza n°3274 del 20/03/03** e Norme Tecniche allegate, fa riferimento a metodologie più recenti in cui il moto sismico è caratterizzato anche in relazione alle condizioni locali. In tale direzione si è già mosso l'Eurocodice 8 (EC8) che stabilisce le regole per il progetto e la costruzione di strutture in zona sismica per i paesi membri della Comunità Europea.

Secondo l'EC8, come anche secondo l'OPCM n. 3274, i territori nazionali vengono suddivisi in zone sismiche in funzione della pericolosità locale, descritta in termini di accelerazione orizzontale massima attesa alla superficie di un sito rigido di riferimento (a_g). I valori di accelerazione massima fissati nella nuova ordinanza per le **zone 1, 2, 3 e 4** (rispettivamente **0.35g - 0.25g - 0.15g - 0.05g**) recepiscono la proposta del G.N.D.T. (1985) e risultano maggiori di quelli della precedente normativa. La norma richiedeva quindi alle Regioni di eseguire la valutazione di a_g sul proprio territorio, a partire dalla “Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale” (vedi fig.1 in All.1 a fine relazione) allegata all'**Ordinanza 3519/2006** e quindi di assegnare i comuni ad una delle zone della

STUDIO GEOLOGICO SCALVINI

Via San Giuseppe 8 – 25017 – LONATO DEL GARDA (BS) Cell. 333.8506030 - Tel 030.618.2811

E mail: damiano@studiotecnicoescalvini.com

PEC: damianoscalvini@epap.sicurezzaepapale.it (dal 1.07.22 damianoscalvini@pec.epap.it)

nuova classificazione. La Regione Lombardia, con **D.G.R. 7/14964 del 7/11/03**, forniva allora solo alcune disposizioni preliminari per l'attuazione dell'ordinanza, confermando la classificazione dei territori comunali lombardi riportata nell'OPCM 3274/2003 e l'adeguamento alle norme tecniche allegate.

Con il **D.M. 14/01/08**, entrato in vigore con la L.77/2009 di conversione del DL 39/2009 (Decreto "Abruzzo"), è divenuto vigente l'obbligo di eseguire la progettazione in prospettiva sismica in tutte le aree classificate in zona sismica. In particolare, con l'**Allegato A** del citato D.M. sono state adottate definitivamente le stime di pericolosità sismica del progetto S1 già comprese nella sopracitata Ordinanza 3519/2006, concludendo il percorso iniziato nel 2003. Tali stime superano il concetto di classificazione a scala comunale e sulla base di 4 zone sismiche. Tuttavia le 4 zone sismiche mantenevano una funzione prevalentemente amministrativa così come chiarito dalle DGR Lombardia 9/2616/2011 e 8/7374/2008.

Accedendo al link <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>, si possono quindi ottenere dati di pericolosità sismica e di a_g per diverse frequenze annuali di superamento, relativamente ai 10751 punti di una griglia in cui è stato diviso il territorio nazionale, (vedi anche **All. A e Tab. A del D.M. 14/01/08**). Per qualsiasi punto del territorio Italiano è quindi possibile calcolare i parametri di azione sismica grazie a formule di interpolazione definite nel suddetto allegato e nella **Circolare esplicativa 617/09**.

Con l'entrata in vigore del nuovo **D.M. 17/01/2018** vengono apportate alcune modifiche al D.M. 14/01/08, che però non modificano l'approccio alla classificazione sopra descritto. Tutti gli edifici compresi in aree nelle quali, nei confronti degli SLV, $a_g S > 0,075g$ devono essere progettati mettendo in conto l'azione sismica di progetto; gli edifici che restano esclusi da tale limite possono utilizzare prescrizioni definite al cap. 7.0 del D.M. 17/01/2018. Con la soppressione del cap. 2.7 del DM 14/01/08 viene peraltro esclusa la possibilità di usufruire, in particolari casi, dell'uso delle verifiche alle Tensioni ammissibili.

Nella Regione Lombardia, in ottemperanza alla D.G.R. 7/14964 del 7/11/03, in zona sismica 4 la progettazione in prospettiva sismica è considerata obbligatoria per gli edifici e le opere di interesse strategico e/o rilevante, come definite dal D.d.u.o. 19904 del 21/11/03.

L'O.P.C.M. 3274/2003 includeva **il territorio comunale di Pieve San Giacomo, precedentemente non classificato come area sismica, in zona sismica 4.**

La redazione della "Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale" (espressa come accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni) allegata all'O.P.C.M. n. 3519/2006 indica però che il comune di **Pieve San Giacomo** risulta interessato da una fascia con accelerazione sismica **a_g compresa tra 0.0750g e 0.100g** (con probabilità di superamento del 10% in 50 anni) riferibile quindi a una **Zona sismica 3.**

La nuova classificazione sismica del territorio regionale, emanata con DGR X/2129, ed entrata in vigore il 10/4/2016, recependo la Mappa dell'O.P.C.M. n. 3519/2006 classifica definitivamente il **Comune di Pieve San Giacomo in Zona Sismica 3.**

4. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL SITO

(par. 6.2.2. del DM 17/01/18)

Vengono di seguito esposte le metodologie ed i risultati della campagna d'indagine eseguite dal sottoscritto il 23 e 30 novembre 2016 per il “**Progetto di ristrutturazione della Scuola dell’Infanzia in Via Pertini**”:

L'esame delle indagini è finalizzata alla definizione dei seguenti punti:

- ricostruzione stratigrafica e sismostratigrafica dei terreni presenti;
- caratterizzazione geotecnica e geofisica dei terreni di fondazione;
- verifica della presenza di eventuali falde acquifere superficiali ed eventuale misura della soggiacenza.

Per le finalità sopraindicate sono stati inoltre raccolti dati geognostici e geofisici, derivanti da indagini eseguite dalla scrivente in siti prossimi a quello d'interesse e/o ubicati in contesti omologhi, per ubicazione vd. “Corografia con ubicazione di precedenti indagini” (in allegato).

Tutte le indagini raccolte sono state eseguite secondo le Prescrizioni e gli oneri contenuti nelle Raccomandazioni A.G.I. (1977) ed alla presenza costante del geologo.

La campagna d'indagine eseguita può essere considerata idonea ad ottemperare a quanto richiesto dal contesto geologico come descritto nei precedenti capitoli di inquadramento (Cap. 2), con riferimento alla caratterizzazione geotecnica-geofisica-idrogeologica del sito di progetto ed in ogni caso in relazione a quanto richiesto dalle norme di Classe di Fattibilità 2 cui si correlano modeste limitazioni d'uso correlate a terreni da buone a mediocri caratteristiche geotecniche.

E' stata inoltre prevista l'acquisizione di dati geofisici in funzione degli scenari PSL Z4a e dell'applicazione delle normative vigenti (D.M. 17/01/2018).

4.1. Campagna d'indagine geognostica 2016

4.1.1. Prove penetrometriche CPT

Presso l'area in esame sono state eseguite **n. 3 prove penetrometriche statiche (C.P.T.)** con penetrometro statico “PAGANI TG 63/200” tipo “GOUDA” da 20 ton, dotato di punta meccanica tipo Begemann con lettura e memorizzazione digitale dei valori misurati.

*Nella **prova penetrometrica statica (CPT)** viene infissa nel terreno una punta conica, avente un angolo di apertura pari a 60°, un diametro di 35,7 mm e una superficie di 10 cm², mediante un'attrezzatura di spinta ed una batteria di aste ad una velocità costante di 2 cm/s \pm 0,5 cm/s.*

*Al di sopra della punta si ha il manicotto, con un diametro pari a 35,7 mm, una lunghezza di 133 mm ed una superficie di 150 cm², sul quale viene misurata la resistenza di attrito laterale (f). La punta utilizzata è la punta meccanica di tipo **Begemann**.*

*La prova penetrometrica statica **CPT** (Cone Penetration Test), può essere eseguita in una vasta gamma di terreni che vanno dalle sabbie dense alle argille tenere ed è tra le più significative per valutare la successione stratigrafica di un terreno, identificando la natura degli strati attraversati e fornendo una stima di alcuni parametri geotecnici.*

STUDIO GEOLOGICO SCALVINI

Via San Giuseppe 8 – 25017 – LONATO DEL GARDA (BS) Cell. 333.8506030 - Tel 030.618.2811

E mail: damiano@studiotecnicoscalvini.com

PEC: damianoscalvini@epap.sicurezzaepapale.it (dal 1.07.22 damianoscalvini@pec.epap.it)

Durante l'avanzamento in continuo della punta a velocità costante ($v = 2 \text{ cm/s}$) vengono rilevati ad intervalli regolari di 0,20 m i seguenti parametri:

FASE 1. La **punta conica** viene fatta avanzare nel terreno per **4 cm** mediante la spinta che viene esercitata su una batteria di aste di piccolo diametro, le quali scorrono liberamente all'interno di una batteria di tubi di rivestimento. In questa circostanza viene misurata la resistenza alla punta (q_c).

$$(\text{Resistenza alla Punta } q_c \text{ (kg/cm}^2\text{)} = L_{\text{punta}} / 10)$$

FASE 2. Successivamente all'infissione della sola punta conica, questa viene fatta avanzare sempre mediante la batteria di aste interne di altri **4 cm** insieme al **manicotto laterale**. In questa occasione viene misurata la resistenza totale data dalla somma della resistenza alla punta e di quella laterale del manicotto.

$$(\text{Resistenza Laterale Locale} = f_s \text{ (kg/cm}^2\text{)} = (L_{\text{laterale}} - L_{\text{punta}}) / 150);$$

FASE 3. In questa fase, agendo sui tubi esterni, si ha la ricomposizione dello strumento (**8 cm**) e si procede all'avanzamento di tutto l'insieme, punta conica - manicotto laterale - rivestimento, per altri **12 cm**.

$$(\text{Resistenza Totale} = R_t \text{ (kg)} = L_{\text{totale}})$$

In sostanza si ottiene, ogni 20 cm di verticale di indagine una informazione relativa alla resistenza alla punta (q_c) ed una relativa alla resistenza laterale (f_s). Quest'ultima viene ottenuta sottraendo alla resistenza totale misurata nella FASE 2 la resistenza alla punta misurata nella FASE 1.

$$R_{\text{laterale}} = R_{\text{totale}} - R_{\text{punta}}$$

La buona diffusione di questo tipo di prova e la standardizzazione delle modalità operative consentono di ottenere una significativa caratterizzazione dei terreni interessati, nonché un'attendibile identificazione geotecnica dei parametri caratteristici e di conseguenza l'utilizzo delle formule geotecniche principali.

Le valutazioni litologiche vengono eseguite in base al rapporto q_c/f_s (Begemann 1965 – raccomandazioni AGI 1977) ed al diagramma di Searle.

Le prove CPT1 e CPT2 sono state spinte alla profondità di 13,00 m mentre la prova CPT3 è stata spinta alla profondità di 11,00 m

I dati sperimentali, con riferimento a partire dal piano campagna (p.c.) indicano la seguente stratigrafia:

0,00 – 0,60 m	Terreno vegetale ($R_p=7-13$)
0,60 – 1,60 m	Terreno di riporto o terreno rimaneggiato di addensamento/consistenza variabile ($R_p=43-153$), presente solo nelle prove CPT1 e CPT2
1,60 – 7,60/9,40 m	Alternanze di limi argillosi e limi sabbiosi e sabbie limose, con R_p compreso tra 5-18 e 37-55
7,60/9,40-13,00/15,00 m	Sabbie medio fini con $R_p > 50$ e fino a 113-117, con intercalati livelli decimetrici con $R_p=12-30$

L'andamento delle prove, riassunto nei diagrammi allegati, è riferito al p.c.

Nelle prove d'indagine è stata individuata la **presenza della falda freatica** a profondità comprese tra **3,25 e 3,48 m dal p.c.**

4.1.2. Sondaggio geognostico

E' stata predisposta l'esecuzione di un sondaggio geognostico della profondità di 15 m, ubicato sul lato nord dell'edificio, al fine di indagare direttamente la stratigrafia del terreno in sito per correlarla alle indagini CPT e all'indagine sismica MASW.

La stratigrafia complessiva viene così schematizzata:

0,00-1,20 m	Materiale di riporto/rimaneggiato, costituito dapprima dal terreno vegetale superficiale e quindi da alternanze di sabbie limose e limi sabbiosi bruno marroni con frammenti di laterizio e macerie di piccola pezzatura;
1,20 – 8,00 m	Alternanze di limi sabbiosi, limi, limi argillosi argille limose di colore da beige a grigio, di consistenza da scarsa a media, da umida a bagnata.
8,00 -15,00 m	Sabbia da fine a media, mediamente addensata, di colore grigio scuro.

Entro il foro di indagine sono state eseguite n. 4 prove penetrometriche SPT che hanno dato i seguenti risultati:

1,50-1,95 m	N _{SPT} = 3 – 5 – 4
4,50-4,95 m	N _{SPT} = 7 – 7 – 7
7,50-7,95 m	N _{SPT} = 6 – 3 – 7
10,50-10,95 m	N _{SPT} = 10 – 12 – 10

E' stato inoltre installato fino a fondo foro un tubo piezometrico entro il quale è stata misurata la falda freatica, alla profondità di **-4,00 m dal p.c..**

Si riporta la stratigrafia in allegato

4.1.3. Altri dati geognostici

Entro lo Studio Geologico Comunale vigente è stata reperita la stratigrafia del pozzo comunale (vedi allegato).

Il pozzo è stato approfondito fino a 140 m.

La stratigrafia può essere così riassunta e schematizzata:

0,00 – 5,00 m	argille sabbiose
5,00 – 22,00 m	sabbie
22,00 – 55,00 m	argille sabbiose
55,00 – 82,00 m	sabbie medio fini
82,00 – 140,00 m	alternanze di argille e sabbie da fini a medie

Lo schema stratigrafico illustrato, al netto di variabilità locali risulta abbastanza omogeneo nell'area e si riconosce quindi una buona continuità laterale, soprattutto verso nord, dei livelli impermeabili prevalentemente argillosi e argilloso limosi, che separano quindi l'acquifero freatico superficiale dagli acquiferi confinati sottostanti.

STUDIO GEOLOGICO SCALVINI

Via San Giuseppe 8 – 25017 – LONATO DEL GARDA (BS) Cell. 333.8506030 - Tel 030.618.2811

E mail: damiano@studiotecnicoscalvini.com

PEC: damianoscalvini@epap.sicurezzapostale.it (dal 1.07.22 damianoscalvini@pec.epap.it)

4.1.4. Dati sismostratigrafici

4.1.4.1. Indagine sismica MASW

Al fine di verificare il comportamento sismico dei terreni di fondazione è stata condotta una specifica indagine per determinare la velocità di propagazione delle onde sismiche nel sottosuolo. In particolare è stato eseguito n. 1 stendimento di sismica multicanale con acquisizione delle onde superficiali, anche a bassa frequenza, ed analisi dei dati mediante metodologia MASW, finalizzato alla definizione della velocità di propagazione delle onde S nei primi 30 m di profondità dal p.c. (V_{s30}), come richiesto dalla normativa vigente.

Le specifiche tecniche d'indagine e l'elaborazione della linea MASW sono riportate in allegato.

Si riassumono di seguito i risultati ottenuti.

DENOMINAZIONE	SPESSORE	PROFONDITA BASE	V_s (M/SEC)	V_s (M/SEC)
Unità sismostratigrafica 1	$1,3 \pm 0$	1,3	140 ± 0	140
Unità sismostratigrafica 2	$1,8 \pm 0$	3,1	151 ± 0	151
Unità sismostratigrafica 3	$3,9 \pm 0,2$	6,8 - 7,2	206 ± 0	206
Unità sismostratigrafica 4	$2,9 \pm 0,3$	9,6 - 10,2	190 ± 4	186 - 194
Unità sismostratigrafica 5	$10,2 \pm 0,3$	19,8 - 20,4	211 ± 3	208 - 214
Unità sismostratigrafica 6	9,9	30,0	243 ± 1	242 - 244

Per tale successione sismostratigrafica è stato possibile stimare un valore di V_{s30} pari a **207 m/s**. Il valore di V_{s30} è quindi relativo ad una **Categoria di Sottosuolo C**.

4.1.4.2. Indagini di sismica HSVR

Nella campagna di indagine in oggetto sono state realizzate n° 2 registrazioni (HSVR IN e HSVR OUT) della lunghezza di 1200 secondi ciascuna, ubicate una all'interno e una all'esterno dell'edificio così come indicate nella planimetria allegata.

Per la registrazione nel punto esterno il geofono 3D è stato posizionato a quota del piano campagna su terreno vegetale (HSVR OUT).

L'analisi dei rapporti spettrali, ha consentito di valutare l'amplificazione naturale di sito:

posizione	Periodo principale (sec)	frequenza picco principale (Hz)	rapporto spettrale H/V picco principale	frequenza picco secondaria (Hz)	rapporto spettrale H/V picco second.
HVSR1	0,016	61,15	2	1,45	0,9
HVSR2	0,023	43,15	0,66	19,30	0,64

L'acquisizione HSVR OUT è caratterizzata da una curva H/V con un picco a frequenza molto alta (> 60 Hz), avente rapporto H/V di circa 2 e picchi secondari di ampiezza inferiore a 1; il picco principale è associabile a profondità assai ridotte rispetto il piano campagna (circa 1 m).

L'acquisizione HSVR IN presenta 2 picchi, parzialmente coalescenti, aventi un rapporto H/V basso, ma senza evidenziare il picco ad alte frequenze delle misure esterne.

Il confronto tra la frequenza della misura HSVR sul terreno e quella nell'edificio, tenendo anche conto della presenza di picchi a basso rapporto H/V in entrambe le

misure, evidenzia una parziale sovrapposizione tra la curva del picco principale della misura sul terreno e la curva del picco a 43,15 Hz, misurato nella struttura. Sebbene la seconda sia di ampiezza molto bassa e solo parzialmente sovrapponibile al picco di sito, non si esclude la possibilità che si presentino effetti di risonanza tra il terreno e la struttura stessa. In tale contesto si ritiene quindi che l'edificio possa risentire, in modo più o meno significativo, degli effetti di amplificazione litologica indotti dai sismi attesi nel sito di studio.

STUDIO GEOLOGICO SCALVINI

Via San Giuseppe 8 – 25017 – LONATO DEL GARDA (BS) Cell. 333.8506030 - Tel 030.618.2811

E mail: damiano@studiotecnico-scalvini.com

PEC: damianoscalvini@epap.sicurezzapostale.it (dal 1.07.22 damianoscalvini@pec.epap.it)

5. MODELLO GEOTECNICO E GEOFISICA DEL SITO

(par. 6.2.2. del DM 17/01/18)

In base all'interpretazione dei dati geognostici e litostratigrafici raccolti e dell'indagine sismica eseguita viene schematizzata, nella seguente tabella, la successione stratigrafica dei terreni presenti nell'area d'indagine ed il Modello Geotecnico del Sito, partendo dall'alto verso il basso e prendendo come quota di riferimento il p.c. di inizio prova.

Per quanto concerne la stima dei parametri geotecnici principali sono state utilizzate formule di letteratura applicate in funzione della natura litologica di ciascuna unità, della loro profondità e delle condizioni di saturazione (vedi modellazione schematica sottoriportata).

Si evidenzia inoltre che la modellazione stratigrafica-litologica e la definizione dei parametri geotecnici mediante dati derivanti dalle prove penetrometriche CPT, presenta sempre un certo grado di variabilità ed incertezza ritenuto tuttavia compatibile con la conoscenza dei luoghi della scrivente, l'assetto geologico dei luoghi e la tipologia di intervento.

Il modello geofisico è stato ipotizzato correlando i dati geotecnici con quelli sismici ottenuti in loco.

In base all'interpretazione dell'indagine e dei dati raccolti viene pertanto schematizzata la successione stratigrafica dei terreni presenti nell'area d'indagine, partendo dall'alto verso il basso e prendendo come quota di riferimento il p.c. di inizio prova:

• **Da 0,00 m a -1,20/-1,60 m:**

Terreno di riporto, prevalentemente sabbioso limoso, con abbondanti frammenti di laterizio e macerie di demolizione, non idoneo alla posa di fondazioni;

• **Unità 1 – da -1,20/-1,60 m a -7,60/-9,40 m da piano campagna:**

Depositi alluvionali: alternanze di **limi sabbiosi, limi, limi argillosi argille limose** di colore da beige a grigio, di consistenza da scarsa a media, da umida a bagnata.

• **Unità 2 – Oltre -7,60/-9,40 m da piano campagna:**

Depositi alluvionali: Sabbia da fine a media, mediamente addensata.

Per il sito in esame può quindi essere assunto il seguente modello geotecnico:

Profondità da INIZIO PROVA	Descrizione litologica	Φ (Meyerhof) (°)	γ (γ') kN/m ³	c_u kPa	Densità Consistenza	V_s
Da 0,00 a -1,20/-1,60 m	Terreno di riporto	--	--	--	--	140 150
UNITA' 1 Da -1,20/-1,60 m a -7,60/-9,40 m	alternanze di limi sabbiosi, limi, limi argillosi argille limose	27°-31° Valore medio 28.8°	19 (9)	60 80	Da scarsamente a mediamente consistente	186 206
UNITA' 2 Oltre -7,60/-9,40 m fino a -20,00/-22,00 m	Sabbia da fine a media, mediamente addensata	31°-34° Valore medio 31,4°	21-23 (11)	--	Mediamente addensata	208 214
UNITA' 3 Fino a -40,00 m	Argille sabbiose	--	--	--		242 244
Fino a -52,00 m		--	--	--		300
UNITA' 4 Fino a -82,00 m	Sabbie medio fini	--	--	--		600

Nelle prove d'indagine è stata individuata la **presenza della falda freatica tra 3,50 e 4,00 m dal p.c..**

La successione di V_s indicata consente di calcolare per l'area d'indagine un valore di **V_{s30} pari a 207 m/s**, riferibile quindi ad una **Categoria di sottosuolo C**.

Questa categoria andrà verificata con la successiva analisi di Risposta Sismica Locale.

STUDIO GEOLOGICO SCALVINI

Via San Giuseppe 8 – 25017 – LONATO DEL GARDA (BS) Cell. 333.8506030 - Tel 030.618.2811

E mail: damiano@studiotecnico-scalvini.com

PEC: damianoscalvini@epap.sicurezzapostale.it (dal 1.07.22 damianoscalvini@pec.epap.it)

6. RISPOSTA SISMICA LOCALE - Metodo semplificato e Analisi di 1° e 2° livello

(D.M. 17/01/18 - D.G.R. 9/2616/2011)

Per la valutazione dell'Azione Sismica il **D.M. 17/01/2018** richiede l'utilizzo dei metodi, delle formule e delle tabelle in esso riportate, nonché l'applicazione di quanto previsto ai paragrafi 3.2.3.2, 3.2.3.3, 3.2.3.4 e 3.2.3.5. Non sono state condotte specifiche analisi di Risposta Sismica Locale; sono stati quindi utilizzati i metodi semplificati previsti dal D.M. 17/01/18.

L'indagine geognostica e lo studio geologico hanno quindi permesso di definire un modello geotecnico-stratigrafico e di analizzare le caratteristiche geomorfologiche del sito al fine di definire la **Categoria di Sottosuolo** e la **Categoria Topografica**, che potranno essere utilizzate per la stima dell'Azione Sismica e più in generale per la progettazione delle opere.

Mediante il programma Excel "Spettri-NTC (ver. 1.0.3)" è possibile definire gli Spettri di Risposta Elastici ed i Parametri di Pericolosità Sismica normativi definiti per il sito di progetto sulla base dei risultati del progetto S1 – INGV (**Fase 1** del programma).

Lo sviluppo delle Fasi 2 e 3 del programma, per la definizione degli Spettri di Risposta Elastici di progetto, relativi ai vari Stati Limite, necessita la conoscenza e/o la scelta di parametri progettuali di competenza dei Tecnici Progettisti delle opere. Nei paragrafi successivi si forniscono quindi, per quanto di pertinenza del Geologo, i dati inerenti la Risposta Sismica Locale.

La consultazione dello Studio Geologico Comunale consente quindi di individuare lo Scenario di Pericolosità Sismica Locale assegnato per l'area in esame ed il relativo Fattore di Amplificazione sismica Calcolato (FAC). Il confronto tra questo parametro ed il Fattore di Amplificazione sismica di Soglia comunale (FAS), riferito alla Categoria di sottosuolo del sito, consente di definire se $FAC > FAS$ o se $FAC \leq FAS$.

Nel primo caso la normativa richiede l'impiego di una Categoria di Sottosuolo superiore a quella individuata nel sito o una analisi di risposta sismica locale di 3° livello.

L'area di progetto non è stata classificata, nello Studio della Componente Geologica del PGT vigente entro alcun scenario di pericolosità sismica Z2a o Z2b quali ambiti soggetti a cedimenti e liquefazione e riferiti rispettivamente a "Zona con terreni di fondazione particolarmente scadenti" e "Zone con depositi granulari fini"; pertanto non è richiesto un Approfondimento sismico di 3° livello, secondo le procedure indicate nel § 2.3.2 dell'All.5 della D.G.R. 9/2616/2011.

E' stata in ogni caso presa in esame la stabilità del sito nei confronti della liquefazione, come richiesto al paragrafo 7.11.3.4 del D.M. 17/01/18 e sono stati predisposti gli eventuali Approfondimenti Sismici richiesti dalla normativa comunale e regionale vigente e/o ritenuti opportuni.

6.1. Scenario di Pericolosità Sismica Locale, Categoria di Sottosuolo e Categoria Topografica

6.1.1. Categoria di Sottosuolo – Effetti di Amplificazione Litologica - Analisi di 1° Livello e Approfondimento Sismico Analisi di 2° Livello

Sulla base della successione sismostratigrafica individuata nel modello geotecnico, è possibile stimare i valori di $V_{s_{eq}}$, e la conseguente **categoria di sottosuolo** secondo la tabella 3.2.II del D.M. 17/01/18, (riportata in allegato a questa relazione).

Per l'area d'indagine è stato calcolato un valore di **Vs30 pari a 207 m/s**, riferibile quindi ad una **Categoria di sottosuolo C**.

Le Norme di PGT non richiedono alcun approfondimento sismico specifico inerente l'amplificazione litologica.

Lo studio geologico del territorio comunale di Pieve San Giacomo, redatto ai sensi della DGR 8/7374/2008, individua per l'area d'indagine uno scenario di pericolosità sismica locale **Z4a: Zone di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi**,

La successiva applicazione delle procedure di **Analisi di 2° Livello** per effetti litologici previste dalla DGR 8/7374/2008 (e dalla successiva DGR 9/2616/2011), hanno definito per il sito in esame un Fa di sito (FAC) < dell'Fa di soglia comunale (FAS).

La procedura di 2° Livello consente di definire, in relazione al periodo T dell'edificio di progetto, se i parametri sismici definiti dal DM 17/01/18 siano o meno cautelativi rispetto ai fenomeni di amplificazione sismica di sito. In particolare:

- Se FAC < FAS, la Categoria di sottosuolo è confermata e potranno essere utilizzati i relativi parametri sismici del DM 17/01/18;
- se FAC > FAS, la Categoria di sottosuolo non è confermata e dovranno essere utilizzati i parametri sismici della Categoria di Sottosuolo inferiore del DM 17/01/18.

Si è proceduto comunque, per l'area d'indagine, alla verifica dell'analisi sismica di 2° livello secondo le procedure dell'all. 5 della più recente D.G.R. 9/2616/2011.

In accordo con la procedura, la successione stratigrafica di riferimento, lo spessore e la velocità di ciascuno strato, come definiti nel modello geofisico, sono stati riportati nelle "Schede di Stima degli Effetti Litologici", (vedi scheda in allegato). E' stata scelta la scheda di litologia "Sabbiosa".

Si è ipotizzato inoltre il bedrock sismico (>800 m/s) a circa 80 m di profondità, in corrispondenza del primo strato argilloso di spessore considerevole, riconoscibile nel pozzo comunale di Pieve San Giacomo e in altri pozzi di comuni vicini e quindi dotato di buona continuità laterale.

Si è quindi proceduto alla stima del fattore di amplificazione di sito (Fa di sito) ed al confronto con i valori Fa di soglia comunale, definiti dalla D.G.R. 9/2616/2011 (che sostituisce la precedente D.G.R. 8/7374/2008) riferiti alla categoria di sottosuolo C del sito di riferimento:

I risultati sono di seguito riportati:

STUDIO GEOLOGICO SCALVINI

Via San Giuseppe 8 – 25017 – LONATO DEL GARDA (BS) Cell. 333.8506030 - Tel 030.618.2811

E mail: damiano@studiotecnicoscalvini.com

PEC: damianoscalvini@epap.sicurezzaepap.it (dal 1.07.22 damianoscalvini@pec.epap.it)

Periodo edificio T	Scheda litologica	Cat. Sott. DM 17/01/18	FAC	FAS Cat C		Cat. Sott. DGR 9/2616/11
0,1-0,5 s	Sabbiosa	C	1,1	1,8	FAC<FAS	C
0,5-1,5 s		C	2,0	2,3	FAC<FAS	C

La procedura indica che i parametri sismici della normativa più recente (DM 17/01/18) sono quindi sufficientemente cautelativi rispetto ai fenomeni di amplificazione sismica di sito in terreni di Categoria B e per edifici ricadenti nelle due classi di periodo T considerato

Pertanto, in funzione del periodo T dell'edificio in progetto si dovrà fare riferimento alla Categoria di Sottosuolo definita con le procedure dell'All. 5 della DGR 9/2616/2011, riportata nella precedente tabella, ed assumere quindi, nei calcoli progettuali, i parametri sismici definiti dalla normativa.

Per l'edificio di progetto, in particolare, con periodo compreso tra 0,1s e 0,5s, dovrà essere utilizzata una

Categoria di Sottosuolo C

Si rimanda comunque al successivo Cap. 7 per l'Analisi di Risposta Sismica di 3° Livello e la verifica di quanto qui preliminarmente previsto.

6.1.2. Categoria Topografica

Per quanto riguarda la categoria topografica, facendo riferimento alla tabella 3.2.III del DM 17/01/18 (in allegato), per il sito in esame, inserito in un contesto debolmente acclive (inclinazione media del penio <15°), si potrà tener conto di:

Categoria topografica: T1.

Le Norme di PGT non richiedono alcun approfondimento sismico specifico inerente l'amplificazione topografica.

6.2. Pericolosità Sismica del Sito - Parametri sismici di riferimento per la definizione dell'Azione Sismica (Metodo semplificato)

Per l'area d'indagine, possono essere stimati, per varie frequenze annuali di superamento, i valori dei parametri sismici normativi (a_g , F_0 e T_c^*) relativi alla Pericolosità Sismica mediante il programma Spettri-NTC ver.1.0.3, utilizzando le coordinate geografiche.

Nel caso specifico si assegna all'edificio in esame la **Classe d'uso III** – (paragrafo 2.4.2 NTC 2018) ed una vita nominale $V_N = 50$ anni.

Si propongono, quindi, i seguenti parametri progettuali ed i relativi periodi di riferimento da utilizzare per i diversi Stati Limite:

Classe d'uso dell'edificio		IV				Par 2.4.2.
Vita Nominale della costruzione (in anni)	V_N	50				Tab. 2.4.I.
Coefficiente d'uso della costruzione	C_U	2,0				Tab. 2.4.II.
Probabilità di superamento	P_{VR}	SLO 81 %	SLD 63 %	SLV 10 %	SLC 5 %	Tab. 3.2.I.
Periodo di riferimento per la definizione sismica (in anni)	T_R	60	101	949	1950	Tab.C.3.2.1. Circ 617/09

I valori dei parametri sismici normativi (a_g , F_0 e T_c^*) relativi alla pericolosità sismica stimati secondo la strategia di progettazione ordinaria sono di seguito elencati:

P_{VR}	T_R	a_g (*)	F_0 (*)	T_c^* (*)
SLO – 81%	60	0,042	2,565	0,251
SLD – 63%	101	0,050	2,569	0,268
SLV – 10%	949	0,097	2,669	0,325
SLC – 5%	1950	0,121	2,676	0,334

Si allegano gli spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL, nonché i diagrammi con la variabilità dei valori dei parametri a_g , F_0 e T_c^* in funzione del periodo di ritorno T_R associati a ciascun SL.

Si rimanda al Tecnico Progettista delle Strutture, o ad un'eventuale valutazione congiunta, la scelta di parametri diversi da quelli fin qui proposti nonché la determinazione dell'Azione di Progetto e quindi dello Spettro di Progetto Elastico (SLE) o Inelastico (SLU), proposti nella Fase 3 del citato programma.

In mancanza di tali determinazioni, per le componenti orizzontali del moto e per la categoria di sottosuolo di fondazione definita al capitolo precedente, si adotta una **procedura semplificata** nella quale la forma spettrale su sottosuolo di categoria A è modificata attraverso il coefficiente stratigrafico S_s , il coefficiente topografico S_T e il coefficiente C_c che modifica il valore del periodo T_c .

Il coefficiente di **amplificazione stratigrafica S_s ed il coefficiente C_c** , vengono calcolati in base alla tab. 3.2.IV del DM 17/01/18 (riportata in allegato), relativamente al punto di indagine.

Per le verifiche allo **Stato Limite di Danno (SLD)** ed allo **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)** delle strutture in progetto si possono utilizzare i seguenti coefficienti:

		Cat. sottosuolo	S_s	C_c
Stati Limite di Esercizio S.L.E.	SLO – 81%	C	1,500	1,658
Stati Limite di Esercizio S.L.E.	SLD – 63%	C	1,500	1,622
Stati Limite Ultimi S.L.U.	SLV – 10%	C	1,500	1,521
Stati Limite Ultimi S.L.U.	SLC- 5%	C	1,500	1,508

STUDIO GEOLOGICO SCALVINI

Via San Giuseppe 8 – 25017 – LONATO DEL GARDA (BS) Cell. 333.8506030 - Tel 030.618.2811

E mail: damiano@studiotecnicoescalvini.com

PEC: damianoscalvini@epap.sicurezzaepap.it (dal 1.07.22 damianoscalvini@pec.epap.it)

Per la quantificazione dell'**amplificazione topografica S_t** si fa riferimento alla tabella 3.2.V del D.M. 17/01/18 (riportata in allegato). Per l'intervento di progetto si deve quindi tenere conto di una **categoria topografica T1**, che comporta un valore pari a:

$$S_T = 1,000$$

Nella “Scheda di pericolosità sismica del sito d'intervento”, allegata, vengono riassunti i parametri fin qui valutati in base al “metodo semplificato”.

Si rimanda comunque al successivo Cap. 7 per l'Analisi di Risposta Sismica di 3° Livello e la verifica di quanto qui previsto.

7. RISPOSTA SISMICA LOCALE – Metodo Numerico 1D

Nelle NTC 2018 sono fortemente raccomandate specifiche analisi di risposta sismica locale RSL per categorie speciali di sottosuolo (Tabella 3.2.III delle NTC), per determinati sistemi geotecnici, o se si intende aumentare il grado di accuratezza nella previsione del moto sismico in un dato sito.

Nella D.G.R. 9/2616/2011 sono richieste, in fase di progettazione, analisi di risposta sismica locale con specifiche metodologie (Livello 3 di approfondimento previsto dall'All.5 alla D.G.R. 9/2616/2011 par. 2.3.3) per scenari di amplificazione sismica correlati alla litologia (PSL Z4) tutte le volte che l'applicazione del 2° livello di approfondimento regionale (All. 5 alla D.G.R. 9/2616/2011) mostri Fa di sito > Fa soglia, come individuato per il comune di riferimento dalla Regione Lombardia.

Nel caso specifico si è tenuto conto:

- della categoria dell'edificio di progetto (Edifici Scolastici con funzione pubblica);
- dei risultati derivanti dalle indagini geognostiche in sito (Cap. 4) e del relativo Modello Geologico-Geotecnico e Geofisico (Cap.5) con presenza di terreni superficiali a caratteristiche geotecniche scadenti;
- dei risultati delle analisi di Risposta Sismica di Sito eseguite con i metodi semplificati e secondo i livelli 1° e 2° di approfondimento regionale (All. 5 della D.G.R. 9/2616/2011 (Cap. 6) che hanno evidenziato F_a di sito $< F_a$ di soglia per edifici con periodo compreso tra 0,1 e 0,5 sec.

E' stata pertanto rilevata la **necessità di procedere ad una specifica valutazione della Risposta Sismica Locale** in applicazione di quanto previsto dalle NTC (C7.11.2.1 e C7.11.3.1.2 delle NTC 2018) e dalla D.G.R. 9/2616/2011 per la valutazione dell'Azione Sismica di progetto mediante analisi in condizioni bi-dimensionali.

Nelle analisi condotte in condizioni mono-dimensionali è possibile tenere conto della sola amplificazione stratigrafica (superficiale e/o profonda) del sito; ciò risulta coerente con l'assenza di criticità relative all'amplificazione topografica.

7.1. Generalità

In passato si è potuto osservare, a seguito di terremoti distruttivi, una distribuzione anomala del danneggiamento delle costruzioni, con forti differenziazioni fra zone contigue anche di modeste dimensioni.

Oltre alle intrinseche differenze della vulnerabilità sismica delle costruzioni ed alle differenti caratteristiche dinamiche delle stesse, tali cause possono essere attribuite principalmente alle modificazioni delle caratteristiche del moto sismico indotte da condizioni geologiche e geomorfologiche locali.

Il moto sismico in un determinato sito, infatti, è influenzato da tre parametri importanti:

- Il meccanismo di sorgente;
- La propagazione;
- La risposta sismica locale;

I primi due fattori dipendono fortemente dalle caratteristiche dell'evento sismico; questi variano in funzione delle caratteristiche della sorgente (magnitudo e tipo di rottura della faglia) e dalla distanza tra il sito in esame e la sorgente.

La risposta sismica locale è il risultato di interazioni tra le onde sismiche e le condizioni locali, cioè l'insieme delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche di depositi di terreno ed ammassi rocciosi e delle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono.

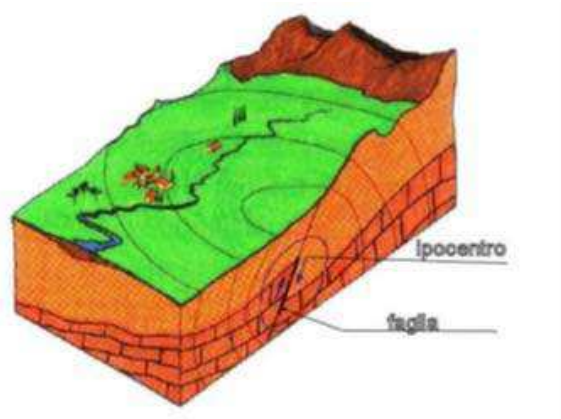


Figura 1. Schema della rottura del terreno e generazione e propagazione delle onde sismiche.

In altre parole le caratteristiche del sito sono le responsabili delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenze, che un moto sismico relativo ad una formazione rocciosa di base (terremoto di riferimento), subisce attraversando gli strati dal *bedrock* fino alla superficie (Lanzo G. et al., 1999).

Nella Figura 1 è rappresentato uno schema della rottura fragile del terreno in profondità con conseguente generazione di onde che si irradiano dall'ipocentro.

Se si ipotizza di avere installato un sismometro ad una grande distanza dall'ipocentro un possibile segnale registrato potrebbe essere quello mostrato nella Figura 2. Il segnale inizia con l'arrivo delle onde P caratterizzate da alte frequenze a bassa ampiezza. Successivamente arrivano le onde S che si propagano meno velocemente delle P e sono di frequenza più bassa e di maggiore ampiezza. Queste ultime sono in genere la causa dei maggiori danni. Le onde P e quelle S sono chiamate onde di volume per distinguerle da quelle di superficie che sono più lente.



Figura 2. Tipico sismogramma registrato in superficie a grande distanza.

In generale si può dire che le onde generate dalla sorgente sismica sono di due differenti tipi, cioè quelle associate a stati deformativi di compressione-dilatazione volumetrica, dette onde P che si propagano con velocità V_p pari a:

STUDIO GEOLOGICO SCALVINI

Via San Giuseppe 8 – 25017 – LONATO DEL GARDA (BS) Cell. 333.8506030 - Tel 030.618.2811

E mail: damiano@studiotecnicoscalvini.com

PEC: damianoscalvini@epap.sicurezza postale.it (dal 1.07.22 damianoscalvini@pec.epap.it)

$$V_p = \sqrt{\frac{M_v}{\rho}}$$

con:

$$M_v = \lambda + 2 G$$

dove:

- λ : modulo di Lamé del terreno;
- G : modulo elastico di taglio del terreno;
- ρ : densità di volume del terreno.

Per le onde P il moto oscillatorio delle particelle di terreno avviene parallelamente alla direzione di propagazione.

Le onde S sono associate a deformazione di taglio ed hanno una velocità V_s pari a:

$$V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

Il moto delle particelle di terreno è in tal caso perpendicolare alla direzione di propagazione. Il campo di spostamenti, in genere, è scomposto in due componenti perpendicolari tra di loro: le onde SV polarizzate nel piano verticale contenente la sorgente e le onde SH polarizzate nel piano orizzontale (piano della superficie libera del terreno in direzione perpendicolare al precedente).

Per maggiore chiarezza, se si considera il piano π verticale e contenente la direzione di propagazione dell'onda incidente, il moto della particella di terreno perpendicolare a tale piano costituisce l'onda SH, viceversa il moto nel piano costituisce l'onda SV.

Le onde P e S arrivate in superficie possono trasformarsi parzialmente in onde di diverso tipo (P in S oppure S in P) oppure in onde superficiali chiamate così perché viaggiano in superficie attenuandosi rapidamente con la profondità. Queste ultime si differenziano in onde di Rayleigh quando il moto della particella di terreno è in un piano verticale oppure onde di Love quando il moto è in un piano orizzontale.

Con riferimento alla Figura 3, il fenomeno della propagazione delle onde può essere descritto come segue. Nella sua complessità morfologica, litologica e stratigrafica, un territorio può essere rappresentato come un insieme di formazioni superficiali, interessate dai loro fenomeni evolutivi tipici, poggianti su formazioni più profonde, i cui andamenti possono essere stati resi complessi fino alla creazione di affioramenti dai fenomeni tettonici ed orogenetici.

Prevalentemente, le formazioni profonde saranno costituite da rocce ignee o metamorfiche di origine sedimentaria, mentre quelle superficiali saranno di natura sedimentaria più recente, coerenti od incoerenti, e quindi di caratteristiche meccaniche ben differenziate rispetto alle prime.

Le onde sismiche che si sono generate in profondità, e che sono già caratterizzate diversamente a seconda del meccanismo proprio della sorgente, subiscono una serie di modificazioni ulteriori (riflessioni e rifrazioni) nell'attraversare la crosta terrestre e giungere fino alle formazioni di base per il sito. Ad una certa distanza dall'epicentro, e per una porzione di territorio ragionevolmente limitata, il moto sismico apparirà come un fronte d'onda uniforme propagantesi dal basso verso l'alto, con una certa

angolazione rispetto alla verticale, che viene trasmesso dalle formazioni di base a quelle superficiali.

Il moto al suolo tende a non dipendere più solamente dal tipo di rottura della sorgente e a diventare il risultato di due ulteriori meccanismi eventualmente combinati:

- la propagazione delle onde sismiche all'interno delle formazioni di base e dalla conformazione delle frontiere della stessa;
- la risposta dinamica delle formazioni superficiali.

Tutto ciò comporta una non omogeneità del moto vibratorio in superficie che può cambiare da punto a punto anche a breve distanza. Sugli aspetti quantitativi e qualitativi del fenomeno hanno pertanto grande rilevanza diversi fattori quali la natura delle onde sismiche incidenti ed in particolare il meccanismo di sorgente, le diversità fra le caratteristiche meccaniche dei terreni attraversati, ed in particolare tra formazioni di base e superficiali, la conformazione e la giacitura degli strati, la presenza di falde idriche, l'entità dei fenomeni dissipativi ed altri ancora.

Al variare delle condizioni locali, il moto alla superficie risulterà quindi differente per quanto attiene ai suoi caratteri principali e cioè: ampiezza, contenuto in frequenza e durata. Si osserva che tutti e tre questi caratteri sono significativi e concorrono a causare il danneggiamento delle strutture e l'instabilità dei terreni (frane, cedimenti, liquefazioni).

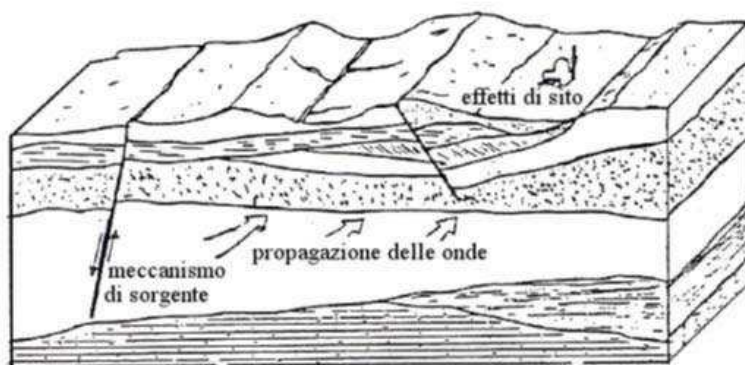


Figura 3. Schema di una situazione reale.

7.2. Risposta Sismica Locale 1D - Analisi di 3° livello ai sensi della D.G.R. 9/2616/2011 (All. 5 - par. 2.3.3)

Come già detto nel paragrafo precedente, il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono.

Alla scala della singola opera o del singolo sistema geotecnico, la **risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.**

I passi principali da seguire nello studio del problema della risposta sismica locale sono:

1. Definizione input sismico;

- 1.1 Stima dell'accelerazione di base;
- 1.2 Dati di disaggregazione;
- 1.3 Estrazione, conversione e normalizzazione accelerogrammi di *input*;

2. Analisi di Risposta Sismica Locale;

- 2.1 Inserimento sismostratigrafia di input (derivata da indagine sismica MASW);
- 2.2 Esecuzione dell'analisi e restituzione grafica.

Le analisi numeriche che consentono di valutare gli effetti del sito nell'amplificazione delle onde sismiche possono essere distinte in:

- Analisi numeriche monodimensionali;
- Analisi numeriche bidimensionali;
- Analisi numeriche tridimensionali.

Il primo approccio (monodimensionale) consente di definire una realistica risposta sismica stratigrafica di terreni non affetti da problematiche bidimensionali. Questo approccio è ritenuto la via ufficiale delle NTC 2018 (Cap. 3.2.2) e consente, in determinati casi e mediante il confronto con la relativa categoria di sottosuolo, elementi di risparmio rispetto all'approccio semplificato di normativa, poiché identifica amplificazione per intervalli di periodi solitamente più limitati rispetto a quelli di normativa.

Il secondo approccio (bidimensionale) è da preferire in quelle situazioni in cui il sottosuolo presenta una geometria variabile in cui, oltre alla profondità, è importante considerare un'altra delle due restanti dimensioni spaziali. Un esempio di situazione che richiede l'utilizzo di modelli bidimensionali è il caso delle aree marginali delle valli alluvionali, in cui alle normali cause di amplificazione del moto sismico si sommano gli effetti di bordo connessi alla geometria del problema.

Il terzo approccio necessita di modelli complessi che richiedono capacità computazionali notevoli; solo recentemente iniziano ad avere una certa diffusione grazie al rapido sviluppo degli strumenti informatici. Il loro utilizzo è principalmente concentrato sulla valutazione delle amplificazioni in presenza di effetti morfologici, data l'importanza assunta in queste analisi dalla conoscenza precisa e dalla gestione di un modello tridimensionale del terreno.

7.2.1. Metodiche di Analisi Numeriche di Risposta Sismica Locale

Le analisi della Risposta Sismica Locale sono effettuate utilizzando procedure di calcolo numerico in cui viene simulata la propagazione delle onde sismiche entro gli strati di terreno compresi tra il sottostante substrato rigido e il piano campagna,

In generale queste analisi richiedono le seguenti operazioni:

- Scelta della schematizzazione del problema
- Definizione del modello geotecnico del sottosuolo
- Definizione delle azioni sismiche al substrato rigido
- Scelta della procedura di analisi

Il **codice di calcolo LSR 2d**, utilizzato per il presente studio, alla stregua di software ben noti dalla comunità scientifica (es. QUAD4 e QUAD4M), consente di effettuare

STUDIO GEOLOGICO SCALVINI

Via San Giuseppe 8 – 25017 – LONATO DEL GARDA (BS) Cell. 333.8506030 - Tel 030.618.2811

E mail: damiano@studiotecnico-scalvini.com

PEC: damianoscalvini@epap.sicurezza-postale.it (dal 1.07.22 damianoscalvini@pec.epap.it)

una modellazione bidimensionale del problema mediante il metodo degli elementi finiti, nel dominio del tempo, in tensioni totali, utilizzando il metodo lineare equivalente e tenendo conto della deformabilità del substrato.

7.2.1.1. Metodo lineare equivalente

Il comportamento meccanico dei terreni sotto l'effetto di carichi ciclici ad elevata frequenza è alquanto complesso e caratterizzato da marcata non linearità, accumulo di deformazioni permanenti, dissipazione di energia e degradazione progressiva delle caratteristiche meccaniche per effetto del numero di cicli di carico applicati. In presenza di fluido interstiziale, alle suddette problematiche si aggiunge l'accumulo di sovrappressioni interstiziali in condizioni di drenaggio impedito o parziale, che sono comunque le più frequenti, in considerazione della velocità di applicazione del carico. La modellazione di tali fenomeni richiede l'utilizzo di legami costitutivi complessi, che oltretutto difficilmente riescono a riprodurre simultaneamente tutte le specificità del comportamento dei terreni. Per tale ragione spesso si preferisce fare riferimento a modelli costitutivi semplificati che, pur non essendo rigorosi, riescono a riprodurre il comportamento in modo adeguato in riferimento alla specifica applicazione.

In particolare, per quanto riguarda la risposta sismica dei depositi, l'approccio visco-elastico lineare equivalente rappresenta un valido compromesso tra semplificazione delle analisi ed accuratezza dei risultati. La strategia consiste sostanzialmente nel fare riferimento alle soluzioni visco-elastiche lineari per la propagazione delle onde sismiche adeguando in modo iterativo i parametri costitutivi in funzione del livello deformativo indotto dal moto sismico nel terreno.

Tale modello lineare equivalente, studia il comportamento tra tensione e deformazione del terreno basandosi sul modello di Kelvin-Voigt, illustrato in Fig.5. La tensione τ dipende dalla deformazione γ e dalla sua derivata $\dot{\gamma}$, secondo la relazione:

$$\tau = G \gamma + \eta \dot{\gamma}$$

dove:

- G : Modulo di taglio;
- η : viscosità del mezzo.

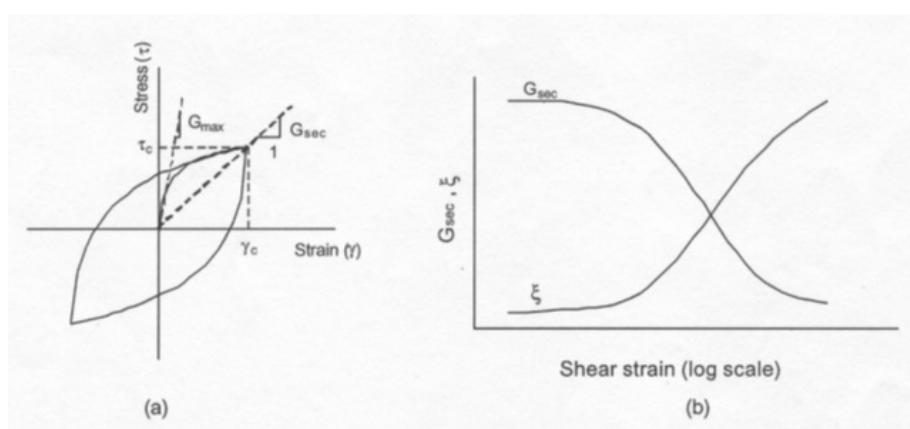


Figura 5. Modello lineare equivalente: (a) curve tensioni - deformazioni; (b) variazione del modulo.

Il comportamento non lineare del terreno, durante un ciclo di carico, viene approssimato per come mostrato in figura 5. Il modulo di taglio equivalente, G , è preso considerando il modulo di taglio secante G_s .

È possibile notare come alla fine di un ciclo controllato e simmetrico di tensioni si ha:

$$G_s = \frac{\tau_c}{\gamma_c}$$

La curva G_s - γ non può avere una forma arbitraria ma deriva dalla curva τ - γ e sussiste seguente relazione:

$$\frac{d\tau}{d\gamma} = G_s(\gamma) + \frac{dG_s}{d\gamma} \gamma \geq 0$$

La descrizione del comportamento meccanico dei terreni nei confronti dei carichi ciclici non può peraltro prescindere dalla dissipazione intrinseca di energia che si verifica durante i cicli di carico-scarico. Il parametro di riferimento a tal riguardo è costituito dal coefficiente di smorzamento D , definito come:

$$D = \frac{1}{4\pi} \frac{\Delta W^{dissp}}{W^{max}}$$

dove:

- ΔW^{dissp} : quantità di energia dissipata, per unità di volume, dal terreno durante un ciclo di carico armonico;
- W^{max} : massima energia di deformazione, per unità di volume, immagazzinata dal terreno durante lo stesso ciclo di carico armonico.

In definitiva la risposta non lineare del terreno tramite il modello viscoelastico lineare equivalente viene riassunta mediante delle curve di riduzione del modulo di taglio e di incremento del rapporto di smorzamento (Fig. 5b).

7.2.1.2. Soluzione alla singola iterazione mediante FEM

L'approccio utilizzato per la soluzione visco-elastica lineare all'interno dell' i -esimo ciclo iterativo utilizza il metodo degli elementi finiti. In particolare, il deposito di terreno viene discretizzato mediante una "mesh" di elementi finiti piani che possono avere forma quadrangolare o rettangolare a seconda dei casi (figura 6) e caricato mediante un'accelerazione alla base dello stesso (bedrock), la soluzione dell'equazione del moto viene poi ottenuta nel dominio del tempo utilizzando il metodo di integrazione di Newmark.

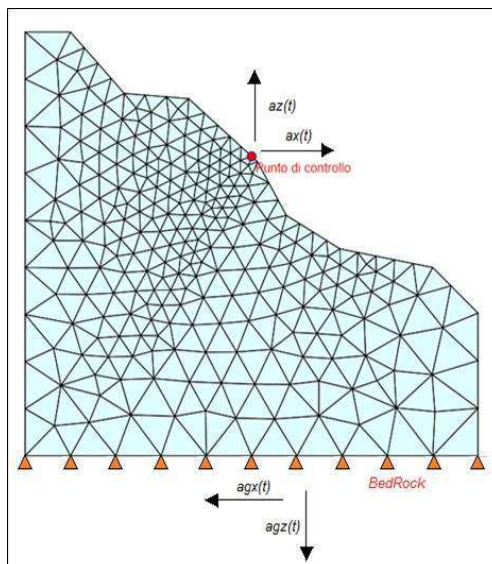


Figura 6. Discretizzazione FEM del deposito di terreno.

$$\mathbf{M} \ddot{\mathbf{u}} + \mathbf{C} \dot{\mathbf{u}} + \mathbf{K} \mathbf{u} = -\mathbf{M} \mathbf{a}_g$$

dove:

- \mathbf{M} : matrice di massa del sistema;
- \mathbf{C} : matrice di smorzamento del sistema;
- \mathbf{K} : matrice di rigidità del sistema;
- $\ddot{\mathbf{u}}, \dot{\mathbf{u}}, \mathbf{u}$: rispettivamente vettori di accelerazione, velocità e spostamento del sistema;
- \mathbf{a}_g : vettore di accelerazione alla base.

Tale equazione vale per ogni istante di tempo t_n e descrive l'equilibrio dinamico del sistema. La soluzione in termini di spostamento velocità ed accelerazione per ogni t_n viene ottenuta a partire dalle seguenti relazioni:

$$\dot{\mathbf{u}}_n = \dot{\mathbf{u}}_{n-1} + \Delta t [(1 - \gamma) \ddot{\mathbf{u}}_{n-1} + \gamma \ddot{\mathbf{u}}_n]$$

$$\mathbf{u}_n = \mathbf{u}_{n-1} + \Delta t \dot{\mathbf{u}}_{n-1} + \frac{\Delta t^2}{2} [(1 - \beta) \ddot{\mathbf{u}}_{n-1} + 2\beta \ddot{\mathbf{u}}_n]$$

dove:

- Δt : incremento temporale tra l'istante di tempo t_n e t_{n-1} ;
- β : parametro del metodo di integrazione posto pari a 0.25;
- γ : parametro del metodo di integrazione posto pari a 0.50;

Smorzamento

La matrice di smorzamento del sistema viene ottenuta mediante l'assemblaggio delle matrici di smorzamento dei singoli elementi, queste ultime ottenute a loro volta come:

$$C_q = \alpha_q M_q + \beta_q K_q$$

dove:

- α_q e β_q : coefficienti di smorzamento alla Rayleigh.

Tali coefficienti vengono ottenuti a partire dal rapporto di smorzamento viscoso del singolo elemento e dalla relazione seguente:

$$\dot{u}_n = \dot{u}_{n-1} + \Delta t [(1 - \gamma) \ddot{u}_{n-1} + \gamma \ddot{u}_n]$$

$$u_n = u_{n-1} + \Delta t \dot{u}_{n-1} + \frac{\Delta t^2}{2} [(1 - \beta) \ddot{u}_{n-1} + 2\beta \ddot{u}_n]$$

$$D_q = \frac{1}{2} \left(\frac{\alpha_q}{\omega} + \beta_q \omega \right)$$

Da cui si ottiene (Hudson, 1994):

dove:

- ω_1 : frequenza naturale del primo modo del deposito;
- $\omega_2 = n * \omega_1$.

con $n = \omega_i / \omega_1$ (approssimato all'interno pari più grande) e ω_i frequenza di picco dello spettro ottenuto a partire dall'accelerazione al bedrock.

7.2.1.3. Procedimento iterativo

La procedura iterativa che consente di ottenere la risposta non lineare del sistema consiste nell'eseguire una sequenza di analisi lineari, con aggiornamento iterativo dei parametri di rigidità e smorzamento, fino al raggiungimento di un prefissato criterio di convergenza. Facendo riferimento alla figura 7, lo schema della procedura iterativa su cui è basato il modello lineare equivalente, da applicare ad ogni strato in cui è stato discretizzato il profilo stratigrafico:

- definizione di curve $G=G(\gamma)$ e $D=D(\gamma)$ per i diversi strati;
- inizializzazione dei valori del modulo di taglio e del fattore di smorzamento ai livelli di piccole deformazioni (G_0 e D_0);
- calcolo della risposta dinamica del suolo e valutazione della deformazione massima a taglio in ogni strato (γ_1 , figura 7);
- aggiornamento dei valori $G_1=G(\gamma_1)$ e $D_1=D(\gamma_1)$;
- iterazione dei passi 3 e 4 fino a convergenza ($\gamma_{i-1} \sim \gamma_i$).

7.2.1.4. Interpretazione dei risultati

Il risultato della procedura iterativa sopradescritta non è altro che la storia temporale di accelerazione, velocità e spostamento di ogni grado di libertà del modello FEM. Tuttavia, dal punto di vista ingegneristico è interessante **monitorare la risposta in termini di accelerazione in superficie in corrispondenza di uno o più punti di**

controllo in modo da comprendere quelli che sono gli effetti indotti dal sito sull'amplificazione della sorgente sismica.

7.3. Dati di INPUT – Nuovo Refettorio Via Pertini

Nei paragrafi successivi vengono riportate le informazioni relative ai dati di *input* utilizzati per lo studio della risposta sismica locale presso l'area di studio.

7.3.1. Indagini Specifiche

Per quanto concerne le indagini specifiche eseguite (C7.11.3.1 delle NTC 2018) si rimanda a quanto ampiamente descritto al Cap.4 con particolare riferimento all'esecuzione di indagini in sito idonee a caratterizzare dal punto di vista stratigrafico l'area di progetto ed a definire un modello del sottosuolo esaustivo comprese le proprietà fisiche e meccaniche degli strati di terreno individuati, le condizioni di circolazione d'acqua e la profondità dei depositi assimilabili al substrato rigido. In particolare è stata prevista anche la determinazione dei profili di velocità di propagazione delle onde di taglio e della frequenza di sito.

7.3.2. Scelta della schematizzazione geometrica e definizione del modello geotecnico di sottosuolo

Si rimanda al Modello Geologico Geotecnico (Cap.5) per quanto concerne la schematizzazione geometrica del problema e la definizione del modello geotecnico del sottosuolo (C7.11.3.1.2.1 delle NTC 2018) per l'area di studio.

L'assetto geologico-stratigrafico è caratterizzato dalla presenza di una giacitura degli strati riconducibile ad una schematizzazione geometrica semplice (terreno uniforme o stratificato orizzontalmente delimitato da p.c. orizzontale e poggiante su substrato rigido anch'esso orizzontale). Si ricorre in ogni caso ad una schematizzazione monodimensionale (1D) assumendo condizioni di deformazione piana che consentono una modellazione adeguata agli effetti della morfologia profonda e di quella superficiale del sito.

7.3.3. Stratigrafia e caratteristiche meccaniche dei singoli strati

Sulla base del cosiddetto volume significativo di terreno interessato dal problema in esame, viene definita una stratigrafia di progetto che rappresenta l'andamento delle singole lenti di terreno in una sezione verticale.

Tale stratigrafia viene rappresentata nel piano verticale X-Z mediante una serie di spezzate ognuna delle quali identifica l'andamento del singolo strato. La prima di tali spezzate serve ad identificare l'orografia della porzione di sito oggetto di studio.

Di seguito si riporta una rappresentazione grafica della stratigrafia di progetto:

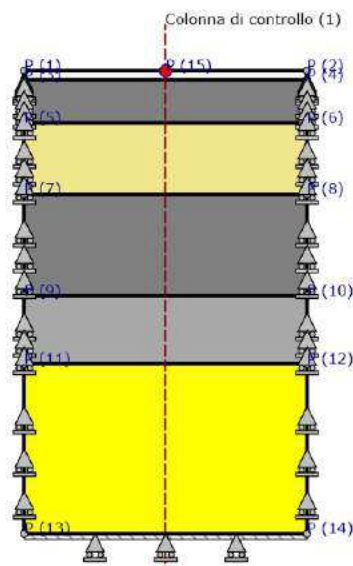


Figura 7. Stratigrafia di progetto.

Di seguito si riporta una tabella contenente le caratteristiche meccaniche dei singoli strati:

Strato	Descrizione	ρ [Kg/m ³]	Vs [m/s]	γ [-]	Curva decadimento
Strato 1	Limi sabbiosi, limi e limi argillosi	1900	186	0.35	Clay Seed & Sun (1989)
Strato 2	Limi sabbiosi, limi e limi argillosi	1900	206	0.35	Clay Seed & Sun (1989)
Strato 3	Sabbie	2100	210	0.35	Sand Seed & Idriss (1970)
Strato 4	Argille Sabbiose	1900	242	0.31	Clay Seed & Sun (1989)
Strato 5	Argille Sabbiose	1900	300	0.31	Clay Seed & Sun (1989)
Strato 6	Sabbie medio fini	2100	600	0.35	Sand Seed & Idriss (1970)

Tabella 2. Caratteristiche meccaniche strati

dove:

- ρ : densità di massa del singolo strato;
- Vs : velocità di propagazione delle onde di taglio del singolo strato;
- γ : coefficiente di contrazione trasversale (di Poisson) del singolo strato;

7.3.4. Curve di decadimento dei materiali

All'aumentare del livello di deformazione angolare raggiunta dal terreno si ha una diminuzione del modulo di taglio G ed un aumento del rapporto di smorzamento D. Tale comportamento può essere descritto, per ogni tipo di materiale presente nella stratigrafia, da due curve di decadimento una relativa a G ed una D.

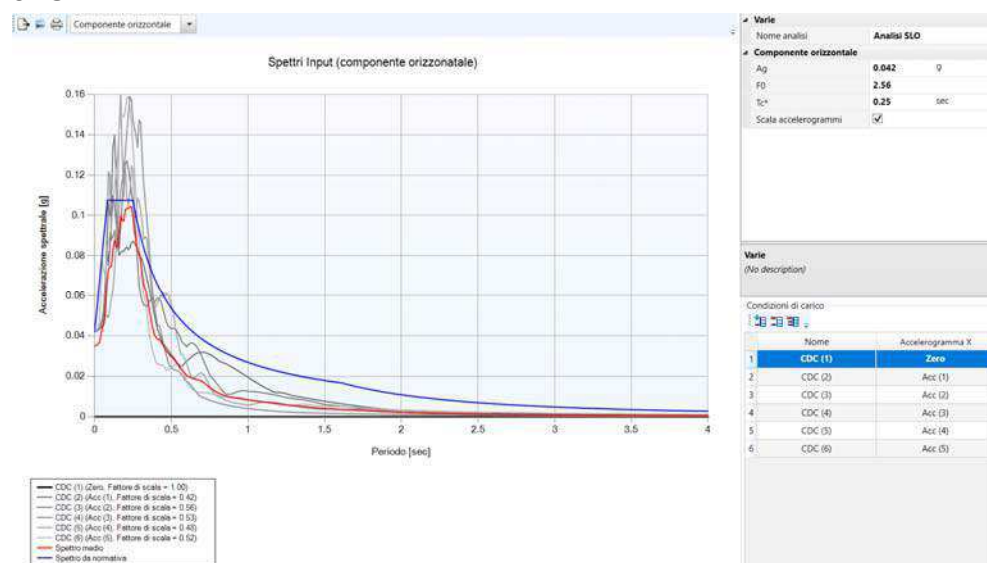
7.3.5. Definizione delle Azioni Sismiche in ingresso

Il codice di calcolo LSR 2d prevede l'inserimento di accelerogrammi spettrocompatibili ottenuti dai database dell'INGV da utilizzare come segnale di *input* al *bedrock*.

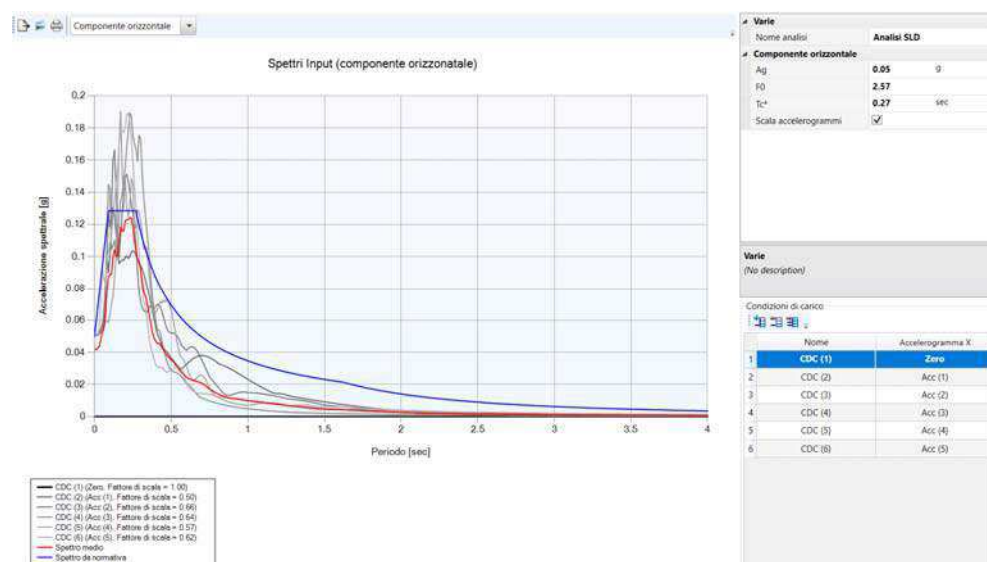
Gli accelerogrammi di *input* relativi ad ogni stato limite vengono forniti da Regione Lombardia nell'ambito dello studio per la “**Definizione di procedure per la valutazione degli effetti sismici di sito nel territorio lombardo**” dell'aprile 2009. Il Comune di Pieve San Giacomo ricade nella fascia 5 e sono quindi stati impiegati gli accelerogrammi selezionati per tale fascia.

Vengono di seguito riportati tutti gli Spettri Input e lo spettro medio relativi alla componente orizzontale utilizzati per il caso di studio e per i 4 stati limite, con evidenziato lo spettro da normativa con classe d'uso IV ed i Fattori di Scala (in media inferiore a 1,6).

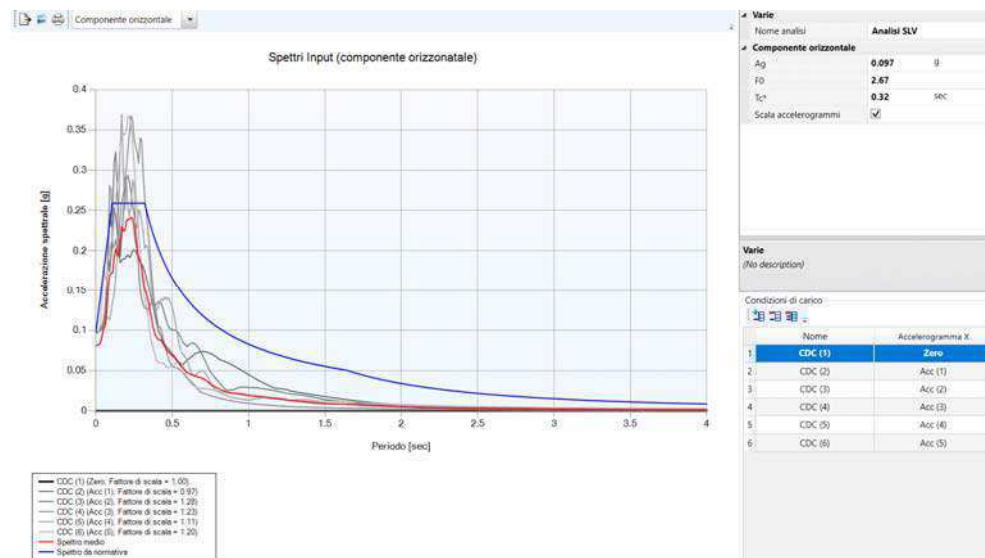
SLO



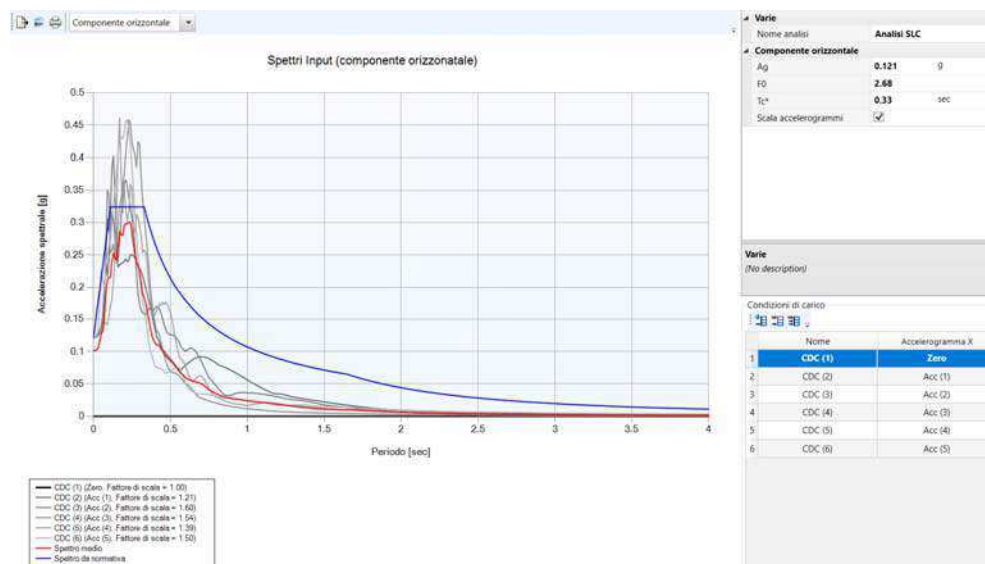
SLD



SLV



SLC



7.3.6. Scelta della procedura di Analisi

Il modello di calcolo agli elementi finiti da utilizzare per lo studio della problematica in esame viene di seguito descritto; per la teoria generale e la motivazione della scelta di tale procedura di analisi si rimanda anche a quanto già descritto precedentemente.

Per ogni analisi, nel caso più generale, è necessario specificare due componenti di sollecitazione. In particolare vi sono, per ogni condizione, un accelerogramma in direzione X (Orizzontale), ed uno in direzione Z (Verticale).

Ad ogni analisi corrispondono una serie di condizioni di carico. Per ognuna di esse vengono specificate due componenti di accelerazione di input in outcrop.

In tabella vengono riportate le condizioni di carico relative al caso in esame:

Analisi SLO

Condizione	Accelerogramma X
CDC (1)	Zero
CDC (2)	Acc (1) SLO
CDC (3)	Acc (2) SLO
CDC (4)	Acc (3) SLO
CDC (5)	Acc (4) SLO
CDC (6)	Acc (5) SLO

Tabella 4a. Condizioni di carico.

Analisi SLD

Condizione	Accelerogramma X
CDC (1)	Zero
CDC (2)	Acc (1) SLD
CDC (3)	Acc (2) SLD
CDC (4)	Acc (3) SLD
CDC (5)	Acc (4) SLD
CDC (6)	Acc (5) SLD

Tabella 4b. Condizioni di carico.

Analisi SLV

Condizione	Accelerogramma X
CDC (1)	Zero
CDC (2)	Acc (1) SLV
CDC (3)	Acc (2) SLV
CDC (4)	Acc (3) SLV
CDC (5)	Acc (4) SLV
CDC (6)	Acc (5) SLV

Tabella 4c. Condizioni di carico.

Analisi SLC

Condizione	Accelerogramma X
CDC (1)	Zero
CDC (2)	Acc (1) SLC
CDC (3)	Acc (2) SLC
CDC (4)	Acc (3) SLC
CDC (5)	Acc (4) SLC
CDC (6)	Acc (5) SLC

Tabella 4d. Condizioni di carico.

Il modello FEM viene ottenuto mediante una discretizzazione con elementi finiti piani a tre o a quattro nodi del dominio. Il passo ed i rapporti di infittimento della *mesh* in corrispondenza dei punti di controllo sono dati di input e possono variare a seconda del caso. Il passo della *mesh* deve soddisfare la seguente relazione:

$$p \leq \frac{V_{s,min}}{5 f_{max}}$$

dove:

- p : passo della *mesh*;
- $V_{s,min}$: velocità delle onde di taglio minima presente nel modello;
- f_{max} : frequenza massima che si vuole analizzare;

Le condizioni al contorno del problema in esame (posizione del bedrock) vengono prese in considerazione sul modello FEM mediante l'applicazione di smorzatori viscosi sui nodi facenti parte della porzione di terreno a contatto con il bedrock. Tali smorzatori esprimono due componenti (una orizzontale ed una verticale) di forza proporzionali alla velocità.

Le costanti di smorzamento C_x e C_z sono rispettivamente:

$$C_x = q_b * V_{sb} * V_{sb} \text{ ed } C_z = q_b * V_{pb} * V_{pb}$$

STUDIO GEOLOGICO SCALVINI

Via San Giuseppe 8 – 25017 – LONATO DEL GARDA (BS) Cell. 333.8506030 - Tel 030.618.2811

E mail: damiano@studiotecnico-scalvini.com

PEC: damianoscalvini@epap.sicurezzapostale.it (dal 1.07.22 damianoscalvini@pec.epap.it)

dove:

- ρ_b : densità di massa del substrato;
- V_{sb} : velocità delle onde di taglio del substrato;
- V_{pb} : velocità delle onde p del substrato;

Sul modello possono essere applicati dei vincoli fissi nel caso in cui il substrato lo si volesse modellare come infinitamente rigido o per simulare un comportamento monodimensionale. In tal caso vengono applicati su tutti i nodi del modello dei vincoli in direzione verticale, in modo da consentire solo deformazioni di taglio.

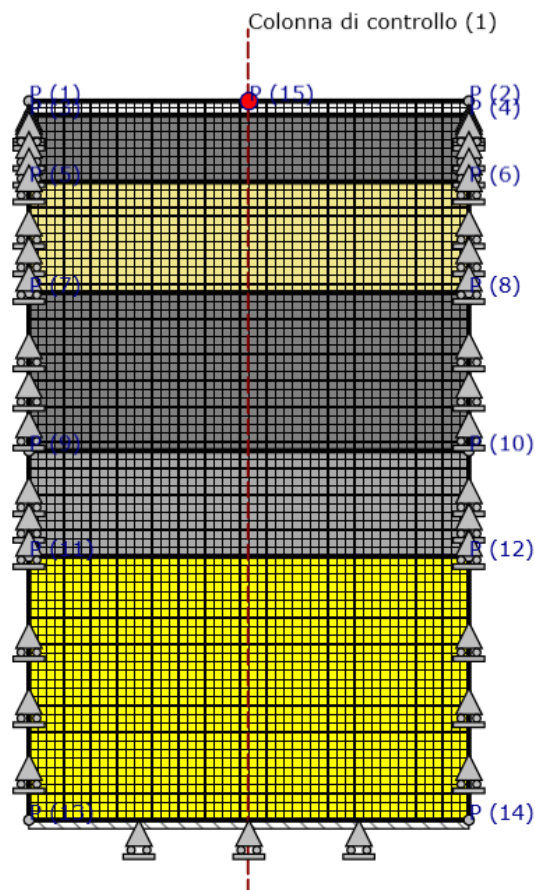
Di seguito vengono indicati i vincoli applicati al modello (B: “bloccato”; L: “libero”) :

Nodo	Direzione X	Direzione Z
n	L	B

Nodo	Direzione X	Direzione Z
n	L	B

La sezione di calcolo (colonna di controllo) viene considerata coincidente il punto centrale dell’edificio di progetto

Si riporta a seguire l’immagine del calcolo *mesh* relativo al caso di studio e con indicazione dei punti e delle colonne di controllo:



7.4. Risultati - Output

I risultati dell'analisi effettuata constano essenzialmente degli **Accelerogrammi di Output al punti di controllo** e degli **Spettri Medi** relativi alle Analisi ai vari stati limite effettuate, alle rispettive condizioni di carico per i cinematismi di controllo impostati (Condizioni e Punti di controllo di cui al ¶7.3.6).

I risultati delle analisi condotte sulla stratigrafia di progetto vengono utilizzati al fine di ottenere le **azioni sismiche di progetto per l'opera da realizzare** ai vari stati limite..

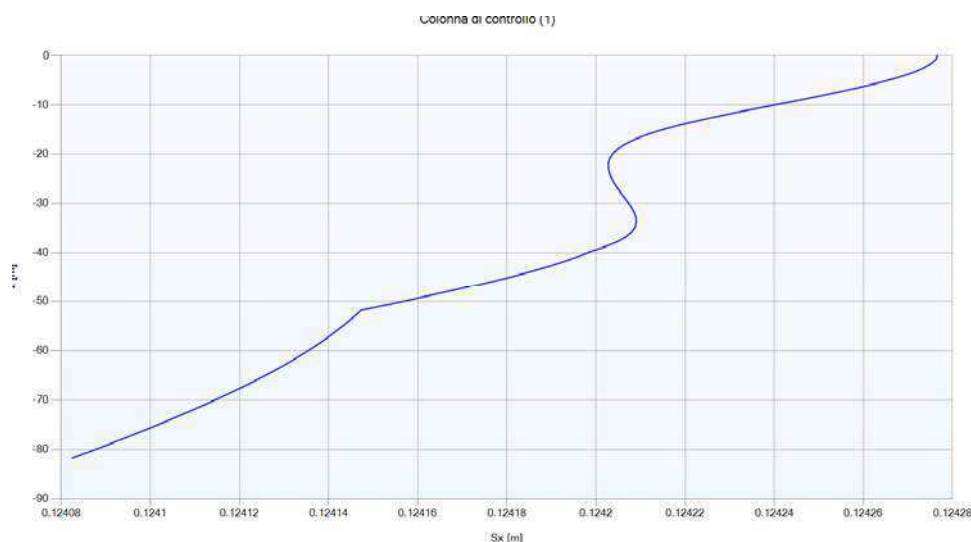
Infine per la **Colonna di Controllo**, possono essere **stimati numerosi parametri rispettivamente per gli elementi di calcolo ed funzione della profondità**.

7.4.1. Parametri stimati lungo la sezione di calcolo e le colonne di controllo

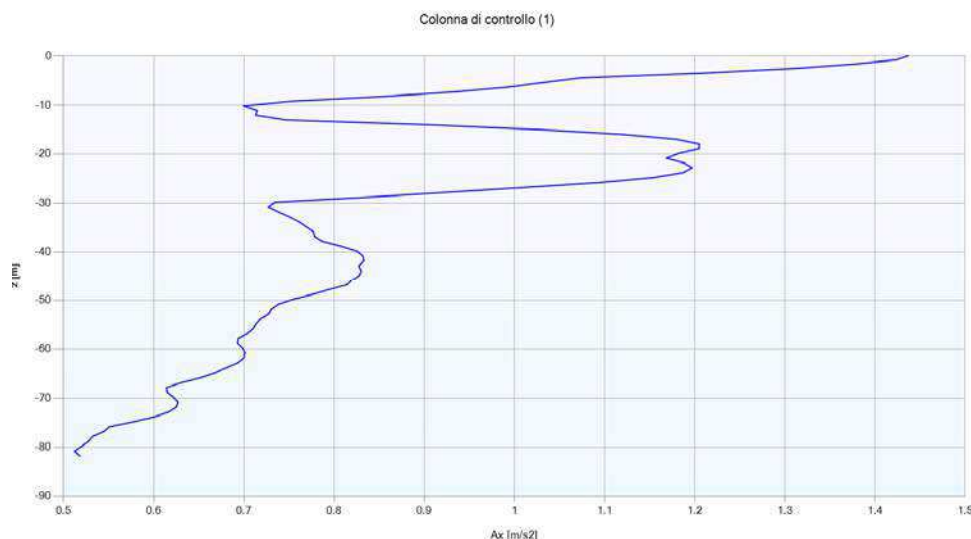
Nell'Allegato “*Risposta Sismica Locale - Tabelle e Grafici Risultati di Calcolo*” vengono riportate le stime, lungo la sezione di calcolo, dei valori medi derivanti **dall'analisi allo SLV** in tutte le condizioni di carico analizzate dei seguenti parametri:

- Spostamenti x e z
- Velocità x e z
- Accelerazioni x e z
- Deformazioni g max
- Sforzi t max
- Proprietà materiali G/Go
- Proprietà materiali D%

Si riportano indicativamente i risultati relativi allo spostamento e all'accelerazione x per le verifiche SLV.



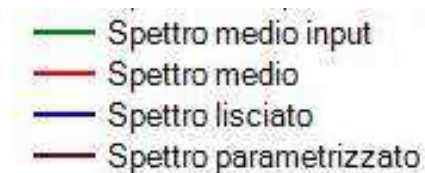
SLV – spostamenti sx



SLV – Accelerazioni ax

Nei successivi paragrafi vengono riportati gli **Spettri di Risposta** relativi alle Analisi effettuate per ogni Stato Limite ed ai vari cinematismi di controllo con evidenziati:

- Spettro Medio Input
- Spettro Medio Output
- Spettro Lisciato Output
- Spettro parametrizzato proposto
- Calcolo S e Cc



Vengono evidenziati inoltre le due classi di periodo previste dalla normativa:

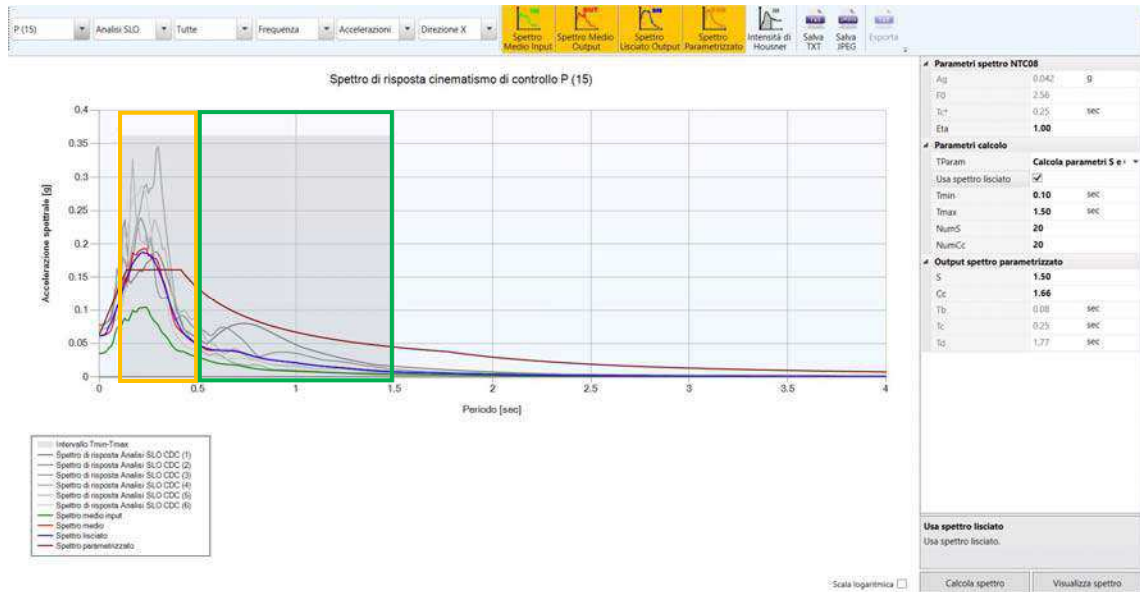
- $0,1 < T < 0,5$
- $0,5 < T < 1,5$

Per ogni verifica, con riferimento alle due classi di periodo indicate, lo spettro lisciato viene confrontato con lo spettro parametrizzato relativo alla Categoria di Sottosuolo di partenza del sito definita al par. 6.6.1

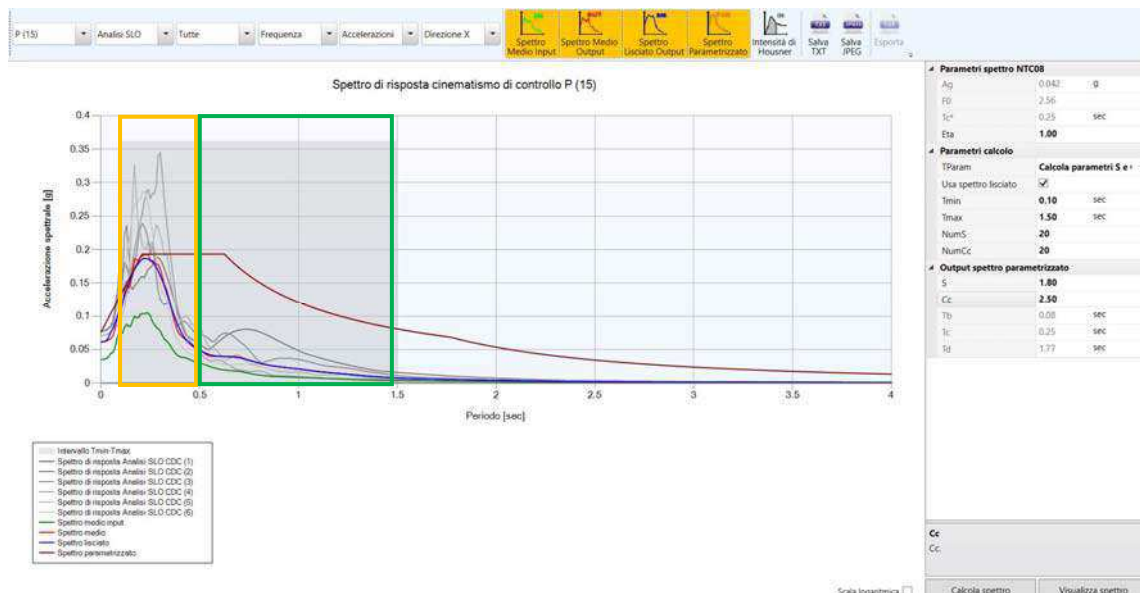
Laddove lo spettro lisciato risulta maggiore del parametrizzato, si procede al confronto con lo spettro parametrizzato della categoria di sottosuolo inferiore.

I valori di T_B , T_C , T_D sono calcolati con riferimento alle formule 3.2.5, 3.2.6 e 3.2.7 delle NTC 2018.

7.4.2. Azioni sismiche allo SLO



	S _s	C _c	T _B	T _C	T _D
Spettro parametrizzato Categoria C	1,50	1,66	0,14	0,42	1,77
0,1<T<0,5	Parametrizzato<Liscio Non verificato				
0,5<T<1,5	Parametrizzato>Liscio Verificato				



	S _s	C _c	T _B	T _C	T _D
Spettro parametrizzato Categoria D	1,80	2,50	0,21	0,63	1,77
0,1<T<0,5	Parametrizzato>Liscio Verificato				
0,5<T<1,5	Parametrizzato>Liscio Verificato				

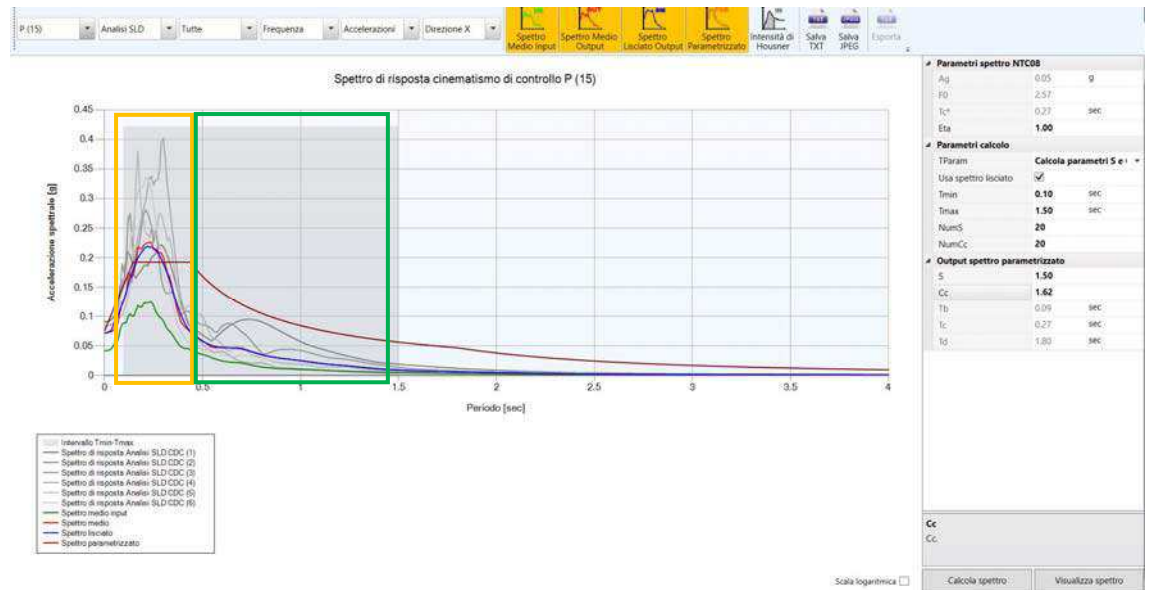
STUDIO GEOLOGICO SCALVINI

Via San Giuseppe 8 – 25017 – LONATO DEL GARDA (BS) Cell. 333.8506030 - Tel 030.618.2811

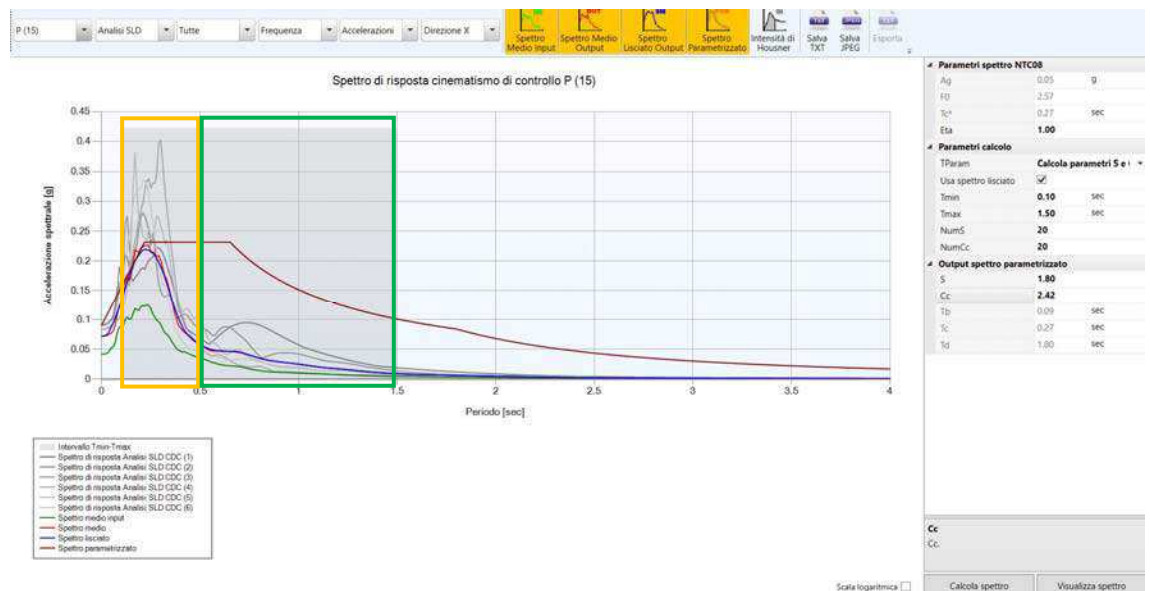
E mail: damiano@studiotecnicoescalvini.com

PEC: damianoscalvini@epap.sicurezzaepap.it (dal 1.07.22 damianoscalvini@pec.epap.it)

7.4.3. Azioni sismiche allo SLD



	Ss	Cc	T _B	T _C	T _D
Spettro parametrizzato Categoria C	1,50	1,65	0,14	0,45	1,80
0,1<T<0,5	Parametrizzato < Liscio Non verificato				
0,5<T<1,5	Parametrizzato > Liscio Verificato				



	Ss	Cc	T _B	T _C	T _D
Spettro parametrizzato Categoria C	1,80	2,42	0,22	0,65	1,80
0,1<T<0,5	Parametrizzato > Liscio Verificato				
0,5<T<1,5	Parametrizzato > Liscio Verificato				

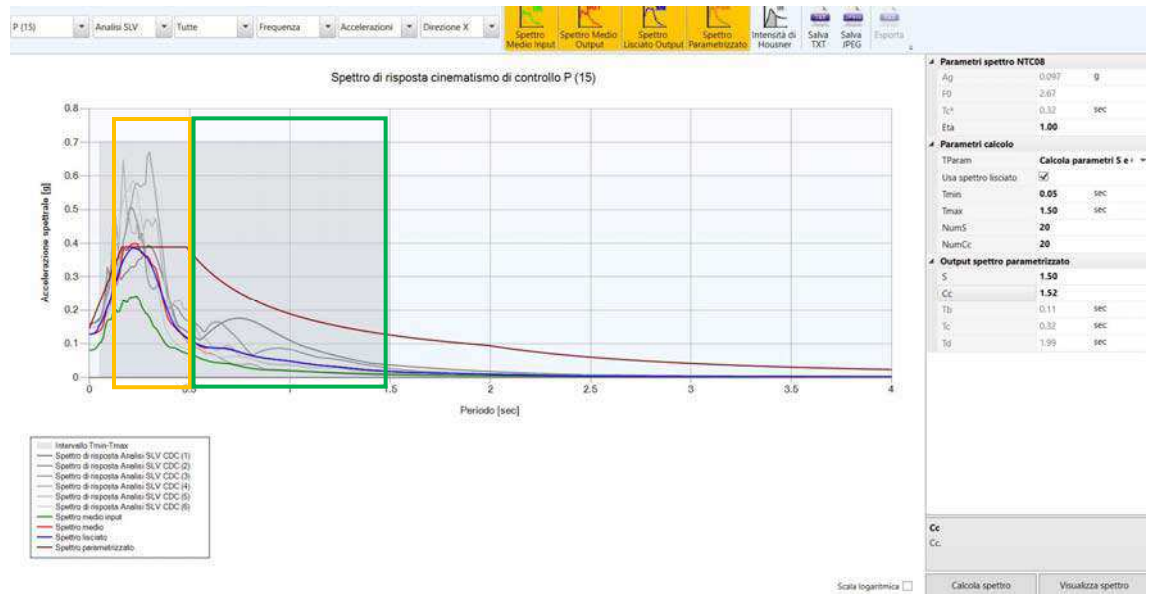
STUDIO GEOLOGICO SCALVINI

Via San Giuseppe 8 – 25017 – LONATO DEL GARDA (BS) Cell. 333.8506030 - Tel 030.618.2811

E mail: damiano@studiotecnicoscalvini.com

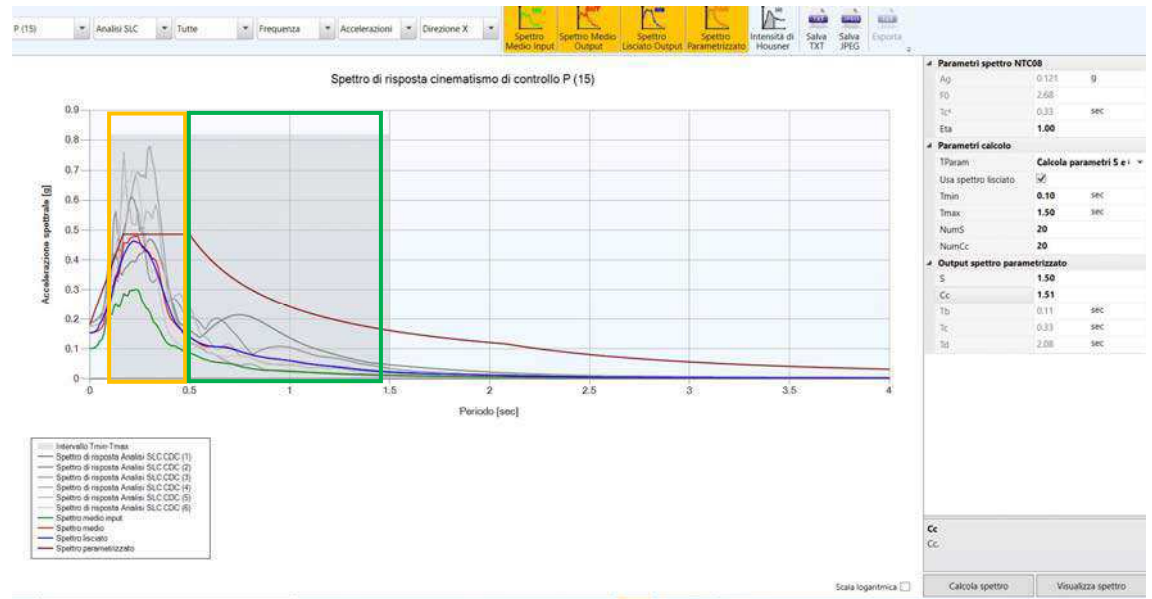
PEC: damianoscalvini@epap.sicurezza postale.it (dal 1.07.22 damianoscalvini@pec.epap.it)

7.4.4. Azioni sismiche allo SLV



	Ss	Cc	T _B	T _C	T _D
Spettro parametrizzato Categoria C	1,50	1,52	0,16	0,49	1,99
0,1<T<0,5	Parametrizzato > Liscio Verificato				
0,5<T<1,5	Parametrizzato > Liscio Verificato				

7.4.5. Azioni sismiche allo SLC



	Ss	Cc	T _B	T _C	T _D
Spettro parametrizzato Categoria C	1,50	1,51	0,17	0,50	2,08
0,1<T<0,5	Parametrizzato > Liscio Verificato				
0,5<T<1,5	Parametrizzato > Liscio Verificato				

7.5. Parametri sismici di riferimento (Risposta Sismica del Sito - Metodo Numerico 2D) - Valori di S e C_c

Per il sito di progetto, possono essere stimati per varie frequenze annuali di superamento, i valori dei parametri sismici normativi (a_g , F_0 e T_c^*) relativi alla Pericolosità Sismica mediante le Analisi di Risposta Sismica Locale 2D precedentemente illustrata.

Nel caso specifico si assegna all'edificio in esame la **Classe d'uso III** – (paragrafo 2.4.2 NTC-08) ed una vita nominale $V_N = 50$ anni.

Si propongono, quindi, i seguenti parametri progettuali ed i relativi periodi di riferimento da utilizzare per i diversi Stati Limite:

Classe d'uso dell'edificio		IV				Par 2.4.2.
Vita Nominale della costruzione (in anni)	V_N	50				Tab. 2.4.I.
Coefficiente d'uso della costruzione	C_U	2,0				Tab. 2.4.II.
Probabilità di superamento	P_{VR}	SLO 81 %	SLD 63 %	SLV 10 %	SLC 5 %	Tab. 3.2.I.
Periodo di riferimento per la definizione sismica (in anni)	T_R	60	101	949	1950	Tab.C.3.2.1. Circ 617/09

I valori dei parametri sismici normativi (a_g , F_0 e T_c^*) relativi alla pericolosità sismica stimati secondo la strategia di progettazione ordinaria sono di seguito elencati:

P_{VR}	T_R	a_g (*)	F_0 (*)	T_c^* (*)
SLO – 81%	60	0,042	2,565	0,251
SLD – 63%	101	0,050	2,569	0,268
SLV – 10%	949	0,097	2,669	0,325
SLC – 5%	1950	0,121	2,676	0,334

Per l'utilizzo dei metodi, delle formule e delle tabelle riportate nel D.M. 14/01/08 si potrà tenere conto dei valori dei parametri di pericolosità sismica del sito specificatamente calcolati secondo il metodo numerico utilizzato per lo studio della Risposta Sismica Locale.

Si riepilogano, a seguire, i risultati ottenuti dall'Analisi di Risposta Sismica Locale 1D per l'edificio e l'ambito in esame, in relazione a diversi periodi di edificio.

- per periodi dell'edificio compresi tra 0,1s e 0,5s lo spettro di risposta della Categoria di Sottosuolo C non risulta sufficientemente cautelativo agli Stati limite SLO e SLD e pertanto è necessario applicare i parametri riferiti alla categoria di Sottosuolo D.

- per periodi dell'edificio compresi tra 0,1s e 0,5s lo spettro di risposta della Categoria di Sottosuolo C risulta sufficientemente cautelativo agli Stati limite SLV e SLC;

STUDIO GEOLOGICO SCALVINI

Via San Giuseppe 8 – 25017 – LONATO DEL GARDA (BS) Cell. 333.8506030 - Tel 030.618.2811

E mail: damiano@studiotecnicoscalvini.com

PEC: damianoscalvini@epap.sicurezzaepapale.it (dal 1.07.22 damianoscalvini@pec.epap.it)

- per periodi dell'edificio compresi tra 0,5 s e 1,5 sec lo spettro di risposta previsto per la Categoria di Sottosuolo C risulta sufficientemente cautelativo ad ogni Stato Limite considerato

Periodo dell'edificio		Categoria di sottosuolo	S ^(*)	C _c
0,1s – 0,5s	SLO	D	1,800	2,496
	SLD	D	1,800	2,416
	SLV	C	1,500	1,521
	SLC	C	1,500	1,508
0,5s-1,5s	SLO	C	1,500	1,658
	SLD	C	1,500	1,622
	SLV	C	1,500	1,521
	SLC	C	1,500	1,508

(*) Il valore di S risulta comprensivo dei valori di S_S e S_T. Nel caso specifico, essendo S_T=1, ne consegue che S ≡ S_S.

Per quanto riguarda il dettaglio dei parametri necessari a definire lo spettro di risposta, per i singoli punti di controllo analizzati, si rinvia al paragrafo 7.4.1.

Si rimanda al Progettista la scelta delle assunzioni di calcolo progettuale soprattutto in funzione del periodo definito per l'edificio di progetto.

8. VERIFICHE DI STABILITA'

8.1. Stabilità nei confronti della liquefazione – Esclusione della verifica a liquefazione

(par. 7.11.3.4. del DM 17/01/18)

L'area di progetto non è stata classificata, nello Studio della Componente Geologica del PGT vigente entro alcun scenario di pericolosità sismica Z2a o Z2b quali ambiti soggetti a cedimenti e liquefazione e riferiti rispettivamente a “Zona con terreni di fondazione particolarmente scadenti” e “Zone con depositi granulari fini”; pertanto non è richiesto un Approfondimento sismico di 3° livello, secondo le procedure indicate nel § 2.3.2 dell'All.5 della D.G.R. 9/2616/2011.

Il DM 17/01/18 prevede in ogni caso che la verifica di stabilità del sito nei confronti della liquefazione dei terreni debba essere omessa quanto si verifichi almeno una delle seguenti circostanze:

FATTORI SISMICI

1. Accelerazione massima attesa al piano campagna in assenza di manufatti (in campo libero) $< 0,1$ g;

FATTORI GEOLOGICI-GEOTECNICI

2. Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal p.c.;
3. Depositi costituiti da sabbie pulite con valori di $(N_1)_{60} > 30$ o $q_{cIN} > 180$;
4. Distribuzione granulometrica esterna ai fusi granulometrici indicati nel DM per coefficienti di Uniformità $U_c > 3,5$ e $U_c < 3,5$.

Nel caso non siano verificate le condizioni relative ai fattori sismici 1) si dovranno determinare i parametri necessari a verificare i fattori geologici-geotecnici 2), 3), 4).

L'accelerazione massima attesa al sito risulta inoltre pari a $a_{max} = a_g * S_s * S_T = 0,09 * 1,500 * 1,0 = 0,135g$.

FATTORI LEGATI ALL'EVENTO SISMICO		
Condizione di esclusione dalla verifica	Condizioni di sito	ESCLUSIONE
$a_{g\ max} < 0,1\ g$	$a_{g\ max} = 0,135\ g$	NO

Non potendo escludere la condizione sismica, si procede quindi a verificare le restanti condizioni relative ai fattori predisponenti:

FATTORI GEOLOGICI - GEOTECNICI		
Condizione di esclusione dalla verifica	Condizioni di sito	ESCLUSIONE
Profondità Falda $> 15\ m$	Falda presente a -3,30 m	NO
$(N_1)_{60} > 30$ o $q_{cIN} > 180$	$q_{cIN} < 100$	NO

STUDIO GEOLOGICO SCALVINI

Via San Giuseppe 8 – 25017 – LONATO DEL GARDA (BS) Cell. 333.8506030 - Tel 030.618.2811

E mail: damiano@studiotecnicoescalvini.com

PEC: damianoscalvini@epap.sicurezza postale.it (dal 1.07.22 damianoscalvini@pec.epap.it)

Granulometria esterna ai fusi granulometrici	Limì argillosi e limi sabbiosi fino a - 7,60 / -9,00 m; Sabbie fino a 15,00 m	NO
---	---	-----------

Si è quindi proceduto ad una verifica della probabilità di liquefazione con il metodo di Seed e Idriss (1970) in condizioni sismiche (vedi verifica nelle singole schede di elaborazione delle indagini CPT – colonne FL1 e FL2) dal quale risulta che il sottosuolo non è comunque soggetto a liquefazione.

In base alla verifica effettuata si **esclude la possibilità che si verifichino fenomeni di liquefazione.**

8.2. Stabilità dei pendii

(par. 7.11.3.5. del D.M. 17/01/18).

In relazione alle condizioni stratigrafiche e topografiche del sito fin qui esposte si escludono fenomeni di instabilità dei pendii, così come definiti al par. 7.11.3.5. del D.M. 17/01/18.

9. PROGETTO DI INTERVENTO E RACCOMANDAZIONI

L'intervento di progetto prevede la realizzazione di un padiglione a pianta ottagonale iscrivibile a una circonferenza di diametro 16,65 m e prevede una struttura composta da 8 pilastri in c.a. a sezione circolare di diametro 0,50 m, posti ad interasse di 6,40 m. Per i successivi calcoli si terrà conto sia di struttura di **fondazione nastriforme** con **larghezza L=2,50 m e altezza H=0,5 m**

Il nuovo edificio prevede un piano di posa di fondazione a circa -1,50 m dal p.c.

Le indagini geotecniche e geofisiche eseguite hanno permesso di ricostruire il modello geologico e geotecnico di riferimento per il sito di intervento.

Le scelte progettuali ed i criteri realizzativi dovranno essere finalizzati a garantire, in ogni caso, la stabilità dei luoghi, l'esecuzione dei lavori in condizioni di sicurezza, la verifica della pressione limite e delle resistenze dei terreni di fondazione anche in funzione dei cedimenti previsti in fase d'esercizio, nonché la compatibilità con l'assetto idrogeologico del territorio e la stabilità dei luoghi.

In ragione della quota di piano di posa indicate e strutture di fondazione saranno impostate in corrispondenza dell'**Unità 1** (vedi modello geotecnico)

La circolazione idrica sotterranea in questi terreni è riferibile alla presenza della falda freatica alla profondità di -3,30 m dal p.c. pertanto per i calcoli delle strutture si dovrà tener conto della presenza della stessa.

Nell'area di progetto, in fase di intervento sono previsti **fronti di scavo** in relazione agli scavi di fondazione.

Per l'esecuzione delle operazioni di scavo si raccomanda di mantenere le inclinazioni dei fronti di scavo compatibili con le caratteristiche geotecniche individuate nel modello geotecnico, e di adottare tutte le precauzioni di prassi e previste dalla normativa vigente in materia di sicurezza.

Per la gestione dello scavo si rimanda al successivo cap. 9.

10. OPERAZIONI DI SCAVO

10.1. Modalità esecutive degli scavi in condizioni di sicurezza – Interventi di impermeabilizzazione e drenaggio

Le operazioni di scavo comporteranno interventi limitati all'impronta fondazionale con un'altezza pari a circa 1,50/2,00 m dal p.c..

Al fine di garantire l'esecuzione degli interventi di scavo nel rispetto delle condizioni di stabilità dei fronti, si dovrà operare con cautela mantenendo altezze ed inclinazioni rapportabili con le caratteristiche geotecniche dei terreni esistenti e con particolare attenzione laddove si operi al piede dei muri perimetrali esistenti.

In funzione della stratigrafia ricostruita e delle caratteristiche geotecniche riscontrate per il sito in esame potrebbero essere considerate sufficienti le garanzie di tenuta dello **scavo a breve termine**, con **fronti di inclinazione non superiore a circa 60°-80°**.

In relazione all'assetto idrogeologico ricostruito, per le profondità d'interesse, non si dovrebbero avere interferenze tra le operazioni di scavo e fenomeni di filtrazione idrica.

Per tutti gli sbancamenti si raccomanda, infine, di non abbandonare i fronti di scavo aperti per periodi di tempo prolungati. A seguito di piogge intense tali fronti possono essere soggetti a fenomeni di dilavamento con conseguenti crolli delle pareti di scavo. In caso di pioggia i fronti di scavo dovranno essere protetti dal dilavamento superficiale mediante teloni impermeabili.

10.2. Linee guida generali di utilizzo del materiale escavato

Nell'ambito della realizzazione delle opere si prevede la produzione di materiale derivanti da operazioni di scavo.

Il materiale escavato ha la possibilità di:

- **essere destinato allo stato naturale a fini di costruzione nello stesso sito in cui è stato escavato** (art. 185 D. Lgs. 152/2006 e s.m.i. e art. 24 del D.P.R. n. 120 del 13/06/2017).

185. Esclusioni dall'ambito di applicazione
(articolo così sostituito dall'articolo 13 del d.lgs. n. 205 del 2010)

1. Non rientrano nel campo di applicazione della parte quarta del presente decreto:

- a) le emissioni costituite da effluenti gassosi emessi nell'atmosfera;
- b) il terreno (in situ), inclusi il suolo contaminato non scavato e gli edifici collegati permanentemente al terreno, fermo restando quanto previsto dagli artt. 239 e ss. relativamente alla bonifica di siti contaminati;
- c) il suolo non contaminato e altro materiale allo stato naturale escavato nel corso di attività di costruzione, ove sia certo che esso verrà riutilizzato a fini di costruzione allo stato naturale e nello stesso sito in cui è stato escavato;
- d) i rifiuti radioattivi;
- e) i materiali esplosivi in disuso;
- f) le materie fecali, se non contemplate dal comma 2, lettera b), paglia, sfalci e potature, nonché altro materiale agricolo o forestale naturale non pericoloso utilizzati in agricoltura, nella selvicoltura o per la produzione di energia da tale biomassa mediante processi o metodi che non danneggiano l'ambiente né mettono in pericolo la salute umana.

Questo articolo è stato sottoposto ad "Interpretazione Autentica" di Legge mediante l'Art. 3 – **Disposizioni in materia di matrici materiali di riporto e ulteriori disposizioni in materia di rifiuti**- della **L. 28 del 24/03/2012** (Conversione in legge con modificazioni del D. L. 2 del 25/01/2012 recante Misure Straordinarie e urgenti in materia ambientale).

Ai sensi dell'Art. 3 comma 1 della L. 28 del 24/03/2012 come modificato dall'art. 41 comma 3 lett. a) della L. 98/2013 (Decreto del Fare) "...omissis... i riferimenti al suolo contenuti all'art. 185 commi 1, lettere b) e c), e 4 del D. Lgs.152/06, si interpretano come riferiti anche alle **matrici materiali di riporto** di cui all'All. 2 alla parte IV del medesimo D. Lgs.", costituite da una miscela eterogenea di materiale di origine antropica quali residui e scarti di produzione e di consumo e di terreno, che compone un orizzonte stratigrafico specifico rispetto alle caratteristiche geologiche e stratigrafiche naturali del terreno in un determinato sito e utilizzate per la realizzazione di riempimenti rilevati e reinterri. Al comma 2 dell'Art. 3 della L. 28 del 24/03/2012 come modificato dall'art. 41 comma 3 lett. b) della L. 98/2013 si specifica che "Fatti salvi gli accordi di programma per la bonifica sottoscritti prima della data di entrata in vigore della presente disposizione che rispettano le norme in materia di bonifica vigenti al tempo della sottoscrizione, ai fini dell'applicazione dell'Art. 185 comma 1 lettere b) c) del D. lgs. 152/06, le matrici materiali di riporto devono essere sottoposte a test di cessione effettuato sui materiali granulari ai sensi dell'art.9 del D. M. Amb. Del 5 Febbraio 1998omissis...ai fini delle metodiche da utilizzare per escludere rischi di contaminazione delle acque sotterranee e, ove conformi ai test di cessione, devono rispettare quanto previsto dalla legislazione vigente in materia di siti contaminati."

Recentemente il **Titolo IV del D.P.R. 120/2017 (Art.24)**, fermo restando quanto previsto dal sopracitato art. 3, c. 2 del D.L. 25/01/2012 n. 2 ha specificato che **la non contaminazione**, per il riutilizzo nel sito di produzione delle terre e rocce da scavo escluse dalla disciplina rifiuti, deve essere verificata ai sensi dell'All. 4 "**Procedure di caratterizzazione chimico-fisiche e accertamento delle qualità ambientali**" del Regolamento D.P.R. n. 120 del 13/06/2017 mediante prelievo di campioni ed analisi chimiche (Art. 24 comma 1)

Nel caso in cui la produzione di terre e rocce da scavo avvenga in siti sottoposti a VIA o AIA si applicano anche i commi 3-4-5 dell'Art. 2 e risulta necessario predisporre un **Piano preliminare di utilizzo in sito delle terre e rocce da scavo escluse dalla disciplina dei rifiuti** redatto ai sensi dell'art. 24 comma 3 D.P.R. n. 120/17). L'art. 4 del D.P.R. 120/2017 stabilisce la **predisposizione in fase di progettazione o prima dell'inizio dei lavori delle analisi chimiche** (in conformità

al Piano preliminare) **e di un progetto specifico delle attività da inviare ad ARPA ed all'autorità competente prima dell'avvio dei lavori.**

- **essere gestito con la qualifica di “rifiuto speciale”**, quindi trasportato all'esterno dal sito e conferito in discarica autorizzata (art. 184 D. Lgs. 152/2006 e s.m.i.) nel rispetto di tutte le normative sui rifiuti vigenti:

3. Sono rifiuti speciali:

- a) i rifiuti da attività agricole e agro-industriali, ai sensi e per gli effetti dell'**art. 2135 c.c.**; *(lettera così modificata dall'articolo 11 del d.lgs. n. 205 del 2010)*
- b) b) i rifiuti derivanti dalle attività di demolizione, costruzione, nonché i rifiuti che derivano dalle attività di scavo, fermo restando quanto disposto dall'articolo 184-bis;** *(lettera così sostituita dall'articolo 11 del d.lgs. n. 205 del 2010)*
- c) i rifiuti da lavorazioni industriali; *(lettera così modificata dall'articolo 2, comma 21-bis, d.lgs. n. 4 del 2008)*
- d) i rifiuti da lavorazioni artigianali;
- e) i rifiuti da attività commerciali;
- f) i rifiuti da attività di servizio;
- g) i rifiuti derivanti dalla attività di recupero e smaltimento di rifiuti, i fanghi prodotti dalla potabilizzazione e da altri trattamenti delle acque e dalla depurazione delle acque reflue e da abbattimento di fumi;
- h) i rifiuti derivanti da attività sanitarie;

Sulla base del recente **D.P.R. 120/2017 (Art. 23)** è stata disciplinata la possibilità **di disporre il deposito temporaneo, in attesa del conferimento:**

Art. 23.

Disciplina del deposito temporaneo delle terre e rocce da scavo qualificate rifiuti

1. Per le terre e rocce da scavo qualificate con i codici dell'elenco europeo dei rifiuti 17.05.04 o 17.05.03* il deposito temporaneo di cui all'articolo 183, comma 1, lettera *bb*), del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, si effettua, attraverso il raggruppamento e il deposito preliminare alla raccolta realizzati presso il sito di produzione, nel rispetto delle seguenti condizioni:

a) le terre e rocce da scavo qualificate come rifiuti contenenti inquinanti organici persistenti di cui al regolamento (CE) 850/2004 sono depositate nel rispetto delle norme tecniche che regolano lo stoccaggio dei rifiuti contenenti sostanze pericolose e sono gestite conformemente al predetto regolamento;

b) le terre e rocce da scavo sono raccolte e avviate a operazioni di recupero o di smaltimento secondo una delle seguenti modalità alternative: 1) con cadenza almeno trimestrale, indipendentemente dalle quantità in deposito; 2) quando il quantitativo in deposito raggiunga complessivamente i 4000 metri cubi, di cui non oltre 800 metri cubi di rifiuti classificati come pericolosi. In ogni caso il deposito temporaneo non può avere durata superiore ad un anno;

c) il deposito è effettuato nel rispetto delle relative norme tecniche;

d) nel caso di rifiuti pericolosi, il deposito è realizzato nel rispetto delle norme che disciplinano il deposito delle sostanze pericolose in essi contenute e in maniera tale da evitare la contaminazione delle matrici ambientali, garantendo in particolare un idoneo isolamento dal suolo, nonché la protezione dall'azione del vento e dalle acque meteoriche, anche con il convogliamento delle acque stesse.

- **essere qualificato e destinato ad utilizzo come sottoprodotto (terre e rocce da scavo)** ai sensi dell'art. 184 bis comma 1 del *D.Lgs 152/06* e art. 4 del D.P.R. n. 120 del 13/06/2017:

184-bis. Sottoprodotto

(articolo introdotto dall'articolo 12 del d.lgs. n. 205 del 2010)

1. È un sottoprodotto e non un rifiuto ai sensi dell'articolo 183, comma 1, lettera a), qualsiasi sostanza od oggetto che soddisfa tutte le seguenti condizioni:

- a) la sostanza o l'oggetto è originato da un processo di produzione, di cui costituisce parte integrante, e il cui scopo primario non è la produzione di tale sostanza od oggetto;
- b) è certo che la sostanza o l'oggetto sarà utilizzato, nel corso dello stesso o di un successivo processo di produzione o di utilizzazione, da parte del produttore o di terzi;
- c) la sostanza o l'oggetto può essere utilizzato direttamente senza alcun ulteriore trattamento diverso dalla normale pratica industriale;
- d) l'ulteriore utilizzo è legale, ossia la sostanza o l'oggetto soddisfa, per l'utilizzo specifico, tutti i requisiti pertinenti riguardanti i prodotti e la protezione della salute e dell'ambiente e non porterà a impatti complessivi negativi sull'ambiente o la salute umana.

Riguardo le modalità con cui verificare la conformità all'art. 184 bis del D.Lgs 152/06 e s.m.i. ed attuare in fase progettuale ed esecutiva l'utilizzo delle terre e rocce da scavo,

STUDIO GEOLOGICO SCALVINI

Via San Giuseppe 8 – 25017 – LONATO DEL GARDA (BS) Cell. 333.8506030 - Tel 030.618.2811

E mail: damiano@studiotecnicoscalvini.com

PEC: damianoscalvini@epap.sicurezzapostale.it (dal 1.07.22 damianoscalvini@pec.epap.it)

sono negli ultimi anni occorse numerose modifiche legislative soprattutto tra il 2012 ed il 2013.

Ad Agosto 2017 è entrato infine in vigore il **D.P.R. 120/2017 del 13/06/2017** (*Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione terre e rocce da scavo, ai sensi dell'Art.8 del D.L. 12 settembre 2014, n.133, convertito con modificazioni dalla Legge 11 Novembre 2014, n. 164*) che ha introdotto una disciplina completa che sostituisce ed integra la precedente.

In particolare l'**Art. 4** stabilisce i Criteri per qualificare le terre e rocce da scavo come sottoprodotti:

Art. 4.

Criteri per qualificare le terre e rocce da scavo come sottoprodotti

1. In attuazione dell'articolo 184-bis, comma 1, del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, il presente Capo stabilisce i requisiti generali da soddisfare affinché le terre e rocce da scavo generate in cantieri di piccole dimensioni, in cantieri di grandi dimensioni e in cantieri di grandi dimensioni non sottoposti a VIA e AIA, siano qualificati come sottoprodotti e non come rifiuti, nonché le disposizioni comuni ad esse applicabili. Il presente Capo definisce, altresì, le procedure per garantire che la gestione e l'utilizzo delle terre e rocce da scavo come sottoprodotti avvenga senza pericolo per la salute dell'uomo e senza recare pregiudizio all'ambiente.

2. Ai fini del comma 1 e ai sensi dell'articolo 183, comma 1, lettera qq), del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, le terre e rocce da scavo per essere qualificate sottoprodotti devono soddisfare i seguenti requisiti:

a) sono generate durante la realizzazione di un'opera, di cui costituiscono parte integrante e il cui scopo primario non è la produzione di tale materiale;

b) il loro utilizzo è conforme alle disposizioni del piano di utilizzo di cui all'articolo 9 o della dichiarazione di cui all'articolo 21, e si realizza:

1) nel corso dell'esecuzione della stessa opera nella quale è stato generato o di un'opera diversa, per la realizzazione di reinterri, riempimenti, rimodellazioni, rilevati, miglioramenti fondiari o viari, recuperi ambientali oppure altre forme di ripristini e miglioramenti ambientali;

2) in processi produttivi, in sostituzione di materiali di cava;

c) sono idonee ad essere utilizzate direttamente, ossia senza alcun ulteriore trattamento diverso dalla normale pratica industriale;

d) soddisfano i requisiti di qualità ambientale espressamente previsti dal Capo II o dal Capo III o dal Capo IV del presente regolamento, per le modalità di utilizzo specifico di cui alla lettera b).

3. Nei casi in cui le terre e rocce da scavo contengano materiali di riporto, la componente di materiali di origine antropica frammisti ai materiali di origine naturale non può superare la quantità massima del 20% in peso, da quantificarsi secondo la metodologia di cui all'allegato 10. Oltre al rispetto dei requisiti di qualità ambientale di cui al comma 2, lettera d), le matrici materiali di riporto sono sottoposte al test di cessione, effettuato secondo le metodiche di cui al decreto del Ministro dell'ambiente del 5 febbraio 1998, recante «Individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero», pubblicato nel supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 88 del 16 aprile 1998, per i parametri pertinenti, ad esclusione del parametro amianto, al fine di accertare il rispetto delle concentrazioni soglia di contaminazione delle acque sotterranee, di cui alla Tabella 2, Allegato 5, al Titolo 5, della Parte IV, del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, o, comunque, dei valori di fondo naturale stabiliti per il sito e approvati dagli enti di controllo.

Con il **D.P.R. 120/17** (*Regolamento recante disciplina semplificata della gestione terre e rocce da scavo ai sensi dell'art. 8 del D.L. n. 133 12/09/2014 con modificazioni dalla L. 11/11/2014 n. 164*), vigente dal 22/08/2017, si perviene ad un quadro normativo che può essere così sintetizzato:

STUDIO GEOLOGICO SCALVINI

Via San Giuseppe 8 – 25017 – LONATO DEL GARDA (BS) Cell. 333.8506030 - Tel 030.618.2811

E mail: damiano@studiotecnicoscalvini.com

PEC: damianoscalvini@epap.sicurezza postale.it (dal 1.07.22 damianoscalvini@pec.epap.it)

REGIME DI APPLICAZIONE DELL'ART. 184 BIS – D. Lgs. 152/05 e s.m.i.
RIFERIMENTI NORMATIVI

<p>Siti di grandi dimensioni soggetti a VIA e AIA <i>Come definiti nell'articolo 2, comma 1, lettera u del D.P.R. 120/270</i></p>	<p>Siti di piccole dimensioni <i>come definiti nell'articolo 2, comma 1, lettera t del D.P.R. 120/270</i></p> <p>Siti di grandi dimensioni non soggetti a VIA o AIA <i>Come definiti nell'articolo 2, comma 1, lettera v del D.P.R. 120/270</i></p>
<p>Ai sensi dell'art. 8 del D.P.R. 120/17 per verificare il regime di applicazione dell'articolo 184 bis per Siti di grandi dimensioni soggetti a VIA e AIA devono essere rispettati i requisiti di cui all'Art. 4 del D.P.R. 120/17 e si applica il Capo II dello stesso D.P.R. che comprende gli artt. da 9 a 18 solo se, <i>sulla base della caratterizzazione ambientale effettuata in conformità agli allegati 1 e 2 del D.P.R. 120/17 siano soddisfatti i requisiti di qualità ambientale previsti dall'Allegato 4 dello stesso D.P.R. 120/2017 per le modalità di utilizzo specifico.</i></p> <p>Per questi siti si applicano le procedure dell'Allegato 1 e 2 del DPR 120/2017 ed è necessario redigere un Piano di Utilizzo delle terre e rocce da scavo (art. 9 del D.P.R. n. 120 del 13/06/2017 e All. 5) al fine di comprovare la sussistenza dei requisiti da soddisfare affinché i materiali da scavo siano considerati sottoprodotti e non rifiuti (ai sensi dell'Art. 183 c.1 lett. qq del D. Lgs. 152/06 e s.m.i.).</p> <p>Il Piano di Utilizzo deve essere presentato dal proponente all'Autorità Competente ed all'Agenzia di protezione ambientale almeno 90 gg prima dell'inizio dei lavori e, nel caso di opera soggetta a VIA o AIA, prima della conclusione del procedimento.</p> <p>Per la redazione del Piano di Utilizzo è indispensabile l'esecuzione di una caratterizzazione ambientale del sito predisposta con prelievo di campioni di terreno fino alle profondità di scavo e secondo un numero minimo di punti d'indagine pari a 3 (siti con superficie di scavo <2500 mq) ed in ogni caso in stretta conformità con quanto prescritto dagli allegati dello stesso D.P.R. 120/2017.</p>	<p>Ai sensi dell'art. 20 e dell'art. 22 del D.P.R. 120/17 per verificare il regime di applicazione dell'articolo 184 bis per siti di piccole dimensioni < 6000 mc e siti di grandi dimensioni (> 6000 mc) non soggetti a VIA o AIA devono essere rispettati i requisiti di cui all'Art. 4 del D.P.R. 120/17 e si applicano il Capo III (artt. 20 e 21) e Capo IV (art. 22) se il produttore dimostra, qualora siano destinate a recuperi, ripristini, rimodellamenti, riempimenti ambientali o altri utilizzi sul suolo, che <u>non siano superati i valori delle concentrazioni soglia di contaminazione di cui alle colonne A e B, Tabella 1, Allegato 5, al Titolo V, della Parte IV, del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, con riferimento alle caratteristiche delle matrici ambientali e alla destinazione d'uso urbanistica del sito di destinazione, e che le terre e rocce da scavo non costituiscono fonte diretta o indiretta di contaminazione per le acque sotterranee, fatti salvi i valori di fondo naturale.</u></p> <p>Per la gestione delle terre e rocce da scavo il produttore attesta il rispetto dei requisiti richiesti mediante la predisposizione e la trasmissione della dichiarazione di cui all'Art. 21 - Dichiarazione di utilizzo per i cantieri di piccole dimensioni secondo le procedure e le modalità indicate negli articoli 20 e 21. (All. 6 alla D.P.R. 120/2017) da trasmettere almeno 15 gg prima dell'inizio lavori di scavo al comune del sito di produzione ed all'Agenzia di protezione ambientale territorialmente competente (ARPA).</p>
<p>Per tutti i tipi di sito si applicano gli Artt. 4, 5, 6 e 7 del D.P.R. 120/2017 e pertanto in particolare:</p> <ul style="list-style-type: none"> • devono essere verificati i requisiti di qualità ambientale dei materiali di scavo mediante una procedura di caratterizzazione chimico fisica e accertamento delle qualità ambientali in applicazione dell'Allegato 4 al D.P.R. 120/2017 con prelievo di campioni di terreno e successiva analisi chimica. • Deve essere utilizzato il Modulo di trasporto di cui all'Allegato 7 al D.P.R. 120/2017 • Deve essere prodotta la Dichiarazione di Avvenuto Utilizzo (DAU – Allegato 8 al D.P.R. 120/2017) entro i termini di validità del Piano di Utilizzo (siti di grandi dimensioni soggetti a VIA o AIA) o della dichiarazione di cui all'art. 21 (siti di piccole dimensioni o di grandi dimensioni non soggette a VIA o AIA) 	

Vengono inoltre definitivamente abrogati dal D.P.R. 120/2017 il D.M. n. 161 del 10/08/2012, l'art. 184-bis comma 2-bis del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 e gli articoli 41, comma 2, e 41-bis del decreto legge 21 giugno 2013, n. 69, convertito, con modificazioni, dalla legge 9 agosto 2013, n. 98.

Nel caso di **attività da scavo da realizzare in siti oggetto di bonifica** (già caratterizzati ai sensi dell'articolo 242 del D.lgs 152/2006) si applica il Titolo V (Artt.

STUDIO GEOLOGICO SCALVINI

Via San Giuseppe 8 – 25017 – LONATO DEL GARDA (BS) Cell. 333.8506030 - Tel 030.618.2811

E mail: damiano@studiotecnicoscalvini.com

PEC: damianoscalvini@epap.sicurezzaepapale.it (dal 1.07.22 damianoscalvini@pec.epap.it)

25 e 26) e risulterà necessario un ***piano di dettaglio*** comprensivo della lista degli analiti da ricercare concordato con ARPA; quest'ultima rilascia parere ed eventuali prescrizioni entro 30 gg dalla presentazione della richiesta. Il proponente 30 gg prima dell'avvio dei lavori trasmette e predispone di un *piano operativo degli interventi* e dettagliato cronoprogramma con indicazione della data di inizio lavori (art. 25 D.P.R. 120/17). Sarà necessario in ogni caso garantire la conformità dei materiali da scavo alle CSC per la specifica destinazione d'uso o ai valori di fondo naturale (art. 26 D.P.R. 120/17).

Si ritiene pertanto opportuno per l'intervento di progetto, laddove sia verificata la mancanza di procedure VIA o AIA, **scegliere la procedura di utilizzo (in situ o fuori situ ovvero quale rifiuto speciale) e definire la normativa più idonea da adottare.**

Alla luce del quadro normativo esposto, sia in caso di utilizzo entro sito che riutilizzo fuori sito viene richiesta la **predisposizione di analisi chimiche dei terreni**; in funzione alle procedure prettamente tecniche e qualificate richieste dal D.P.R. 120/2017 si consiglia vivamente di predisporre un **Piano di Caratterizzazione Ambientale sotto la direzione del Geologo e/o di idonea figura professionale** che potrà essere utilizzato, comunque, sia ai sensi del Capo III e IV del D.P.R. 120/2017 per l'applicazione del regime di art. 184 bis del D. Lgs. 152/06 e s.m.i. (ri-utilizzo fuori sito) sia ai sensi del Titolo IV del D.P.R.120/2017 per la verifica dei "suoli non contaminati" per l'applicazione del regime dell'art. 185 del D. Lgs. 152/06 e s.m.i. (ri-utilizzo in sito).

11. ELEMENTI PER LE VERIFICHE DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI

Secondo i metodi ed i criteri richiesti dall'ormai non più vigente **D.M. 11/03/88**, il calcolo della **pressione ammissibile** (P_{amm}) dei terreni di fondazione, riferita alla resistenza al taglio, veniva eseguito applicando al valore della **pressione limite** (P_{lim}) o pressione a rottura del terreno un coefficiente di sicurezza non inferiore a 3.

Il **D.M. 17/01/18** comporta metodologie di calcolo articolate in maniera alquanto differente. In particolare vengono introdotte innovazioni riguardo la valutazione della sicurezza e delle prestazioni delle opere interagenti con i terreni e con le rocce. La valutazione della sicurezza è quindi intesa in termini di stati limite per tutte le ipotizzabili situazioni di funzionamento, così come riassunti al par 2.2.1 e 2.2.2 del DM citato.

Nel caso di dimensionamento di **STRUTTURE DI FONDAZIONE SUPERFICIALI** (par 6.4.2), ciò comporta l'analisi agli **Stati Limite Ultimi (SLU)** nei confronti di:

- SLU di tipo geotecnico (GEO)
 - Collasso per carico limite dell'insieme fondazione terreno;
 - Collasso per scorrimento del piano di posa;
 - Stabilità globale.
- SLU di tipo strutturale (STR)
 - Raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali.

L'analisi può essere condotta dal progettista, a seconda dei casi, secondo due approcci progettuali evidenziati al par. 6.4.2.1., definiti dalla diversa combinazione di coefficienti parziali γ_M (M1 e M2), γ_R (R1, R2, R3), γ_F (A1 e A2), e schematizzati nella seguente tabella:

Verifica	APPROCCIO PROGETTUALE	Tabelle di riferimento del D.M. 17/01/*18	Tabelle di riferimento del D.M. 17/01/18	
SLU (GEO)		STATICA	SISMICA (SLV)	
Collasso per carico limite	App. 2 (A1+M1+R3)	A1: Tab. 6.2.I M1: Tab. 6.2.II R3: Tab. 6.4.I	A1=1	R3: 2,3 (Tab. 7.11.II)
Collasso per scorrimento sul piano di posa			M1=1	R3: 1,1 (Tab. 7.11.II)
Stabilità globale	App.1 - Comb. 2 (A2+M2+R2)	A2: Tab. 6.2.I M2: Tab. 6.2.II R2: Tab. 6.8.I	A2=1 M2: 1 R2: Tab. 6.8.I	
SLU (STR)				
Raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali	App. 2 (A1+M1+R3)	A1: Tab. 6.2.I M1: Tab. 6.2.II R3: 1	A1=1 M1: 1 R3: 2,3 (Tab. 7.11.II)	

Il Progettista dovrà verificare che per ogni stato limite ultimo sia rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove:

- E_d è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione
- R_d è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico

In mancanza di espresse indicazioni, sotto l'effetto delle Azioni Sismiche, il rispetto di tutti gli **Stati Limite Ultimi** è considerato conseguito qualora siano rispettate le verifiche relative al solo **Stato Limite di Salvaguardia di Vita (SLV)**. (par.7.1. del D.M. 17/01/18).

Inoltre, la progettazione di strutture soggette ad azioni sismiche dovrà prevedere l'uso dei coefficienti parziali γ_F posti pari ad 1. (Cap 7.11.1 del D.M. 17/01/18).

Analoga verifica andrà condotta anche per i possibili **Stati Limite di Esercizio (SLE)**, definiti nei vari capitoli di riferimento del DM 17/01/18

L'analisi può essere condotta dal progettista, secondo quanto schematizzato nella seguente tabella:

SLE		STATICA	SISMICA (SLD)	
Collasso per carico limite	App. 2 (A1+M1+R3)	$A1=1$ $M1: 1$ $R3: \text{Tab. 6.4.I}$	$A1=1$ $M1=1$	$R3: 2,3$ (Tab. 7.11.II)
Collasso per scorrimento sul piano di posa				$R3: 1,1$ (Tab. 7.11.II)

Il Progettista dovrà quindi verificare che sia rispettata la condizione:

$$E_d \leq C_d$$

dove:

- E_d è il valore di progetto dell'effetto dell'azione
- C_d è il prescritto valore limite dell'effetto delle azioni

In mancanza di espresse indicazioni, sotto l'effetto delle Azioni Sismiche, il rispetto di tutti gli Stati Limite di Esercizio è considerato conseguito qualora siano rispettate le verifiche relative al solo **Stato Limite di Danno (SLD)**. (par.7.1. del D.M. 17/01/18)

11.1. Verifica di predimensionamento delle strutture di fondazione

I calcoli per la stima della P_{lim} sono stati eseguiti in funzione di una **fondazione NASTRIFORME con profondità di posa pari a -1,50 m** dal p.c.

L'incastro di fondazione D viene assunto pari a 0,50 m.

Per i successivi calcoli di queste strutture vengono utilizzati i seguenti parametri geotecnici, relativi al piano di posa della fondazione:

DATI GEOTECNICI		
STRATO SOPRA PIANO DI FONDAZIONE	Valori	Metodo di calcolo
Angolo d'attrito (Φ)	28,8°	(Meyerhof)
Peso di volume (γ)	19,00 kN/m ³	-
Coesione non drenata (c_u)	---	(Sanglerat)
Coesione drenata (c')	---	(Sanglerat)
STRATO SOTTO PIANO DI FONDAZIONE	Valori	Metodo di calcolo
Angolo d'attrito (Φ)	28,8°	(Meyerhof)
Peso di volume (γ)	19,00 kN/m ³	-
Coesione non drenata (c_u)	---	(Sanglerat)
Coesione drenata (c')	--	(Sanglerat)
RISPOSTA SISMICA LOCALE		
Categoria di Sottosuolo (di progetto: cap.6.1.)	C	
Categoria Topografica	T1	
	<i>SLE (SLD)</i>	<i>SLU (SLV)</i>
a_g di progetto	0,050	0,097
S_s (vedi cap 7.5)	1,50 - 1,80	1,50
C_c (vedi cap 7.5=	1,622 - 2,416	1,521
S_T	1,00	
$a_{g\ max}=a_g S_s S_T$		0,1455 g

11.2.Elementi per le verifiche degli Stati Limite Ultimi

Il calcolo della **resistenza** R_d deve essere effettuato quantificando la P_{lim} mediante l'applicazione ai parametri geotecnici dei coefficienti parziali γ_M secondo le combinazioni M1 ed M2 (Tab. 6.2.II del D.M. 17/01/18) e l'applicazione dei coefficienti parziali γ_R secondo le combinazioni R1, R2 ed R3 (Tab. 6.4.I del D.M. 17/01/18) in finzione dell'approccio progettuale utilizzato.

- Per il calcolo della P_{lim} , riferito alla resistenza al taglio, si è utilizzato il criterio di **Brinch-Hansen modificato** (1970), utilizzato per terreni granulari ($c=0$, $\phi>0$).
- Nel calcolo si è tenuto conto delle **sollecitazioni indotte da un evento sismico** attraverso l'applicazione degli opportuni coefficienti (z_n), (vedi allegato "Metodologie di calcolo").
- Le dimensioni di fondazione qui considerate ed i valori di R_D qui calcolati vanno considerati come **valori limite**, comprensivi quindi delle eventuali eccentricità dei carichi dovute sia all'azione dei momenti agenti sulle strutture in verifica statica sia all'azione dei momenti e delle azioni di taglio in verifica sismica.

FONDAZIONE NASTRIFORME profondità di posa pari a -1,50 m
STATICA

	$P_{lim}(M1)$		$P_{lim}(M2)$		APPROCCIO 1 COMBINAZIONE 2		APPROCCIO 2	
					$R_D(M2+R2)$ STABILITA' GLOBALE		$R_D(M1+R3)$ COLLASSO PER CARICO LIMITE FONDAZIONE- TERRENO	
	$\gamma_M = 1$ (Tab. 6.2.II)		$\gamma_M > 1$ (Tab. 6.2.II)		$\gamma_R = 1,1$ (Tab. 6.8.I)		$\gamma_R = 2,3$ (Tab. 6.4.I)	
B (m)	<i>kPa</i>	<i>Kg/cmq</i>	<i>kPa</i>	<i>Kg/cmq</i>	<i>kPa</i>	<i>Kg/cmq</i>	<i>kPa</i>	<i>Kg/cmq</i>
2,50	487,44	4,97	243,30	2,48	221,18	2,25	211,93	2,16

FONDAZIONE NASTRIFORME profondità di posa pari a -1,50 m
CON SISMA (effetto cinematico)

	$P_{lim}(M1)$		$P_{lim}(M2)$		APPROCCIO 1 COMBINAZIONE 2		APPROCCIO 2	
					$R_D(M2+R2)$ STABILITA' GLOBALE		$R_D(M1+R3)$ COLLASSO PER CARICO LIMITE FONDAZIONE- TERRENO	
	$\gamma_M = 1$ (Tab. 6.2.II)		$\gamma_M > 1$ (Tab. 6.2.II)		$\gamma_R = 1,1$ (Tab. 6.8.I)		$\gamma_R = 2,3$ (Tab. 6.4.I)	
B (m)	<i>kPa</i>	<i>Kg/cmq</i>	<i>kPa</i>	<i>Kg/cmq</i>	<i>kPa</i>	<i>Kg/cmq</i>	<i>kPa</i>	<i>Kg/cmq</i>
2,50	480,60	4,90	239,46	2,44	217,69	2,22	208,96	2,13

Le analisi strutturali per la definizione delle Azioni di progetto dovranno quindi essere svolte dal Progettista impiegando, in linea generale, i coefficienti parziali γ_F (o γ_E) secondo le combinazioni A1 e A2 (Tab. 6.2.I del D.M. 17/01/18).

Si rammenta che la progettazione di strutture soggette ad azioni sismiche dovrà prevedere comunque l'uso dei coefficienti parziali γ_F posti pari ad 1. (Cap 7.11.1 del D.M. 17/01/18 e Cap. C.7.11.5.3.1 della Circ. 617/09)

Il Progettista dovrà infine verificare che per ogni stato limite ultimo sia rispettata la condizione:

$$Ed \leq Rd$$

dove:

- E_d è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione
- R_d è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico

11.3. Elementi per le verifiche agli Stati Limite d'Esercizio (SLE) – Stima dei cedimenti

Per le verifiche delle strutture allo Stato Limite d'Esercizio (SLE) bisogna in ogni caso tener conto dei cedimenti massimi verificabili in funzione dei carichi di progetto (P_{prog}).

In mancanza di espresse indicazioni, sotto l'effetto delle Azioni Sismiche, il rispetto di tutti gli Stati Limite di Esercizio è considerato conseguito qualora siano rispettate le verifiche relative al solo Stato Limite di Danno (SLD). (par.7.1. del D.M. 17/01/18)

STUDIO GEOLOGICO SCALVINI

Via San Giuseppe 8 – 25017 – LONATO DEL GARDA (BS) Cell. 333.8506030 - Tel 030.618.2811

E mail: damiano@studiotecnicoscalvini.com

PEC: damianoscalvini@epap.sicurezzaepapale.it (dal 1.07.22 damianoscalvini@pec.epap.it)

Il calcolo dei cedimenti è stato eseguito con la formula di **Burland-Burbidge (1982)** (vedi allegato “Metodologie di calcolo”).considerando un **valore di N_{SPT} medio sotto il piano di fondazione pari a 9.**

FONDAZIONE NASTRIFORME profondità di posa pari a -1,50 m

B (m)	$P_{prog-eser}$ kPa	$P_{prog-eser}$ kg/cmq	Cedimento (mm) a 20 anni (s20)
2,50	78	0,80	11
	88	0,90	14
	98	1,00	16
	108	1,10	19
	118	1,20	22
	120	1,22	22
	137	1,40	27
	147	1,50	29

Le dimensioni di fondazione qui considerate ed i valori di $P_{prog-eser}$ (C_d) qui calcolati vanno considerati comprensivi delle eventuali eccentricità dei carichi dovute sia all'azione dei momenti agenti sulle strutture in verifica statica sia all'azione dei momenti e delle azioni di taglio in verifica sismica.

I valori di $P_{prog-eser}$ (C_d) stimati sono in ogni caso conformi al D.M. 11/03/1988 in cui per le strutture di fondazione viene prescritto al paragrafo “C.4.2”, un fattore di sicurezza (F) non inferiore a 3, laddove $P_{amm} = 1/F \cdot P_{lim}$.

Per i terreni di fondazione sono stati stimati⁴, sulla base dei calcoli dei cedimenti soprariportati in funzione dei carichi di esercizio ipotizzati valori del **coefficiente k di Winkler verticale medio dell'ordine di 0,5-0,7 kg/cm³.**

Si sottolinea che i valori del coefficiente di sottofondazione verticale medio k di Winkler sopra riportati, sono da considerarsi delle stime e quindi del tutto indicativi; il calcolo rigoroso del k di Winkler dovrà necessariamente prevedere l'esecuzione di specifiche prove (prove di carico su piastra).

Si rimanda al Progettista delle strutture l'assunzione in progetto di un valore di cedimenti e del k di Winkler, compresi nel range ipotizzato, anche in funzione delle cautele complessive adottate per la progettazione.

I cedimenti, calcolati per le $P_{prog-eser}$ ipotizzate, potranno essere utilizzati per le verifiche in condizioni di esercizio (SLE), in quanto dovranno risultare compatibili, nelle diverse condizioni di carico, con la funzionalità della struttura in elevato e con la durabilità e l'esercizio dell'opera.

Rimane a discrezione del progettista l'utilizzo di $P_{prog-eser}$ differenti; si rimane altresì disponibili ad un'ulteriore stima dei cedimenti in relazioni a condizioni di carico diverse.

Il Progettista dovrà quindi verificare che per ogni stato limite d'esercizio sia rispettata la condizione:

$$E_d \leq C_d.$$

⁴ Vedi formula in Allegato 3

dove:

- E_d è il valore di progetto dell'effetto dell'azione
- C_d è il prescritto valore limite dell'effetto delle azioni

In nessun caso i valori stimati potranno essere utilizzati per la verifica di fondazioni poggianti su livelli o lenti di materiali a caratteristiche geotecniche scadenti o molto scadenti.

12. COMPATIBILITÀ DELL'INTERVENTO DI PROGETTO CON LE RISULTANZE DELLO STUDIO GEOLOGICO COMUNALE E CON LE NORMATIVE GEOLOGICHE DI FATTIBILITÀ, DI VINCOLO E DI PERICOLOSITÀ SISMICA

Lo Studio Geologico vigente allegato al P.G.T del Comune di Pieve San Giacomo (CR) evidenzia, per l'area oggetto d'indagine, le seguenti **CLASSI DI FATTIBILITÀ**:

- **2 – Fattibilità con modeste limitazioni**

Si riporta stralcio della normativa relativa:

“Per le aree ricadenti in questa classe, qualsiasi intervento edificatorio (...) dovrà essere preceduto da specifiche indagini geologiche e geologico-tecniche, dirette e/o indirette, finalizzate alla documentata ricostruzione del modello geologico del sito e del modello geotecnico del sottosuolo, necessari alla progettazione ed alle verifiche di sicurezza e delle prestazioni delle opere in progetto.

Le analisi geologiche del territorio, i metodi ed i risultati delle indagini geologiche e geologico tecniche realizzate dovranno essere compiutamente esposti e commentati in una relazione geologica ed in una relazione geologico-tecnica o geotecnica.

(...)

Le aree in oggetto ricadono all'interno dello scenario di pericolosità sismica locale PSL Z4a, per il quale la normativa vigente è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e quindi non è necessaria in fase di progettazione l'applicazione del 3° livello di approfondimento, fermo restando l'obbligo del rispetto delle disposizioni riportate in precedenza.

In riferimento agli edifici ed alle opere strategiche e rilevanti di nuova previsione, è obbligatoria l'analisi della liquefazione dei terreni in condizioni sismiche, nel rispetto delle disposizioni del D.M. 14-01-08.

In riferimento a tutte le altre tipologie di opere, sarà compito del tecnico incaricato, a sua discrezione e sotto la propria responsabilità, valutare la possibilità di un'analisi della liquefazione dei terreni in condizioni sismiche qualora la litologia rilevata attraverso le indagini realizzate sia potenzialmente suscettibile al fenomeno.

(...)”

Per quanto riguarda gli **SCENARI DI PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE**, l'area d'indagine risulta inserita entro lo scenario **Z4d - Zona con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale**

L'area interessata dell'edificio di progetto non è compresa in aree soggette a vincolo relative alla pianificazione di bacino del PAI.

L'edificio e le opere di progetto non risultano comunque interessati da vincoli di Polizia Idraulica.

Nell'ambito del P.G.R.A. l'area in esame **NON** è inclusa entro **aree a pericolosità e aree a rischio**.

L'area in esame non risulta inserita in aree sottoposte a Vincolo Idrogeologico.

STUDIO GEOLOGICO SCALVINI

Via San Giuseppe 8 – 25017 – LONATO DEL GARDA (BS) Cell. 333.8506030 - Tel 030.618.2811

E mail: damiano@studiotecnico-scalvini.com

PEC: damianoscalvini@epap.sicurezzaepapale.it (dal 1.07.22 damianoscalvini@pec.epap.it)

Nella presente relazione sono state prese in esame le condizioni geologiche-geomorfologiche ed idrogeologiche dell'area di intervento (Cap. 2) e di quelle ad essa limitrofe ed è stato affrontato un inquadramento sismotettonico e della sismicità dell'area (Cap. 3).

I dati consultati nei dintorni dell'area di intervento e l'indagine geognostica realizzata presso il sito di progetto hanno consentito la ricostruzione con buona precisione del **modello geologico, geomorfologico, idrogeologico e geofisico** del sito.

Si è quindi pervenuti alla definizione del Modello Geologico del Sito ai sensi del par. 6.2.1. del DM 17/01/18 (Cap. 2.2)

Le indagini geotecniche e i dati geotecnici e sismici reperiti e consultati per la presente relazione (Cap. 4) hanno consentito la ricostruzione con buona precisione del **modello geotecnico - geofisico** del sito ai sensi del par. 6.2.2. del DM 17/01/18 (Cap. 5).

In base a tale modello sono state quindi definite la Categoria di Sottosuolo e la Categoria Topografica, che possono essere utilizzate per la stima dell'Azione Sismica e più in generale per la progettazione delle opere.

I dati sismici provenienti dall'indagine MASW eseguita nell'area in esame permettono di classificare il sito in una **categoria di sottosuolo C**.

La valutazione del rischio sismico legata a fattori predisponenti a potenziali fenomeni di amplificazione sismica per effetti litologici effettuata nello Studio Geologico Comunale con **procedure di secondo livello secondo la DGR 8/7374/2008** (oggi sostituita dalla **DGR 9/2616/2011**) ha indicato che i parametri sismici della normativa più recente (DM 17/01/18) relativi alla **categoria di suolo C per lo scenario sismico Z4a** sono sufficientemente cautelativi per edifici con periodo compreso tra **0,1-0,5 s e 0,5-1,5 s**.

In relazione alla natura di edificio pubblico dell'edificio in esame **si è proceduto all'applicazione del 3° livello di approfondimento relativo all'amplificazione litologica** (ai sensi dell'All. 5 della D.G.R. 9/2616/2011, paragrafo 2.3.3) con elaborazione della Risposta Sismica Locale (Cap. 7).

In relazione al modello geotecnico-sismostratigrafico e geomorfologico del sito sono state quindi definite rispetto alla Risposta Sismica del Sito con Metodo Semplificato (Cap.6) la **Categoria di Sottosuolo** e la **Categoria Topografica**, per una prima stima dell'Azione Sismica e per la progettazione delle opere (Cap. 6.1).

Sono quindi stati indicati (Cap. 6.2) gli Spettri di Risposta Elastici ed i Parametri di Pericolosità Sismica definiti dalle normative con l'applicazione delle metodologie semplificate per il sito di progetto (risultati del progetto S1 – INGV). Tenuto conto della tipologia di edificio in progetto (paragrafo 2.4.2 NTC 2018) e della conseguente strategia di progettazione, sono stati definiti i periodi di ritorno T_R , ed i relativi Spettri di Risposta Elastici e quindi i parametri a_g , F_0 e T_c^* , associati a ciascun Stato Limite. Sono stati infine valutati, sempre con la metodologia semplificata, i valori di amplificazione litologica (S_s) e morfologica di sito (S_t) per alcuni Stati Limite (Cap. 6.2).

Sempre in relazione al modello geotecnico-sismostratigrafico e geomorfologico del sito e sulla base delle più specifiche **Analisi di Risposta Sismica del Sito mediante metodo numerico 1D (Cap.7)** ai vari stati Limite sono stati forniti al Progettista i

STUDIO GEOLOGICO SCALVINI

Via San Giuseppe 8 – 25017 – LONATO DEL GARDA (BS) Cell. 333.8506030 - Tel 030.618.2811

E mail: damiano@studiotecnicoscalvini.com

PEC: damianoscalvini@epap.sicurezza postale.it (dal 1.07.22 damianoscalvini@pec.epap.it)

risultati di Output (§7.4) ed i Parametri Sismici specifici di sito (§7.5) che potranno essere convenientemente utilizzati per la progettazione delle strutture.

Per quanto concerne la **stabilità alla liquefazione** (Cap. 8.1) si è ritenuto il sito d'interesse non soggetto ad esclusione alla verifica alla liquefazione ai sensi del D.M. 17/01/18. Per tale sito non sussistono potenziali rischi di liquefazione.

Sulla base del modello geologico-geofisico definito e delle indagini geotecniche esaminate è stato definito inoltre il **modello geotecnico del sito di intervento** (Cap. 5).

Per la progettazione delle opere si rimanda alle indicazioni del Cap. 9

Sono state quindi analizzate le geometrie di fondazione dirette previste, allo scopo di ottenere dei valori dei carichi limite nei casi M1 e M2 e delle resistenze R_d , nonché di ipotizzare l'entità dei cedimenti riferiti ai carichi di esercizio ($P_{\text{prog-eserc}}$), che potranno essere utilizzati nelle verifiche (Cap. 11).

Sulla base di quanto sopradescritto si ritiene che gli edifici di progetto, eseguiti secondo le prescrizioni del presente studio, risultino compatibili con la Classe di Fattibilità Geologica individuata e con le Normative di Vincolo Geologico e di Pericolosità Sismica vigenti e con l'assenza di limitazioni derivanti dal PGRA.

Essendo il modello geologico-geotecnico ipotizzato sulla base di indagini puntuali ed indirette, si richiede la verifica delle ipotesi fatte nella presente relazione con particolare riguardo allo spessore della coltre di materiali di riporto ed all'eventuale presenza di filtrazione idrica.

Si specifica che in adempimento alla normativa vigente (D.M. 17/01/18) la presente relazione geologica-geotecnica può essere utilizzata solo per il sito indicato in premessa ed in riferimento agli interventi progettuali così come definiti nei paragrafi illustrativi (cap. 8) e nelle tavole cartografiche e tecniche e non può essere quindi utilizzata per altri e diversi interventi progettuali successivi, se non previa presa in esame di eventuali nuovi interventi progettuali e di eventuale nuova normativa da parte del professionista Geologo.

Lonato del Garda, 31/01/2023

Dott. Geol. Damiano Scalvini

(RELAZIONE FINALIZZATA ALL'ALTERNATIVE)



STUDIO GEOLOGICO SCALVINI

Via San Giuseppe 8 – 25017 – LONATO DEL GARDA (BS) Cell. 333.8506030 - Tel 030.618.2811

E mail: damiano@studiotecnicoescalvini.com

PEC: damianoscalvini@epap.sicurezzaepap.it (dal 1.07.22 damianoscalvini@pec.epap.it)

COROGRAFIA con ubicazione linea sismica

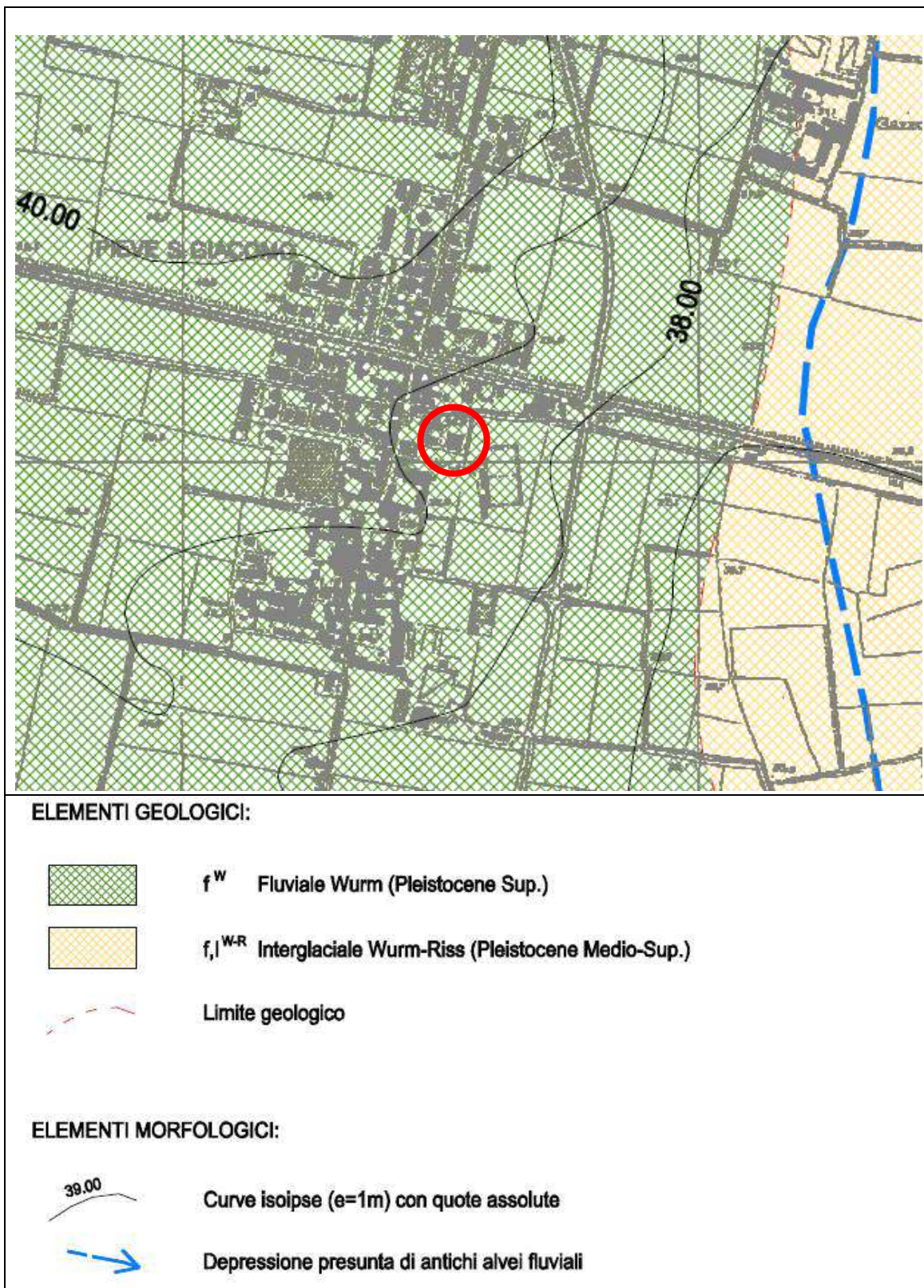


LEGENDA

○ Area d'intervento

CARTA LITOLOGICA

(Estratto della “Componente Geologica Idrogeologica e Sismica del PGT
Pieve San Giacomo, 2010)



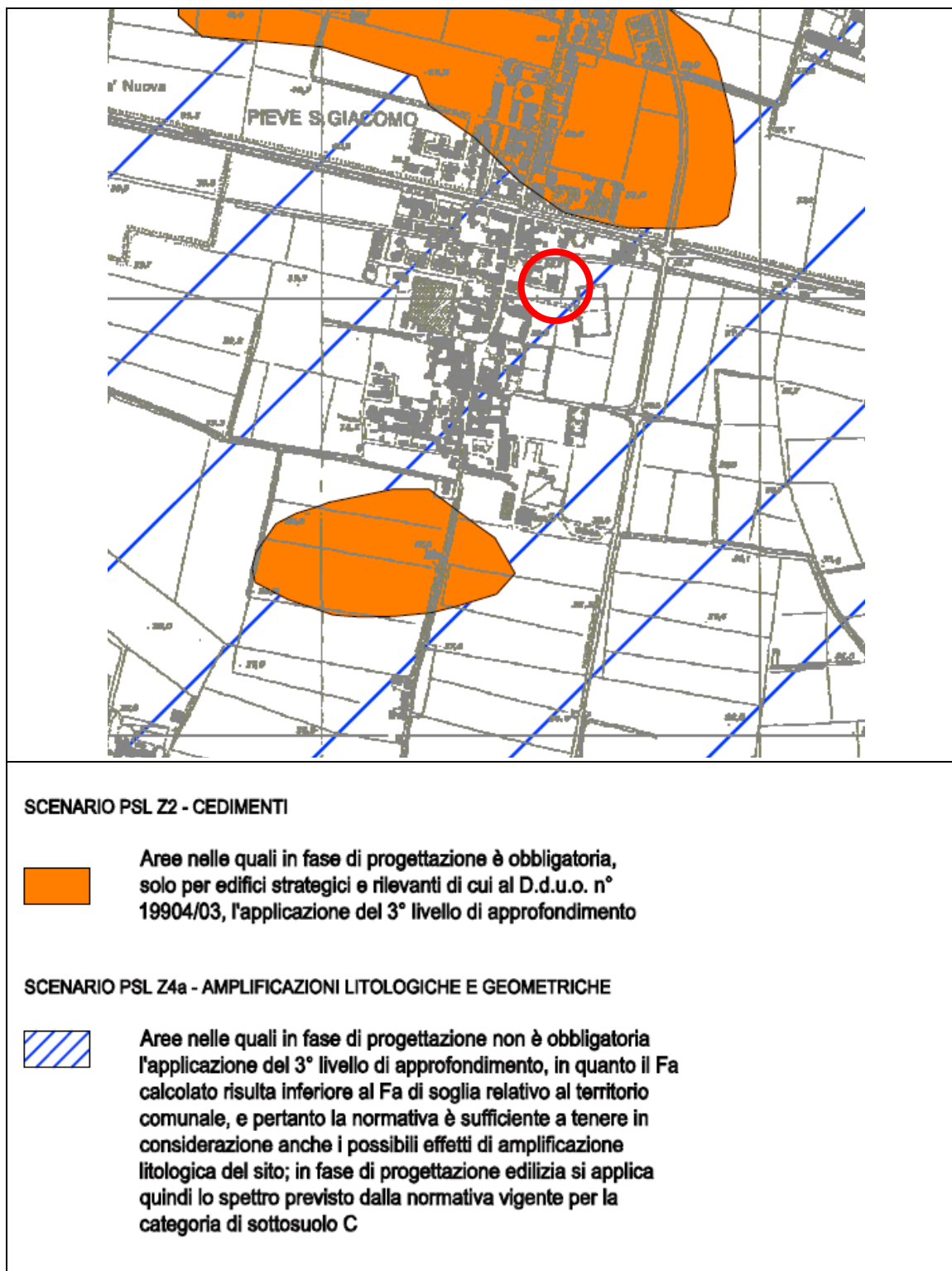
STUDIO GEOLOGICO SCALVINI

Via San Giuseppe 8 – 25017 – LONATO DEL GARDA (BS) Cell. 333.8506030 - Tel 030.618.2811

E mail: damiano@studiotecnicoscalvini.com

PEC: damianoscalvini@epap.sicurezza postale.it (dal 1.07.22 damianoscalvini@pec.epap.it)

CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE 2° livello
(Estratto della “Componente Geologica Idrogeologica e Sismica del PGT
Pieve San Giacomo, 2010)



STUDIO GEOLOGICO SCALVINI

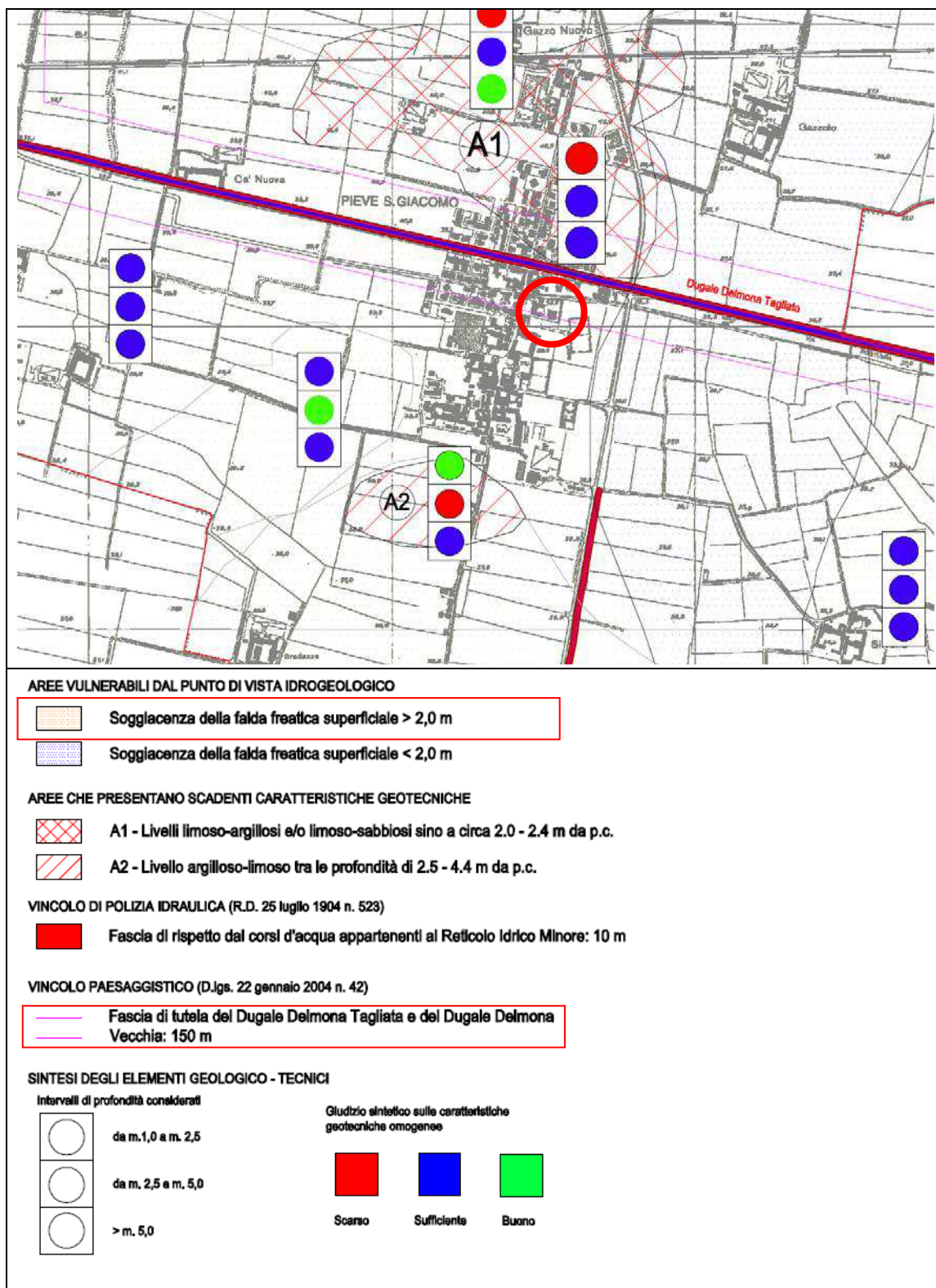
Via San Giuseppe 8 – 25017 – LONATO DEL GARDA (BS) Cell. 333.8506030 - Tel 030.618.2811

E mail: damiano@studiotecnicoscalvini.com

PEC: damianoscalvini@epap.sicurezzaepapale.it (dal 1.07.22 damianoscalvini@pec.epap.it)

CARTA DI SINTESI

(Estratto della “Componente Geologica Idrogeologica e Sismica del PGT
Pieve San Giacomo, 2010)



STUDIO GEOLOGICO SCALVINI

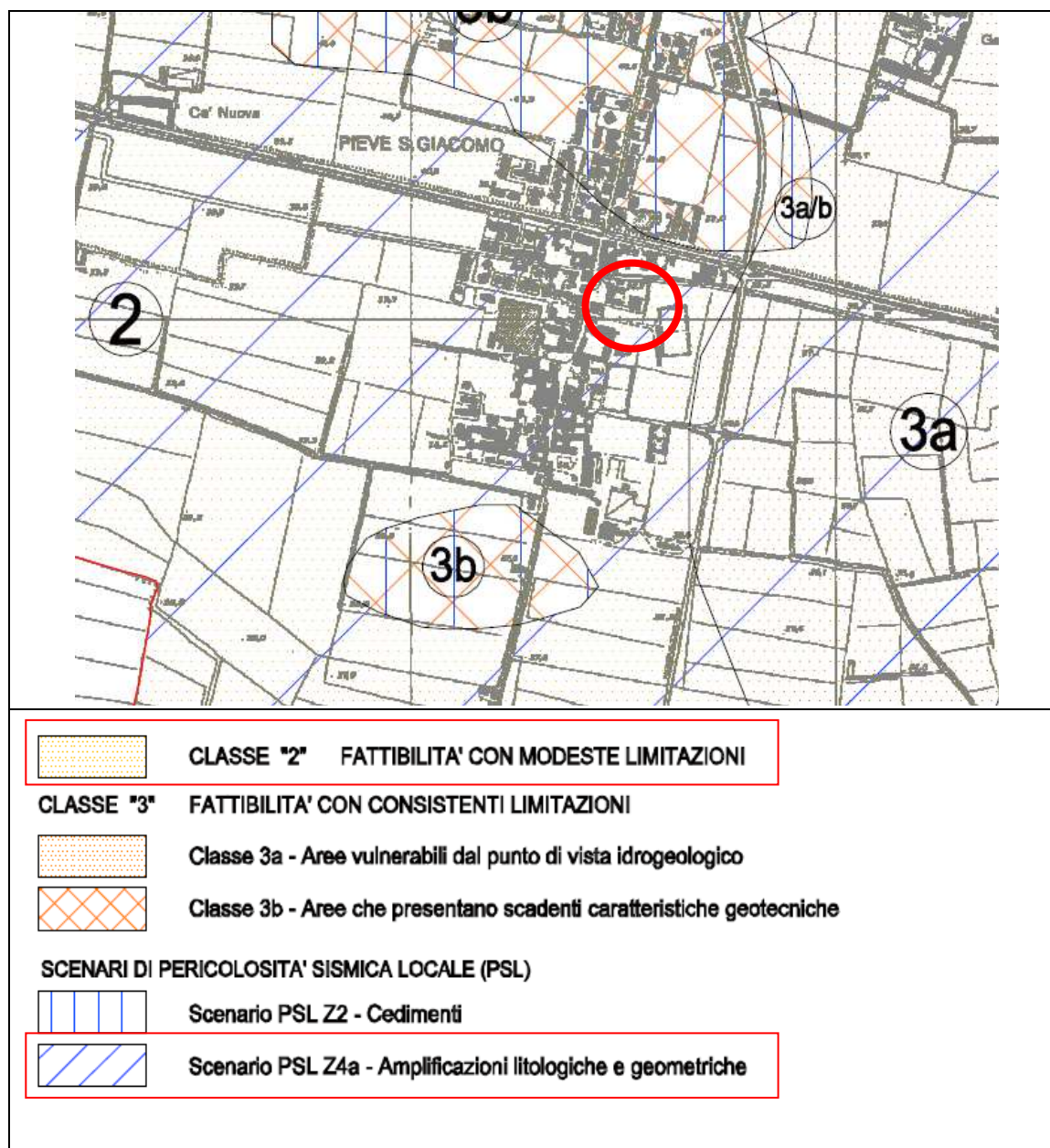
Via San Giuseppe 8 – 25017 – LONATO DEL GARDA (BS) Cell. 333.8506030 - Tel 030.618.2811

E mail: damiano@studiotecnicoescalvini.com

PEC: damianoscalvini@epap.sicurezza postale.it (dal 1.07.22 damianoscalvini@pec.epap.it)

CARTA DELLA FATTIBILITA' GEOLOGICA

(Estratto della "Componente Geologica Idrogeologica e Sismica del PGT"
Pieve San Giacomo, 2010)



STUDIO GEOLOGICO SCALVINI

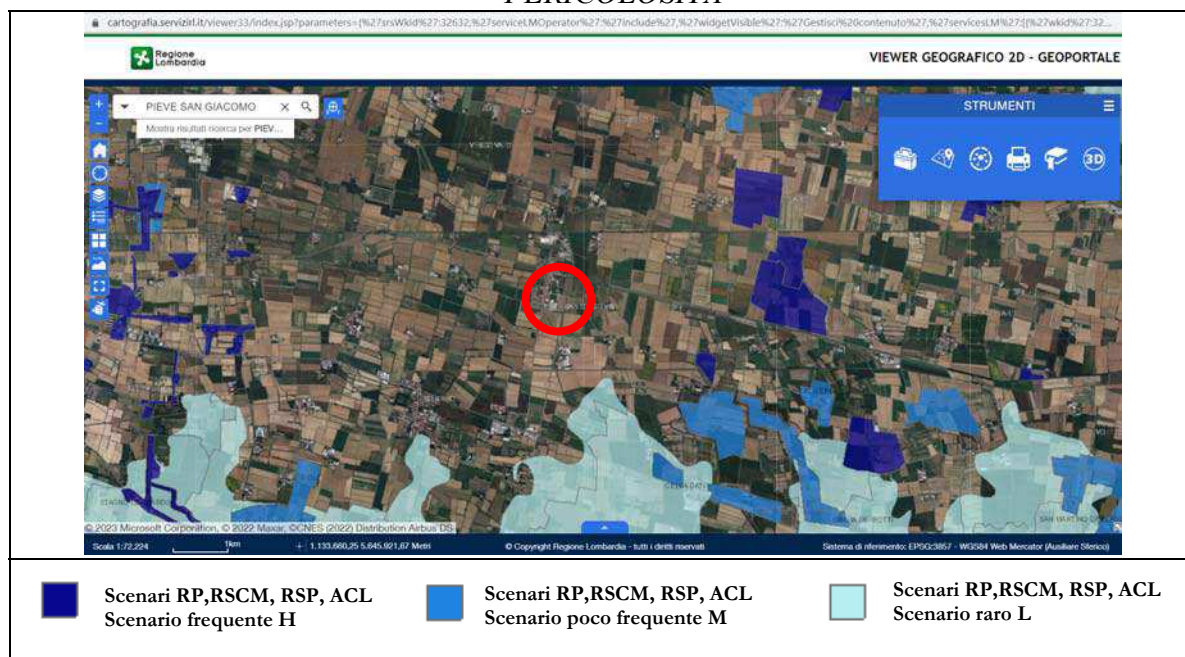
Via San Giuseppe 8 – 25017 – LONATO DEL GARDA (BS) Cell. 333.8506030 - Tel 030.618.2811

E mail: damiano@studiotecnico-scalvini.com

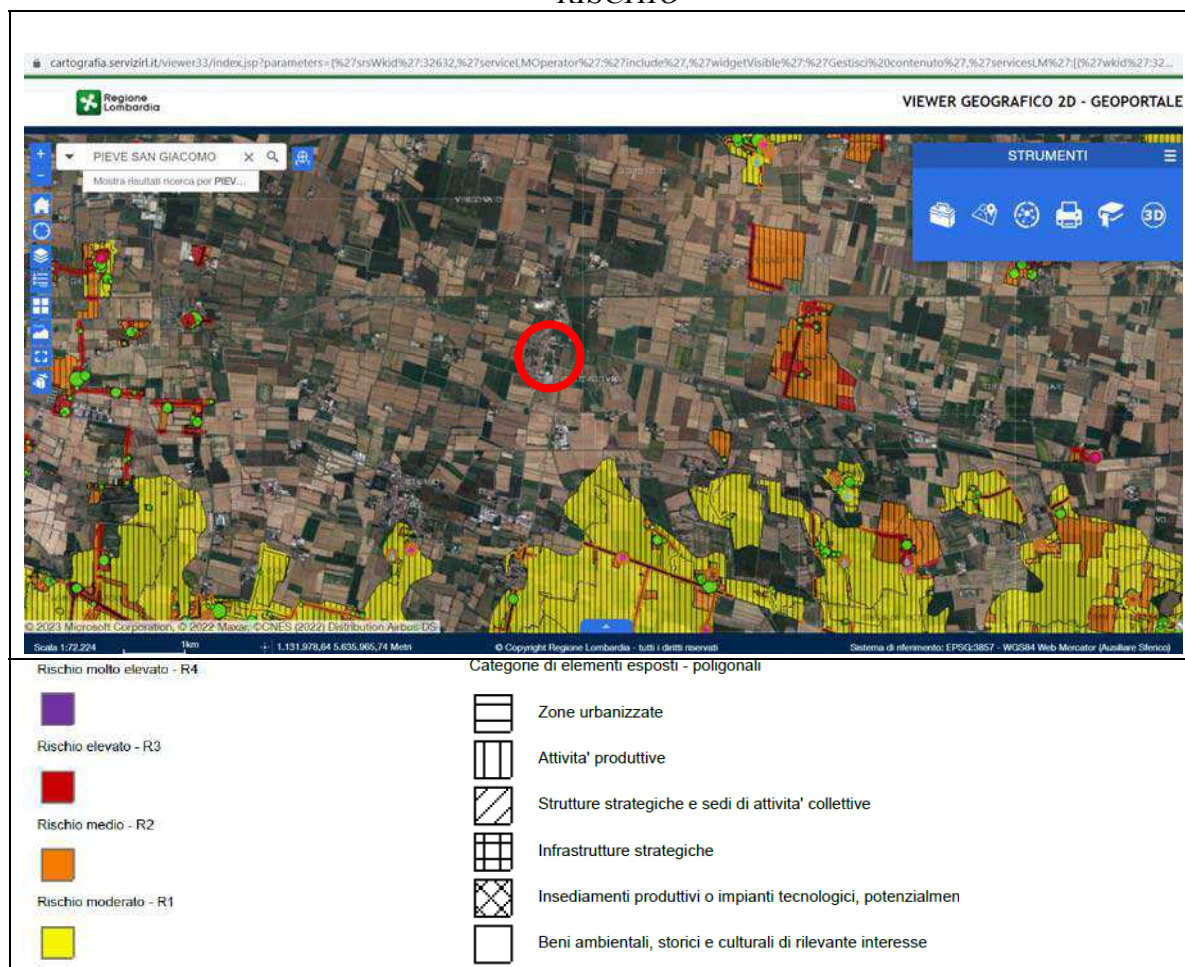
PEC: damianoscalvini@epap.sicurezza-postale.it (dal 1.07.22 damianoscalvini@pec.epap.it)

PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI
Stralcio da *Viewer Geografico - Geoportale – Regione Lombardia*:

PERICOLOSITA'



RISCHIO



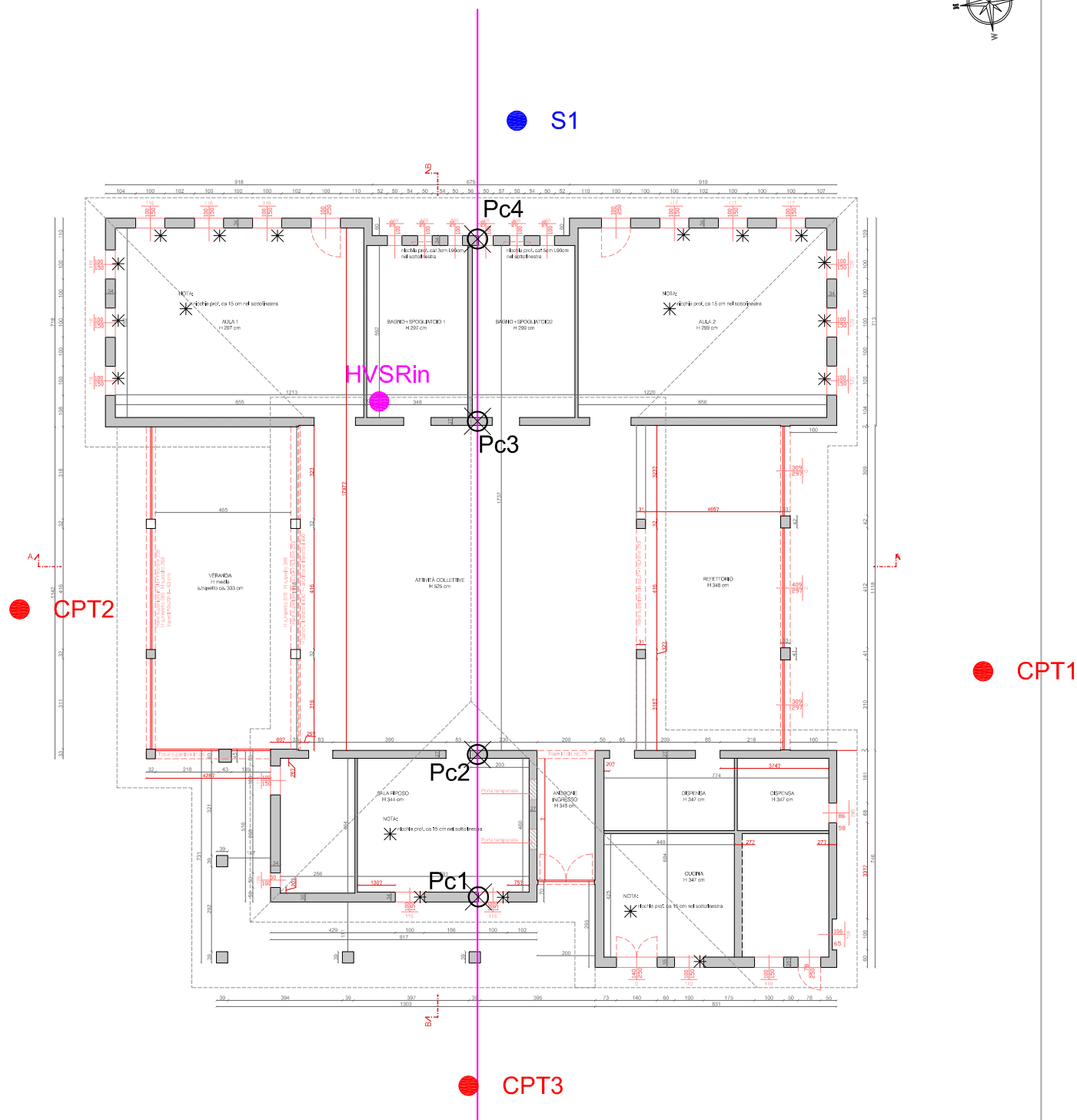
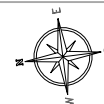
STUDIO GEOLOGICO SCALVINI

Via San Giuseppe 8 – 25017 – LONATO DEL GARDA (BS) Cell. 333.8506030 - Tel 030.618.2811

E mail: damianoscalvini@studiotecnicoscalvini.com

PEC: damianoscalvini@epap.sicurezza postale.it (dal 1.07.22 damianoscalvini@pec.epap.it)

PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI (2016)
SCALA 1:200



LEGENDA

● CPT1 Prova penetrometrica statica (C.P.T.)

● S1 Sondaggio geognostico

● HVSRin Indagine HVSR

Traccia della sezione geotecnica
e di verifica in analisi di 3° Livello

⊗ Pc1
Punti di controllo
dell'analisi di 3° livello

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI	CPT	1
	referimento	005-2016
	certificato n°	
	n° verb. accett.	

Committente: Comune di Pieve San Giacomo (CR)	U.M.: kg/cm²	Data esec.: 23/11/2016
Cantiere: Asilo Comunale	Pagina: 1	Data certificato: 09/12/2016
Località: Pieve San Giacomo - Via Patrioti	Elaborato:	Falda: -3,48 m da p.c.

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Rf %
0,20	11,0	1,0	0,0	11,00	-0,80	-14	-7,3								
0,40	13,0	1,0		13,00	1,47	9	11,3								
0,60	51,0	73,0		51,00	1,27	40	2,5								
0,80	77,0	96,0		77,00	1,47	52	1,9								
1,00	62,0	84,0		62,00	1,80	34	2,9								
1,20	66,0	93,0		66,00	2,93	23	4,4								
1,40	82,0	126,0		82,00	2,27	36	2,8								
1,60	53,0	87,0		53,00	1,67	32	3,2								
1,80	32,0	57,0		32,00	1,07	30	3,3								
2,00	21,0	37,0		21,00	1,20	18	5,7								
2,20	18,0	36,0		18,00	1,13	16	6,3								
2,40	21,0	38,0		21,00	1,20	18	5,7								
2,60	22,0	40,0		22,00	0,80	28	3,6								
2,80	26,0	38,0		26,00	0,87	30	3,3								
3,00	21,0	34,0		21,00	0,73	29	3,5								
3,20	22,0	33,0		22,00	0,67	33	3,0								
3,40	15,0	25,0		15,00	0,87	17	5,8								
3,60	26,0	39,0		26,00	0,80	33	3,1								
3,80	24,0	36,0		24,00	0,87	28	3,6								
4,00	37,0	50,0		37,00	1,00	37	2,7								
4,20	38,0	53,0		38,00	1,93	20	5,1								
4,40	55,0	84,0		55,00	1,73	32	3,1								
4,60	46,0	72,0		46,00	1,00	46	2,2								
4,80	28,0	43,0		28,00	0,40	70	1,4								
5,00	7,0	13,0		7,00	0,80	9	11,4								
5,20	33,0	45,0		33,00	0,93	35	2,8								
5,40	29,0	43,0		29,00	0,93	31	3,2								
5,60	24,0	38,0		24,00	0,67	36	2,8								
5,80	11,0	21,0		11,00	0,80	14	7,3								
6,00	19,0	31,0		19,00	0,73	26	3,8								
6,20	37,0	48,0		37,00	0,73	51	2,0								
6,40	23,0	34,0		23,00	1,00	23	4,3								
6,60	38,0	53,0		38,00	1,13	34	3,0								
6,80	42,0	59,0		42,00	1,00	42	2,4								
7,00	37,0	52,0		37,00	0,93	40	2,5								
7,20	18,0	32,0		18,00	0,40	45	2,2								
7,40	8,0	14,0		8,00	0,33	24	4,1								
7,60	7,0	12,0		7,00	1,27	6	18,1								
7,80	43,0	62,0		43,00	1,27	34	3,0								
8,00	54,0	73,0		54,00	1,67	32	3,1								
8,20	64,0	89,0		64,00	1,67	38	2,6								
8,40	66,0	91,0		66,00	1,67	40	2,5								
8,60	69,0	94,0		69,00	0,80	86	1,2								
8,80	23,0	35,0		23,00	1,07	21	4,7								
9,00	86,0	102,0		86,00	2,33	37	2,7								
9,20	113,0	148,0		113,00	2,27	50	2,0								
9,40	92,0	126,0		92,00	2,40	38	2,6								
9,60	76,0	112,0		76,00	1,47	52	1,9								
9,80	50,0	72,0		50,00	1,47	34	2,9								
10,00	54,0	76,0		54,00	1,53	35	2,8								
10,20	50,0	73,0		50,00	1,60	31	3,2								
10,40	51,0	75,0		51,00	1,47	35	2,9								
10,60	51,0	73,0		51,00	1,13	45	2,2								
10,80	78,0	95,0		78,00	2,13	37	2,7								
11,00	117,0	149,0		117,00	2,53	46	2,2								
11,20	71,0	109,0		71,00	1,87	38	2,6								
11,40	58,0	86,0		58,00	1,80	32	3,1								
11,60	70,0	97,0		70,00	2,33	30	3,3								
11,80	69,0	104,0		69,00	1,67	41	2,4								
12,00	93,0	118,0		93,00	1,93	48	2,1								
12,20	58,0	87,0		58,00	1,53	38	2,6								
12,40	40,0	63,0		40,00	1,67	24	4,2								
12,60	54,0	79,0		54,00	1,07	50	2,0								
12,80	30,0	46,0		30,00	0,73	41	2,4								
13,00	16,0	27,0	0,0	16,00											

H = profondità	qc = resistenza di punta
L1 = prima lettura (punta)	fs = resistenza laterale calcolata
L2 = seconda lettura (punta + laterale)	alla stessa quota di qc
Lt = terza lettura (totale)	F = rapporto Begemann (qc / fs)
CT = 10,00 costante di trasformazione	Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

CPT
1

riferimento

005-2016

certificato n°

n° verb. accett.

 Committente: **Comune di Pieve San Giacomo (CR)**

 Cantiere: **Asilo Comunale**

 Località: **Pieve San Giacomo - Via Patrioti**

 U.M.: **kg/cm²**

 Scala: **1:75**

 Pagina: **1**

Elaborato:

 Data esec.: **23/11/2016**

 Data certificato: **09/12/2016**

Quota inizio:

 Falda: **-3,48 m** da p.c.

 Litologia: **Begemann [qc + qc/fs] 4 Zone**

 Penetrometro: **TG63-200S**

Responsabile:

Assistente:

 Preforo: **m**

 Corr.astine: **kg/ml**

Cod. punta:

FON079

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT
1

riferimento

005-2016

certificato n°

n° verb. accett.

 Committente: **Comune di Pieve San Giacomo (CR)**

 Cantiere: **Asilo Comunale**

 Località: **Pieve San Giacomo - Via Patrioti**

 U.M.: **kg/cm²**

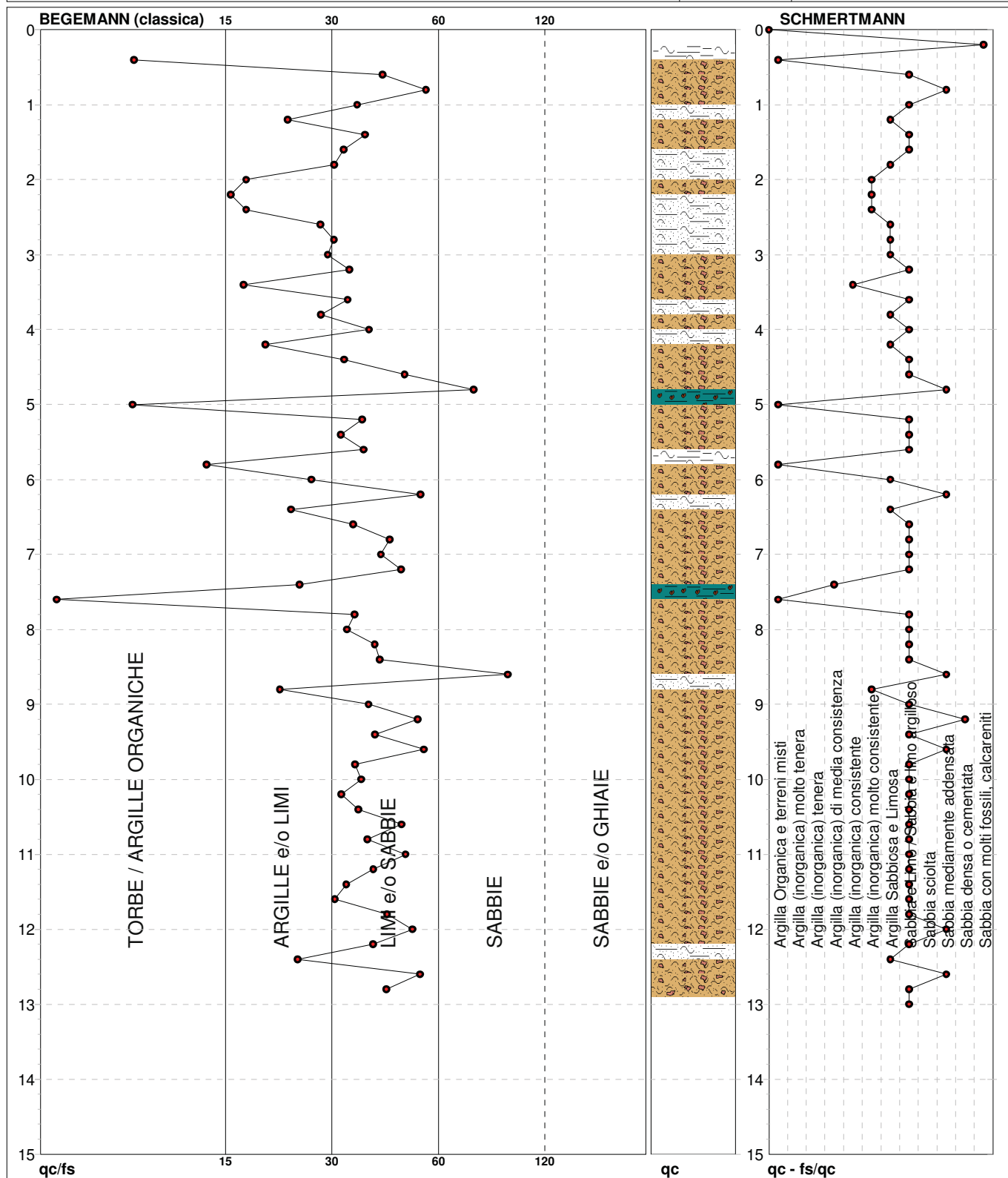
 Data esec.: **23/11/2016**

 Scala: **1:75**

 Data certificato: **09/12/2016**

 Pagina: **1**

Elaborato:

 Falda: **-3,48 m** da p.c.


Torbe / Argille org. :

5 punti, 6,76%

Argille e/o Limi :

16 punti, 21,62%

Limi e/o Sabbie :

41 punti, 55,41%

Sabbie:

2 punti, 2,70%

Argilla Organica e terreni misti:

4 punti, 5,41%

Argilla (inorganica) media consist.:

1 punti, 1,35%

Argilla (inorganica) consistente:

1 punti, 1,35%

Argilla (inorganica) molto consist.:

4 punti, 5,41%

Argilla Sabbiosa e Limosa:

10 punti, 13,51%

Sabbia e Lino / Sabbia e limo arg.:

35 punti, 47,30%

Sabbia mediamente addensata:

7 punti, 9,46%

Sabbia densa o cementata:

1 punti, 1,35%

Sabbia con molti fossili, calcareniti:

1 punti, 1,35%

FON079

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA PARAMETRI GEOTECNICI	CPT	1
	riferimento	005-2016
	certificato n°	
	n° verb.accett.	

Committente: Comune di Pieve San Giacomo (CR)	U.M.: kg/cm²	Data eseg.: 23/11/2016
Cantiere: Asilo Comunale	Pagina: 1	Data certificato: 09/12/2016
Località: Pieve San Giacomo - Via Patrioti	Elaborato:	Falda: -3,48 m da p.c.

Prof. m	qc U.M.	qc/fs	zone	γ' t/m³	σ'vo U.M.	Vs m/s	NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE																		
							Cu U.M.	OCR %	Eu50 U.M.	Eu25 U.M.	Mo U.M.	Dr %	Sc (°)	Ca (°)	Ko (°)	DB (°)	DM (°)	Me (°)	FL1	FL2	E'50 U.M.	E'25 U.M.	Mo U.M.							
0.20	11.00	--	3	1.83	0.04	140	--	--	--	--	--	77	40	38	35	33	42	26	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.40	13.00	8.84	2	1.93	0.08	141	0.60	85,1	102,8	154,2	46,5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.60	51.00	40.16	3	1.92	0.11	161	--	--	--	--	--	100	43	40	38	35	43	31	--	--	--	--	--	--	--	--	85,0	127,5	153,0	--
0.80	77.00	52.38	3	1.96	0.15	174	--	--	--	--	--	100	43	41	38	36	44	33	--	--	--	--	--	--	--	--	128,3	192,5	231,0	--
1.00	62.00	34.44	3	1.94	0.19	166	--	--	--	--	--	96	43	38	36	33	42	32	--	--	--	--	--	--	--	--	103,3	155,0	186,0	--
1.20	66.00	22.53	4	2.02	0.23	168	2.20	99,9	374,0	561,0	198,0	93	42	38	35	33	42	32	--	--	--	--	--	--	--	--	110,0	165,0	198,0	--
1.40	82.00	36.12	3	1.97	0.27	177	--	--	--	--	--	97	43	38	36	33	42	33	--	--	--	--	--	--	--	--	136,7	205,0	246,0	--
1.60	53.00	31.74	3	1.92	0.31	162	--	--	--	--	--	79	41	35	33	30	39	31	--	--	--	--	--	--	--	--	88,3	132,5	159,0	--
1.80	32.00	29.91	4	1.97	0.35	151	1.07	25,4	181,3	272,0	96,0	59	38	32	29	27	36	29	--	--	--	--	--	--	--	--	53,3	80,0	96,0	--
2.00	21.00	17.50	4	1.93	0.39	145	0.82	16,1	140,0	210,0	63,0	41	36	30	27	25	34	27	--	--	--	--	--	--	--	--	35,0	52,5	63,0	--
2.20	18.00	15.93	2	1.98	0.43	143	0.75	12,7	127,5	191,3	56,2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2.40	21.00	17.50	4	1.93	0.47	145	0.82	12,8	140,0	210,0	63,0	37	36	29	26	24	33	27	--	--	--	--	--	--	--	--	35,0	52,5	63,0	--
2.60	22.00	27.50	4	1.93	0.50	145	0.85	12,0	143,8	215,8	66,0	37	36	29	25	24	32	28	--	--	--	--	--	--	--	--	36,7	55,0	66,0	--
2.80	26.00	29.89	4	1.95	0.54	148	0.93	12,3	157,9	236,8	78,0	41	36	29	26	24	33	28	--	--	--	--	--	--	--	--	43,3	65,0	78,0	--
3.00	21.00	28.77	4	1.93	0.58	145	0.82	9,7	140,9	211,4	63,0	32	35	28	24	23	31	27	--	--	--	--	--	--	--	--	35,0	52,5	63,0	--
3.20	22.00	32.84	3	1.86	0.62	145	--	--	--	--	--	32	35	28	24	23	31	28	--	--	--	--	--	--	--	--	36,7	55,0	66,0	--
3.40	15.00	17.24	2	1.95	0.66	142	0.67	6,4	170,7	256,1	49,5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3.60	26.00	32.50	3	0.87	0.68	148	--	--	--	--	--	35	35	28	25	23	32	28	>2,00	>2,00	43,3	65,0	78,0	--	--	--	--	--	--	--
3.80	24.00	27.59	4	0.94	0.69	146	0.89	8,6	164,7	247,0	72,0	32	35	27	24	23	31	28	>2,00	>2,00	40,0	60,0	72,0	--	--	--	--	--	--	--
4.00	37.00	37.00	3	0.89	0.71	153	--	--	--	--	--	46	37	29	26	25	33	30	>2,00	>2,00	61,7	92,5	111,0	--	--	--	--	--	--	--
4.20	38.00	19.69	4	0.99	0.73	154	1,27	12,5	215,3	323,0	114,0	46	37	29	26	25	33	30	>2,00	>2,00	63,3	95,0	114,0	--	--	--	--	--	--	--
4.40	55.00	31.79	3	0.93	0.75	163	--	--	--	--	--	58	38	31	28	26	35	31	>2,00	>2,00	91,7	137,5	165,0	--	--	--	--	--	--	--
4.60	46.00	46.00	3	0.91	0.77	158	--	--	--	--	--	52	37	30	27	25	34	31	>2,00	>2,00	76,7	115,0	138,0	--	--	--	--	--	--	--
4.80	28.00	70.00	3	0.87	0.79	149	--	--	--	--	--	34	35	28	24	23	31	28	>2,00	>2,00	46,7	70,0	84,0	--	--	--	--	--	--	--
5.00	7.00	8.75	1	0.46	0.80	138	0.35	2,3	40,6	60,9	10,5	--	--	--	--	--	--	--	>2,00	>2,00	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
5.20	33.00	35.48	3	0.88	0.81	151	--	--	--	--	--	39	36	28	25	24	32	29	>2,00	>2,00	55,0	82,5	99,0	--	--	--	--	--	--	--
5.40	29.00	31.18	3	0.87	0.83	149	--	--	--	--	--	34	35	27	24	23	31	29	>2,00	>2,00	48,3	72,5	87,0	--	--	--	--	--	--	--
5.60	24.00	35.82	3	0.86	0.85	146	--	--	--	--	--	27	34	26	23	22	30	28	>2,00	>2,00	40,0	60,0	72,0	--	--	--	--	--	--	--
5.80	11.00	13.75	2	0.91	0.87	140	0.54	3,5	243,8	365,7	42,5	--	--	--	--	--	--	--	>2,00	>2,00	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.00	19.00	26.03	3	0.99	0.89	144	0.78	5,3	241,7	362,5	58,1	--	--	--	--	--	--	--	>2,00	>2,00	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6.20	37.00	50.68	3	0.89	0.90	153	--	--	--	--	--	40	36	28	25	24	32	30	>2,00	>2,00	61,7	92,5	111,0	--	--	--	--	--	--	--
6.40	23.00	23.00	4	0.94	0.92	146	0,87	5,8	246,2	369,2	69,0	23	34	26	23	21	29	28	>2,00	>2,00	38,3	57,5	69,0	--	--	--	--	--	--	--
6.60	38.00	33.63	3	0.90	0.94	154	--	--	--	--	--	40	36	28	25	24	32	30	>2,00	>2,00	63,3	95,0	114,0	--	--	--	--	--	--	--
6.80	42.00	42.00	3	0.90	0.96	156	--	--	--	--	--	43	36	29	25	24	32	30	>2,00	>2,00	70,0	105,0	126,0	--	--	--	--	--	--	--
7.00	37.00	39.78	3	0.89	0.98	153	--	--	--	--	--	38	36	28	25	23	32	30	>2,00	>2,00	61,7	92,5	111,0	--	--	--	--	--	--	--
7.20	18.00	45.00	4	0.91	0.99	143	0.75	4,4	277,4	416,2	56,2	13	33	24	21	20	27	27	>2,00	>2,00	30,0	45,0	54,0	--	--	--	--	--	--	--
7.40	8.00	24.24	2	0.86	1,01	138	0,40	2,0	224,6	337,0	35,2	--	--	--	--	--	--	--	1,93	>2,00	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.60	7.00	5.51	1	0.46	1,02	138	0,35	1,6	43,6	65,4	10,5	--	--	--	--	--	--	--	1,88	>2,00	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7.80	43.00	33.86	3	0.91	1,04	156	--	--	--	--	--	42	36	28	25	24	32	30	>2,00	>2,00	71,7	107,5	129,0	--	--	--	--	--	--	--
8.00	54.00	32.34	3	0.92	1,06	162	--	--	--	--	--	49	37	29	26	25	33	31	>2,00	>2,00	90,0	135,0	162,0	--	--	--	--	--	--	--
8.20	64.00	38.32	3	0.94	1,08	167	--	--	--	--	--	55	38	30	27	25	34	32	>2,00	>2,00	106,7	160,0	192,0	--	--	--	--	--	--	--
8.40	66.00	39.52	3	0.94	1,09	168	--	--	--	--	--	55	38	30	27	25	34	32	>2,00	>2,00	110,0	165,0	198,0	--	--	--	--	--	--	--
8.60	69.00	86.25	3	0.95	1,11	170	--	--	--	--	--	57	38	30	27	26	34	32	>2,00	>2,00	115,0	172,5	207,0	--	--	--	--	--	--	--
8.80	23.00	21.50	4	0.94	1,13	146	0,87	4,5	315,8	473,7	69,0	18	33	25	21	20	28	28	>2,00	>2,00	38,3	57,5	69,0	--	--	--	--	--	--	--
9.00	86.00	36.91	3	0.98	1,15	179	--	--	--	--	--	63	39	31	28	26	35	33	>2,00	>2,00	143,3	215,0	258,0	--	--	--	--	--	--	--
9.20	113.00	49.78	3	1,02	1,17	193	--	--	--	--	--	72	40	32	30	28	37	34	>2,00	>2,00	188,3	282,5	339,0	--	--	--	--	--	--	--
9.40	92.00	38.33	3	0.99	1,19	182	--	--	--	--	--	65	39	31	28	27	36	33	>2,00	>2,00	153,3	230,0	276,0	--	--	--	--	--	--	--
9.60	76.00	51.70	3	0.96	1,21	174	--	--	--	--	--	58	38	30	27	26	34	33	>2,00	>2,00	126,7	190,0	228,0	--	--	--	--	--	--	--
9.80	50.00	34.01	3	0.92	1,23	160	--	--	--	--	--	43	36	28	25	24	32	31	>2,00	>2,00	83,3	125,0	150,0	--	--	--	--	--	--	--
10.00</																														

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI	CPT	2
	riferimento	005-2016
	certificato n°	
	n° verb. accett.	

Committente: Comune di Pieve San Giacomo (CR)	U.M.: kg/cm²	Data esec.: 23/11/2016
Cantiere: Asilo Comunale	Pagina: 1	Data certificato: 09/12/2016
Località: Pieve San Giacomo - Via Patrioti	Elaborato:	Falda: -3,25 m da p.c.

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Rf %
0,20	10,0	1,0		10,00	-0,80	-13	-8,0								
0,40	13,0	1,0		13,00	0,80	16	6,2								
0,60	43,0	55,0		43,00	3,07	14	7,1								
0,80	81,0	127,0		81,00	2,67	30	3,3								
1,00	153,0	193,0		153,00	2,93	52	1,9								
1,20	112,0	156,0		112,00	1,33	84	1,2								
1,40	43,0	63,0		43,00	1,73	25	4,0								
1,60	30,0	56,0		30,00	1,00	30	3,3								
1,80	18,0	33,0		18,00	0,67	27	3,7								
2,00	13,0	23,0		13,00	0,73	18	5,6								
2,20	14,0	25,0		14,00	0,73	19	5,2								
2,40	18,0	29,0		18,00	0,80	23	4,4								
2,60	15,0	27,0		15,00	0,73	21	4,9								
2,80	14,0	25,0		14,00	0,87	16	6,2								
3,00	22,0	35,0		22,00	0,87	25	4,0								
3,20	21,0	34,0		21,00	0,80	26	3,8								
3,40	19,0	31,0		19,00	0,87	22	4,6								
3,60	17,0	30,0		17,00	0,27	63	1,6								
3,80	6,0	10,0		6,00	0,47	13	7,8								
4,00	9,0	16,0		9,00	0,67	13	7,4								
4,20	18,0	28,0		18,00	0,60	30	3,3								
4,40	24,0	33,0		24,00	1,27	19	5,3								
4,60	75,0	94,0		75,00	1,33	56	1,8								
4,80	42,0	62,0		42,00	0,80	53	1,9								
5,00	11,0	23,0		11,00	0,33	33	3,0								
5,20	29,0	34,0		29,00	0,73	40	2,5								
5,40	22,0	33,0		22,00	0,93	24	4,2								
5,60	13,0	27,0		13,00	0,40	33	3,1								
5,80	7,0	13,0		7,00	0,67	10	9,6								
6,00	21,0	31,0		21,00	0,80	26	3,8								
6,20	35,0	47,0		35,00	1,00	35	2,9								
6,40	19,0	34,0		19,00	1,00	19	5,3								
6,60	33,0	48,0		33,00	1,07	31	3,2								
6,80	54,0	70,0		54,00	0,53	102	1,0								
7,00	33,0	41,0		33,00	1,13	29	3,4								
7,20	14,0	31,0		14,00	0,40	35	2,9								
7,40	6,0	12,0		6,00	0,33	18	5,5								
7,60	6,0	11,0		6,00	0,33	18	5,5								
7,80	7,0	12,0		7,00	0,80	9	11,4								
8,00	37,0	49,0		37,00	0,53	70	1,4								
8,20	57,0	65,0		57,00	1,73	33	3,0								
8,40	71,0	97,0		71,00	1,07	66	1,5								
8,60	37,0	53,0		37,00	1,47	25	4,0								
8,80	77,0	99,0		77,00	1,07	72	1,4								
9,00	33,0	49,0		33,00	0,73	45	2,2								
9,20	12,0	23,0		12,00	1,07	11	8,9								
9,40	31,0	47,0		31,00	0,93	33	3,0								
9,60	29,0	43,0		29,00	1,67	17	5,8								
9,80	48,0	73,0		48,00	1,53	31	3,2								
10,00	51,0	74,0		51,00	1,80	28	3,5								
10,20	51,0	78,0		51,00	1,67	31	3,3								
10,40	68,0	93,0		68,00	2,40	28	3,5								
10,60	103,0	139,0		103,00	1,80	57	1,7								
10,80	52,0	79,0		52,00	1,80	29	3,5								
11,00	54,0	81,0		54,00	2,13	25	3,9								
11,20	63,0	95,0		63,00	1,60	39	2,5								
11,40	54,0	78,0		54,00	2,27	24	4,2								
11,60	58,0	92,0		58,00	1,60	36	2,8								
11,80	49,0	73,0		49,00	1,73	28	3,5								
12,00	51,0	77,0		51,00	1,53	33	3,0								
12,20	54,0	77,0		54,00	1,73	31	3,2								
12,40	101,0	127,0		101,00	1,73	58	1,7								
12,60	102,0	128,0		102,00	2,07	49	2,0								
12,80	88,0	119,0		88,00	1,73	51	2,0								
13,00	77,0	103,0		77,00											

H = profondità
 L1 = prima lettura (punta)
 L2 = seconda lettura (punta + laterale)
 Lt = terza lettura (totale)
 CT = 10,00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta
 fs = resistenza laterale calcolata alla stessa quota di qc
 F = rapporto Begemann (qc / fs)
 Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

CPT
2

riferimento

005-2016

certificato n°

n° verb. accett.

 Committente: **Comune di Pieve San Giacomo (CR)**

 Cantiere: **Asilo Comunale**

 Località: **Pieve San Giacomo - Via Patrioti**

 U.M.: **kg/cm²**

 Scala: **1:75**

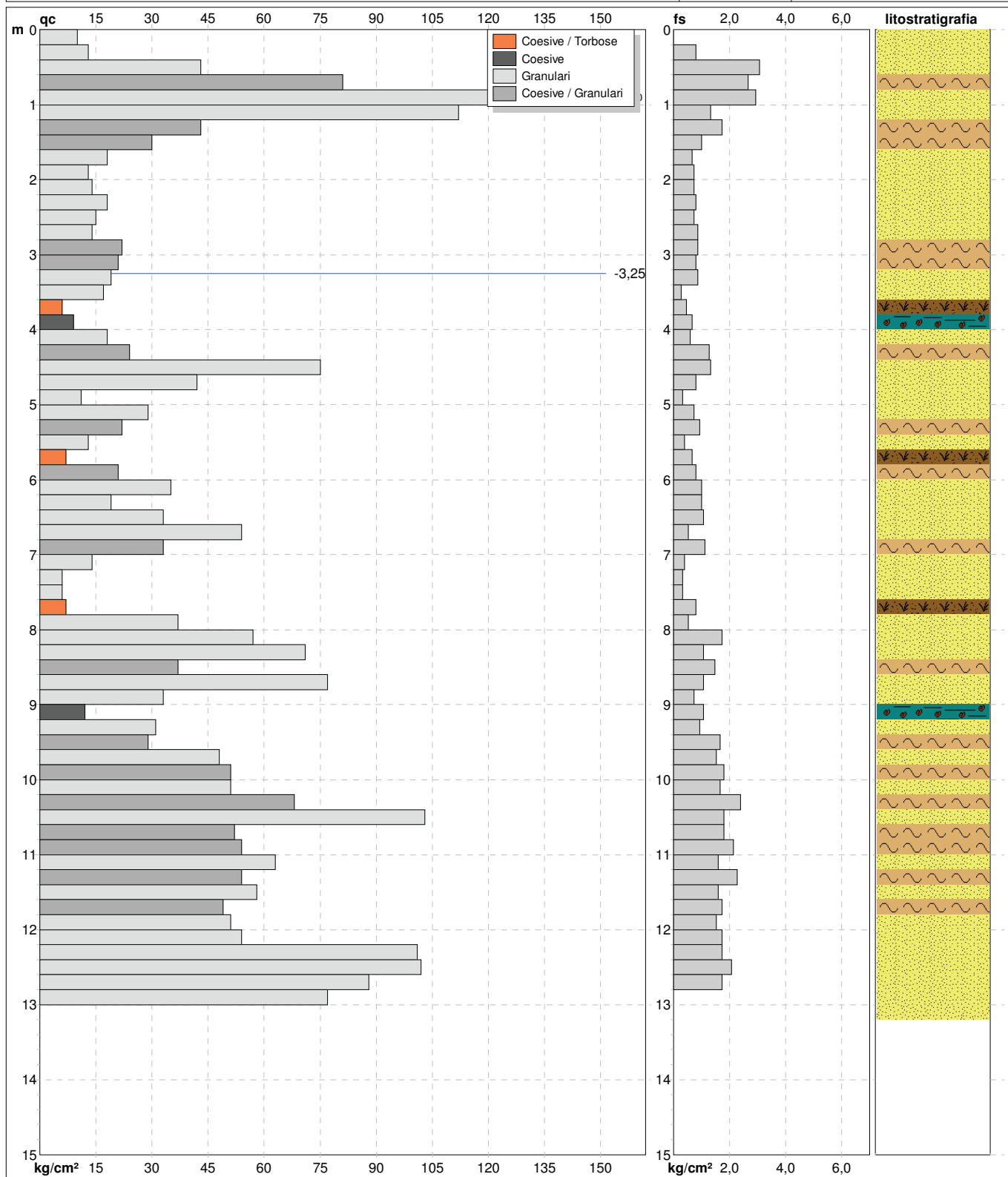
 Pagina: **1**

Elaborato:

 Data esec.: **23/11/2016**

 Data certificato: **09/12/2016**

Quota inizio:

 Falda: **-3,25 m** da p.c.

 Litologia: **Begemann [qc + qc/fs] 4 Zone**

 Penetrometro: **TG63-200S**

Responsabile:

Assistente:

 Preforo: **m**

 Corr. astine: **kg/ml**

Cod. punta:

FON079

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT
2

riferimento

005-2016

certificato n°

n° verb. accett.

 Committente: **Comune di Pieve San Giacomo (CR)**

 Cantiere: **Asilo Comunale**

 Località: **Pieve San Giacomo - Via Patrioti**

 U.M.: **kg/cm²**

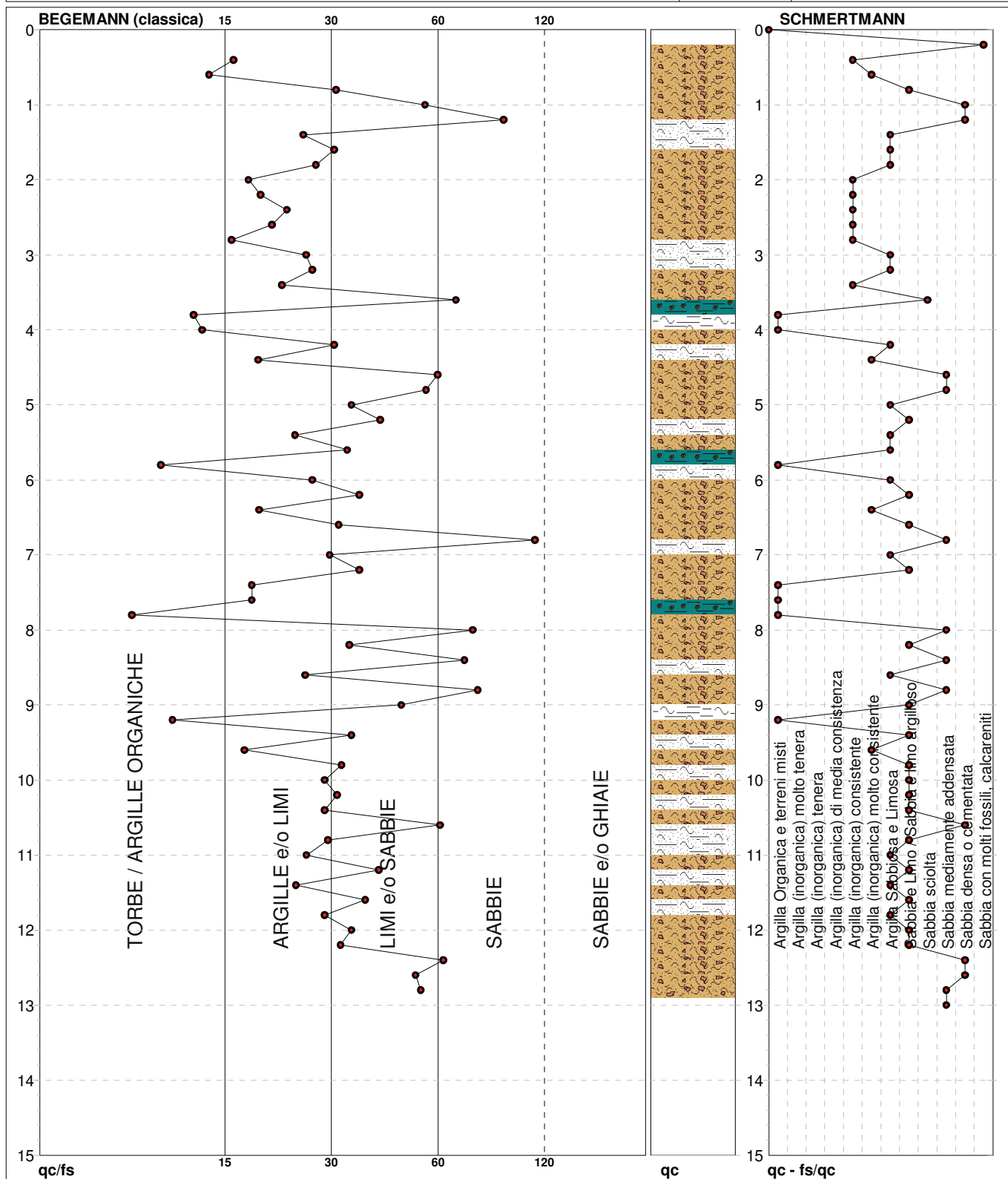
 Data esec.: **23/11/2016**

 Scala: **1:75**

 Data certificato: **09/12/2016**

 Pagina: **1**

Elaborato:

 Falda: **-3,25 m da p.c.**


Torbe / Argille org. :	7 punti, 9,46%
Argille e/o Limi :	28 punti, 37,84%
Limi e/o Sabbie :	23 punti, 31,08%
Sabbie:	6 punti, 8,11%

Argilla Organica e terreni misti:	7 punti, 9,46%
Argilla (inorganica) consistente:	7 punti, 9,46%
Argilla (inorganica) molto consist.:	4 punti, 5,41%

Argilla Sabbiosa e Limosa:	15 punti, 20,27%
Sabbia e Limo / Sabbia e limo arg.:	17 punti, 22,97%
Sabbia sciolta:	1 punti, 1,35%
Sabbia mediamente addensata:	7 punti, 9,46%
Sabbia densa o cementata:	5 punti, 6,76%
Sabbia con molti fossili, calcareniti:	1 punti, 1,35%

FON079

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA PARAMETRI GEOTECNICI	CPT	2
	referimento	005-2016
	certificato n°	
	n° verb.accett.	

Committente: Comune di Pieve San Giacomo (CR)	U.M.: kg/cm²	Data eseg.: 23/11/2016
Cantiere: Asilo Comunale	Pagina: 1	Data certificato: 09/12/2016
Località: Pieve San Giacomo - Via Patrioti	Elaborato:	Falda: -3,25 m da p.c.

Prof. m	qc U.M.	qc/fs	zone	γ' t/m³	σ'vo U.M.	Vs m/s	NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
							Cu U.M.	OCR %	Eu50 U.M.	Eu25 U.M.	Mo U.M.	Dr %	Sc (°)	Ca (°)	Ko (°)	DB (°)	DM (°)	Me (°)	FL1	FL2	E'50 U.M.	E'25 U.M.	Mo U.M.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
0.20	10.00	--	3	1.83	0.04	139	--	--	--	--	--	74	40	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI	CPT	3
	riferimento	005-2016
	certificato n°	
	n° verb. accett.	

Committente: Comune di Pieve San Giacomo (CR)	U.M.: kg/cm²	Data esec.: 23/11/2016
Cantiere: Asilo Comunale	Pagina: 1	Data certificato: 09/12/2016
Località: Pieve San Giacomo - Via Patrioti	Elaborato:	Falda: -3,30 m da p.c.

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc kg/cm²	fs kg/cm²	F -	Rf %
0,20	7,0	1,0		7,00	-0,53	-13	-7,6								
0,40	9,0	1,0		9,00	0,47	19	5,2								
0,60	9,0	16,0		9,00	0,53	17	5,9								
0,80	9,0	17,0		9,00	0,93	10	10,3								
1,00	17,0	31,0		17,00	0,80	21	4,7								
1,20	14,0	26,0		14,00	0,80	18	5,7								
1,40	13,0	25,0		13,00	0,87	15	6,7								
1,60	13,0	26,0		13,00	0,87	15	6,7								
1,80	17,0	30,0		17,00	0,87	20	5,1								
2,00	17,0	30,0		17,00	1,00	17	5,9								
2,20	22,0	37,0		22,00	1,00	22	4,5								
2,40	23,0	38,0		23,00	0,93	25	4,0								
2,60	23,0	37,0		23,00	0,73	32	3,2								
2,80	20,0	31,0		20,00	0,73	27	3,7								
3,00	14,0	25,0		14,00	0,80	18	5,7								
3,20	28,0	40,0		28,00	0,80	35	2,9								
3,40	35,0	47,0		35,00	0,93	38	2,7								
3,60	32,0	46,0		32,00	1,53	21	4,8								
3,80	42,0	65,0		42,00	1,13	37	2,7								
4,00	40,0	57,0		40,00	1,33	30	3,3								
4,20	59,0	79,0		59,00	1,40	42	2,4								
4,40	58,0	79,0		58,00	1,40	41	2,4								
4,60	41,0	62,0		41,00	1,00	41	2,4								
4,80	36,0	51,0		36,00	1,13	32	3,1								
5,00	16,0	33,0		16,00	1,13	14	7,1								
5,20	19,0	36,0		19,00	0,53	36	2,8								
5,40	39,0	47,0		39,00	0,87	45	2,2								
5,60	19,0	32,0		19,00	1,13	17	5,9								
5,80	25,0	42,0		25,00	0,93	27	3,7								
6,00	37,0	51,0		37,00	0,93	40	2,5								
6,20	38,0	52,0		38,00	1,07	36	2,8								
6,40	36,0	52,0		36,00	0,93	39	2,6								
6,60	49,0	63,0		49,00	1,00	49	2,0								
6,80	26,0	41,0		26,00	0,33	79	1,3								
7,00	5,0	10,0		5,00	0,67	7	13,4								
7,20	13,0	23,0		13,00	0,73	18	5,6								
7,40	32,0	43,0		32,00	1,20	27	3,8								
7,60	43,0	61,0		43,00	1,20	36	2,8								
7,80	35,0	53,0		35,00	1,40	25	4,0								
8,00	38,0	59,0		38,00	0,93	41	2,4								
8,20	19,0	33,0		19,00	0,87	22	4,6								
8,40	17,0	30,0		17,00	1,00	17	5,9								
8,60	56,0	71,0		56,00	1,27	44	2,3								
8,80	71,0	90,0		71,00	0,73	97	1,0								
9,00	19,0	30,0		19,00	1,40	14	7,4								
9,20	32,0	53,0		32,00	1,27	25	4,0								
9,40	38,0	57,0		38,00	1,07	36	2,8								
9,60	53,0	69,0		53,00	0,93	57	1,8								
9,80	71,0	85,0		71,00	1,47	48	2,1								
10,00	55,0	77,0		55,00	1,47	37	2,7								
10,20	73,0	95,0		73,00	1,67	44	2,3								
10,40	59,0	84,0		59,00	2,33	25	3,9								
10,60	52,0	87,0		52,00	1,53	34	2,9								
10,80	77,0	100,0		77,00	2,20	35	2,9								
11,00	95,0	128,0		95,00											

H = profondità
 L1 = prima lettura (punta)
 L2 = seconda lettura (punta + laterale)
 Lt = terza lettura (totale)
 CT = 10,00 costante di trasformazione

qc = resistenza di punta
 fs = resistenza laterale calcolata alla stessa quota di qc
 F = rapporto Begemann (qc / fs)
 Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

CPT
3

riferimento

005-2016

certificato n°

n° verb. accett.

 Committente: **Comune di Pieve San Giacomo (CR)**

 Cantiere: **Asilo Comunale**

 Località: **Pieve San Giacomo - Via Patrioti**

 U.M.: **kg/cm²**

 Scala: **1:75**

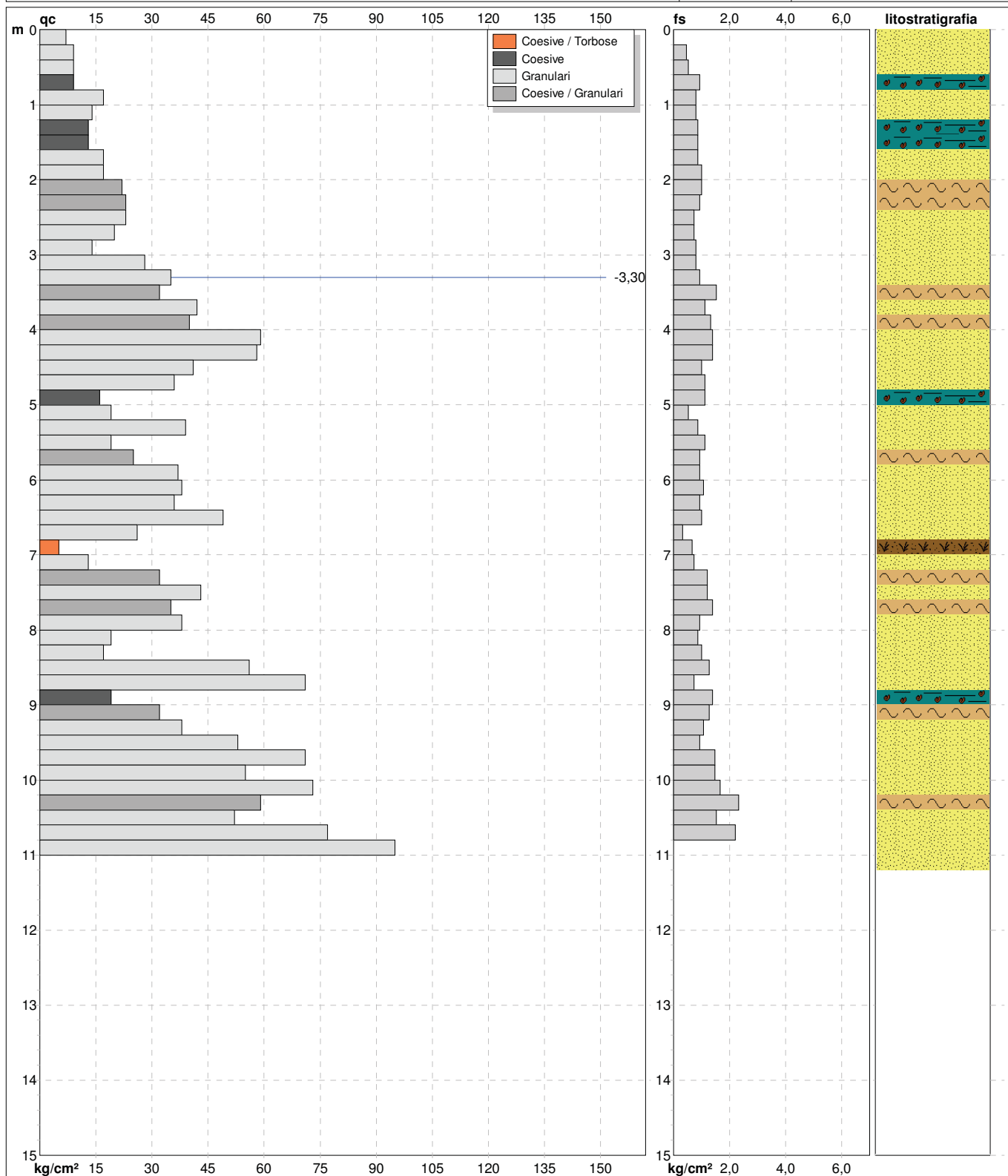
 Pagina: **1**

Elaborato:

 Data esec.: **23/11/2016**

 Data certificato: **09/12/2016**

Quota inizio:

 Falda: **-3,30 m** da p.c.

 Litologia: **Begemann [qc + qc/fs] 4 Zone**

 Penetrometro: **TG63-200S**

Responsabile:

Assistente:

 Preforo: **m**

 Corr.astine: **kg/ml**

Cod. punta:

FON079

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT
3

riferimento

005-2016

certificato n°

n° verb. accett.

 Committente: **Comune di Pieve San Giacomo (CR)**

 Cantiere: **Asilo Comunale**

 Località: **Pieve San Giacomo - Via Patrioti**

 U.M.: **kg/cm²**

Data esec.: 23/11/2016

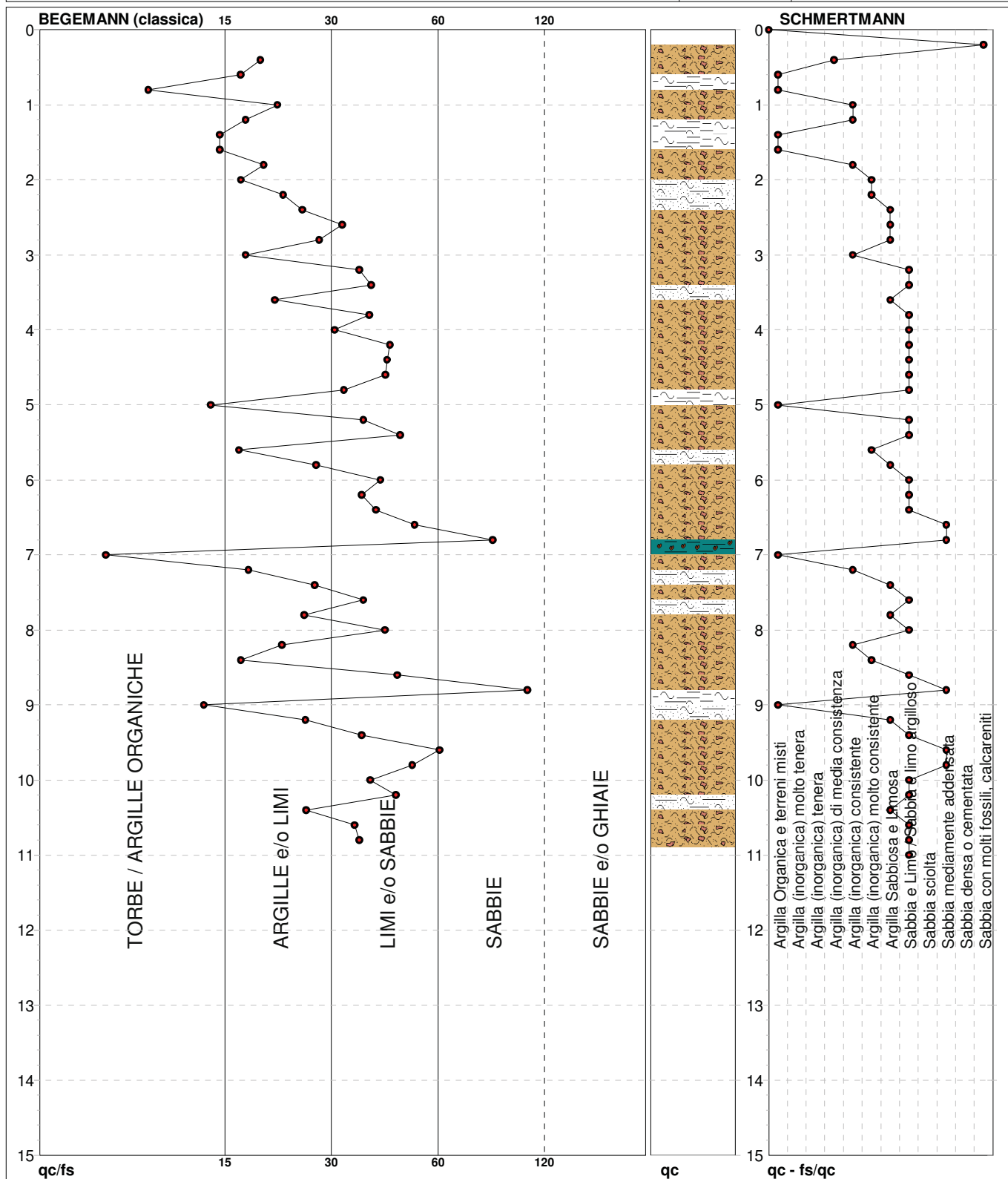
Scala: 1:75

Data certificato: 09/12/2016

Pagina: 1

Elaborato:

Falda: -3,30 m da p.c.



Torbe / Argille org.:

7 punti, 9,46%

Argille e/o Limi:

20 punti, 27,03%

Limi e/o Sabbie:

25 punti, 33,78%

Sabbie:

2 punti, 2,70%

Argilla Organica e terreni misti:

7 punti, 9,46%

Argilla (inorganica) media consist.:

1 punto, 1,35%

Argilla (inorganica) consistente:

6 punti, 8,11%

Argilla (inorganica) molto consist.:

4 punti, 5,41%

Argilla Sabbiosa e Limosa:

9 punti, 12,16%

Sabbia e Limi / Sabbia e limo arg.:

21 punti, 28,38%

Sabbia mediamente addensata:

5 punti, 6,76%

Sabbia con molti fossili, calcareniti:

1 punto, 1,35%

FON079

Software by dott. Geol. Diego Merlin 0425-840820

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA PARAMETRI GEOTECNICI	CPT	3
	referimento	005-2016
	certificato n°	
	n° verb.accett.	

Committente: Comune di Pieve San Giacomo (CR)	U.M.: kg/cm²	Data esec.: 23/11/2016
Cantiere: Asilo Comunale	Pagina: 1	Data certificato: 09/12/2016
Località: Pieve San Giacomo - Via Patrioti	Elaborato:	Falda: -3,30 m da p.c.

							NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE														
Prof. m	qc U.M.	qc/fs	zone	γ' t/m³	σ'vo U.M.	Vs m/s	Cu U.M.	OCR %	Eu50 U.M.	Eu25 U.M.	Mo U.M.	Dr %	Sc (°)	Ca (°)	Ko (°)	DB (°)	DM (°)	Me (°)	FL1	FL2	E'50 U.M.	E'25 U.M.	Mo U.M.			
0,20	7,00	--	3	1,82	0,04	138	--	--	--	--	--	61	39	36	33	31	40	26	--	--	11,7	17,5	21,0			
0,40	9,00	19,15	2	1,88	0,07	139	0,45	60,0	76,5	114,8	37,8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
0,60	9,00	16,98	2	1,88	0,11	139	0,45	35,9	76,5	114,8	37,8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
0,80	9,00	9,68	2	1,88	0,15	139	0,45	25,0	76,5	114,8	37,8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
1,00	17,00	21,25	2	1,97	0,19	143	0,72	33,7	123,0	184,5	54,1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
1,20	14,00	17,50	2	1,94	0,23	141	0,64	22,7	108,2	162,3	48,2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
1,40	13,00	14,94	2	1,93	0,27	141	0,60	17,5	102,8	154,2	46,5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
1,60	13,00	14,94	2	1,93	0,30	141	0,60	14,8	102,8	154,2	46,5	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
1,80	17,00	19,54	2	1,97	0,34	143	0,72	15,9	123,0	184,5	54,1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
2,00	17,00	17,00	2	1,97	0,38	143	0,72	13,9	123,0	184,5	54,1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
2,20	22,00	22,00	4	1,93	0,42	145	0,85	15,0	143,8	215,8	66,0	41	36	29	26	25	33	28	--	--	36,7	55,0	66,0			
2,40	23,00	24,73	4	1,94	0,46	146	0,87	13,9	147,5	221,3	69,0	40	36	29	26	25	33	28	--	--	38,3	57,5	69,0			
2,60	23,00	31,51	3	1,86	0,50	146	--	--	--	--	--	38	36	29	26	24	33	28	--	--	38,3	57,5	69,0			
2,80	20,00	27,40	4	1,93	0,54	144	0,80	10,3	136,0	204,0	60,0	32	35	28	25	23	31	27	--	--	33,3	50,0	60,0			
3,00	14,00	17,50	2	1,94	0,58	141	0,64	7,1	143,4	215,2	48,2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
3,20	28,00	35,00	3	1,87	0,61	149	--	--	--	--	--	40	36	29	26	24	33	28	--	--	46,7	70,0	84,0			
3,40	35,00	37,63	3	0,89	0,63	152	--	--	--	--	--	47	37	30	27	25	34	29	>2,00	>2,00	58,3	87,5	105,0			
3,60	32,00	20,92	4	0,97	0,65	151	1,07	11,7	181,3	272,0	96,0	43	36	29	26	24	33	29	>2,00	>2,00	53,3	80,0	96,0			
3,80	42,00	37,17	3	0,90	0,67	156	--	--	--	--	--	52	37	30	27	26	34	30	>2,00	>2,00	70,0	105,0	126,0			
4,00	40,00	30,08	3	0,90	0,69	155	--	--	--	--	--	50	37	30	27	25	34	30	>2,00	>2,00	66,7	100,0	120,0			
4,20	59,00	42,14	3	0,93	0,70	165	--	--	--	--	--	62	39	32	29	27	36	32	>2,00	>2,00	98,3	147,5	177,0			
4,40	58,00	41,43	3	0,93	0,72	164	--	--	--	--	--	61	39	32	29	27	36	31	>2,00	>2,00	96,7	145,0	174,0			
4,60	41,00	41,00	3	0,90	0,74	155	--	--	--	--	--	49	37	30	27	25	34	30	>2,00	>2,00	68,3	102,5	123,0			
4,80	36,00	31,86	3	0,89	0,76	153	--	--	--	--	--	44	36	29	26	24	33	30	>2,00	>2,00	60,0	90,0	108,0			
5,00	16,00	14,16	2	0,96	0,78	142	0,70	5,5	211,2	316,8	51,8	--	--	--	--	--	--	--	>2,00	>2,00	--	--	--			
5,20	19,00	35,85	4	0,92	0,80	144	0,78	6,1	210,0	315,0	58,1	20	34	26	22	21	29	27	>2,00	>2,00	31,7	47,5	57,0			
5,40	39,00	44,83	3	0,90	0,81	154	--	--	--	--	--	45	37	29	26	24	33	30	>2,00	>2,00	65,0	97,5	117,0			
5,60	19,00	16,81	2	0,99	0,83	144	0,78	5,7	223,8	335,6	58,1	--	--	--	--	--	--	--	>2,00	>2,00	--	--	--			
5,80	25,00	26,88	4	0,94	0,85	147	0,91	6,8	216,4	324,6	75,0	28	35	27	23	22	30	28	>2,00	>2,00	41,7	62,5	75,0			
6,00	37,00	39,78	3	0,89	0,87	153	--	--	--	--	--	41	36	28	25	24	32	30	>2,00	>2,00	61,7	92,5	111,0			
6,20	38,00	35,51	3	0,90	0,89	154	--	--	--	--	--	42	36	28	25	24	32	30	>2,00	>2,00	63,3	95,0	114,0			
6,40	36,00	38,71	3	0,89	0,91	153	--	--	--	--	--	39	36	28	25	23	32	30	>2,00	>2,00	60,0	90,0	108,0			
6,60	49,00	49,00	3	0,92	0,93	159	--	--	--	--	--	49	37	29	26	25	33	31	>2,00	>2,00	81,7	122,5	147,0			
6,80	26,00	78,79	3	0,87	0,94	148	--	--	--	--	--	27	35	26	23	22	30	28	>2,00	>2,00	43,3	65,0	78,0			
7,00	5,00	7,46	1	0,46	0,95	137	0,25	1,2	32,2	48,3	7,5	--	--	--	--	--	--	--	1,84	>2,00	--	--	--			
7,20	13,00	17,81	2	0,93	0,97	141	0,60	3,5	273,4	410,1	46,5	--	--	--	--	--	--	--	>2,00	>2,00	--	--	--			
7,40	32,00	26,67	4	0,97	0,99	151	1,07	6,9	249,7	374,5	96,0	33	35	27	24	22	31	29	>2,00	>2,00	53,3	80,0	96,0			
7,60	43,00	35,83	3	0,91	1,01	156	--	--	--	--	--	43	36	28	25	24	32	30	>2,00	>2,00	71,7	107,5	129,0			
7,80	35,00	25,00	4	0,98	1,03	152	1,17	7,4	253,1	379,7	105,0	35	35	27	24	23	31	29	>2,00	>2,00	58,3	87,5	105,0			
8,00	38,00	40,86	3	0,90	1,05	154	--	--	--	--	--	38	36	28	24	23	31	30	>2,00	>2,00	63,3	95,0	114,0			
8,20	19,00	21,84	2	0,99	1,06	144	0,78	4,2	297,4	446,1	58,1	--	--	--	--	--	--	--	>2,00	>2,00	--	--	--			
8,40	17,00	17,00	2	0,97	1,08	143	0,72	3,8	305,5	458,2	54,1	--	--	--	--	--	--	--	>2,00	>2,00	--	--	--			
8,60	56,00	44,09	3	0,93	1,10	163	--	--	--	--	--	50	37	29	26	25	33	31	>2,00	>2,00	93,3	140,0	168,0			
8,80	71,00	97,26	3	0,95	1,12	171	--	--	--	--	--	57	38	30	27	26	34	32	>2,00	>2,00	118,3	177,5	213,0			
9,00	19,00	13,57	2	0,99	1,14	144	0,78	3,9	320,6	480,9	58,1	--	--	--	--	--	--	--	>2,00	>2,00	--	--	--			
9,20	32,00	25,20	4	0,97	1,16	151	1,07	5,6	312,6	468,9	96,0	29	35	26	23	22	30	29	>2,00	>2,00	53,3	80,0	96,0			
9,40	38,00	35,51	3	0,90	1,18	154	--	--	--	--	--	35	35	27	24	22	31	30	>2,00	>2,00	63,3	95,0	114,0			
9,60	53,00	56,99	3	0,92	1,20	162	--	--	--	--	--	46	37	29	26	24	32	31	>2,00	>2,00	88,3	132,5	159,0			
9,80	71,00	48,30	3	0,95	1,22	171	--	--	--	--	--	55	38	30	27	25	34	32	>2,00	>2,00	118,3	177,5	213,0			
10,00	55,00	37,42	3	0,93	1,23	163	--	--	--	--	--	46	37	29	26	24	32	31	>2,00	>2,00	91,7	137,5	165,0			
10,20	73,00	43,71	3	0,96	1,25	172	--	--	--	--	--	56	38	30	27	25	34	32	>2,00	>2,00	121,7	182,5	219,0			
10,40	59,00	25,32	4	1,02	1,27	165	1,97	10,8	334,3	501,5	177,0	48	37	29	26	24	33	32	>2,00	>2,00	98,3	147,5	177,0			
10,60	52,00	33,99	3	0,92	1,29	161	--	--	--	--	--	43	36	28	25	23	32	31	>2,00	>2,00	86,7	130,0	156,0			
10,80	77,00	35,00	3	0,96	1,31	174	--	--	--	--	--	56	38	30	27	25	34	33	>2,00	>2,00	128,3	192,5	231,0			
11,00	95,00	--	3	0,99	1,33	183	--	--	--	--	--	63	39	31	28	26	35	34	>2,00	>2,00	158,3	237,5	285,0			

FON079

[illegible]

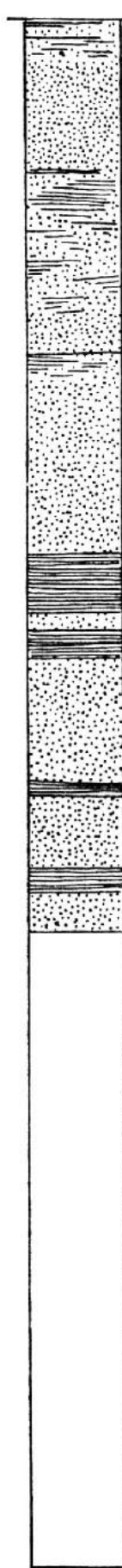
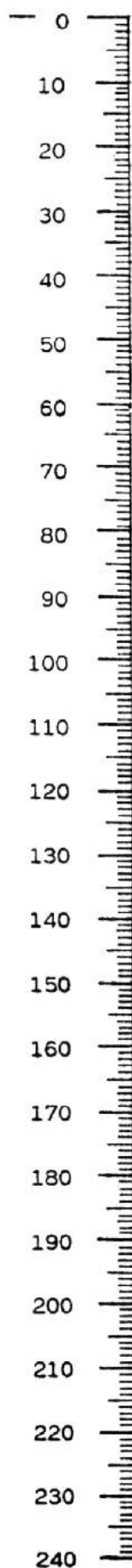
Prof. in
m dal RC

Filtri

Pozzo N° 145

Litotipi

Note



argilla sabbiosa

sabbia

argilla sabbiosa

sabbia fine

argilla sabbiosa

sabbia medio fine lavata

argilla

sabbia fine

argilla

sabbia grossa lavata

argilla

sabbia fine

argilla

sabbia fine

qt. =

l.s. = m 6,00

l.d. = m 10,00

l/sec. = 40

Ø 900 mm

ALLEGATO FOTOGRAFICO
INDAGINI GEOTECNICHE



Prova CPT1



Prova CPT2



Prova CPT3

ALLEGATO FOTOGRAFICO
INDAGINI SISMICHE



Linea MASW



Strumentazione di registrazione MASW



Postazione HVSR esterna



Postazione HVSR interna

ALLEGATO FOTOGRAFICO
SONDAGGIO GEOGNOSTICO



CASSA 1
(0,00 – 5,00 m)



CASSA 2
(5,00 – 10,00 m)



CASSA 3
(10,00 – 15,00 m)

**TABELLE DI CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI E VALORI DEI PARAMETRI
PER IL CALCOLO DEGLI SPETTRI DI RISPOSTA (D.M. 17/01/20018)**

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

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

Tab. 3.2.III – 3.2.V

Categoria Topografica	Caratteristiche della superficie topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S _T
T ₁	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi con inclinazione $i < 15^\circ$	-	1,0
T ₂	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T ₃	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 con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T ₄	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i \geq 30^\circ$	In corrispondenza delle cresta del rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

Tab 3.2.IV

Categoria di sottosuolo	S _s	C _c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Per i valori di a_g , F_0 e T_c^* , necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, pubblicato nel S.O. alla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008, n.29, ed eventuali successivi aggiornamenti.

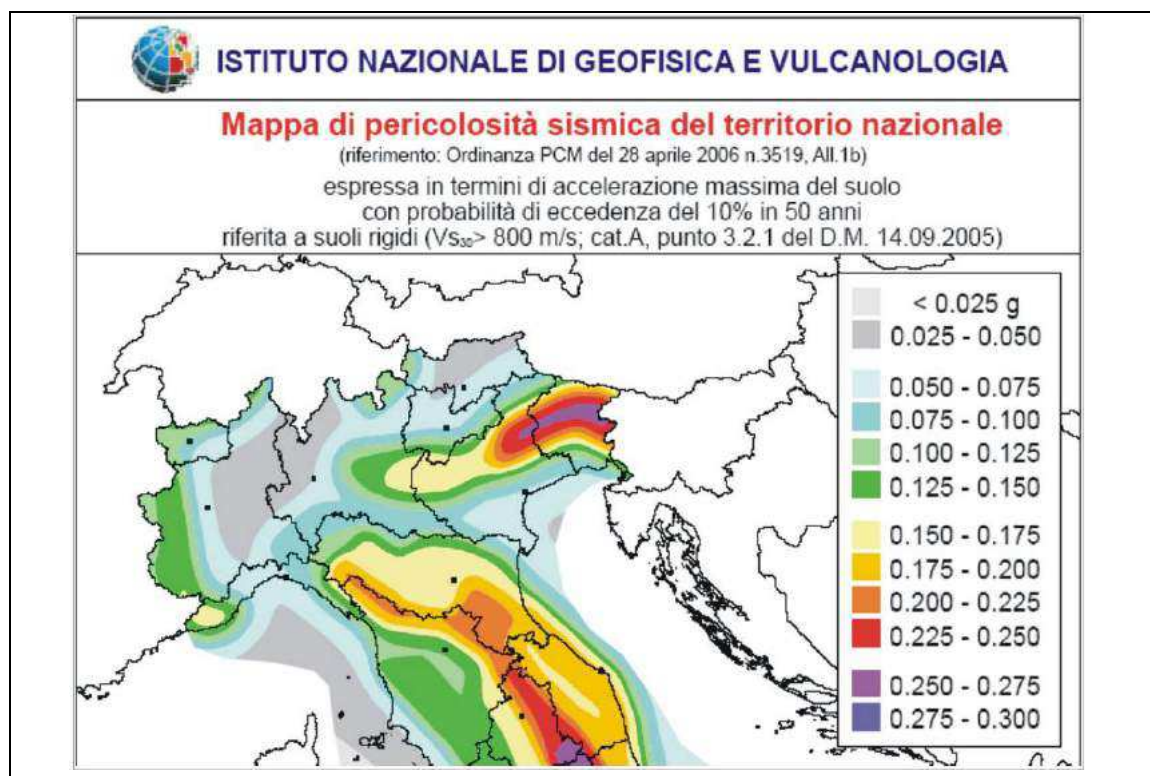


Fig. 1. Mapa di pericolosità sismica secondo l'OPCM n. 3519 del 28/4/2006, all. 1b

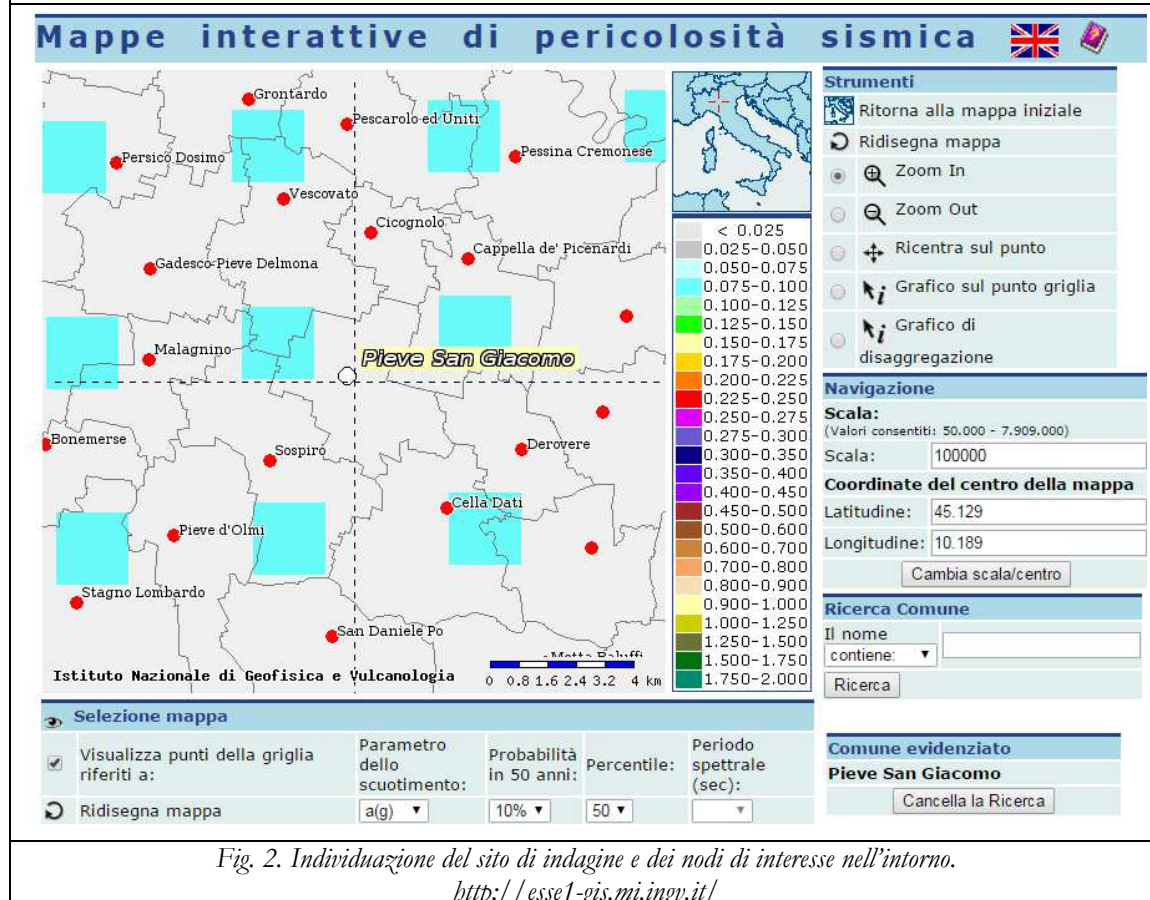
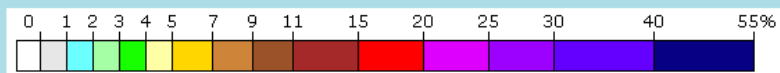
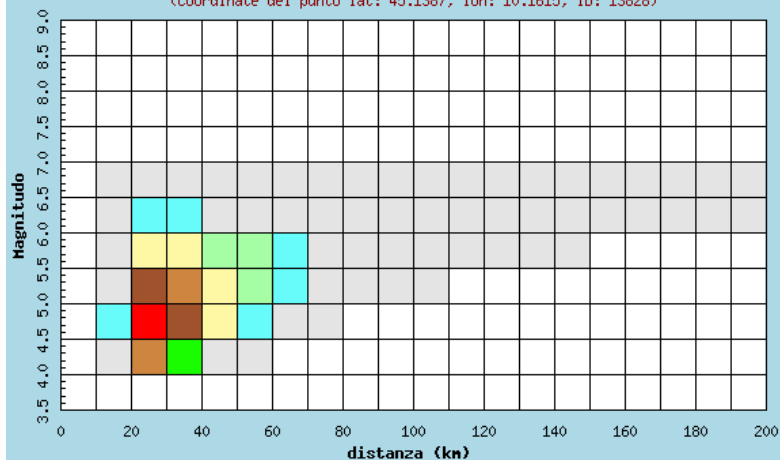


Fig. 2. Individuazione del sito di indagine e dei nodi di interesse nell'intorno.
<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
Disaggregazione del valore di a(g) con probabilit  di eccedenza
del 10% in 50 anni

(Coordinate del punto lat: 45.1387, lon: 10.1615, ID: 13828)



Contributo percentuale alla pericolosit 

Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilit� di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto VEDI SOPRA)										
	Magnitudo										
	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	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	0.799	1.550	0.897	0.357	0.078	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	7.810	16.400	10.500	4.560	1.040	0.116	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	3.620	9.640	7.890	4.080	1.050	0.132	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	0.888	4.120	4.580	2.850	0.858	0.119	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.047	1.470	2.800	2.220	0.709	0.096	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.000	0.305	1.460	1.540	0.625	0.094	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.000	0.022	0.533	0.935	0.615	0.106	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.000	0.135	0.499	0.477	0.090	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.000	0.030	0.244	0.293	0.059	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.003	0.103	0.151	0.032	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.038	0.079	0.019	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.041	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.022	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.013	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.017	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.015	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
5,12	36,5	1,6

Tabella tratta da <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>

STUDIO GEOLOGICO SCALVINI

Via San Giuseppe 8 – 25017 – LONATO DEL GARDA (BS) Cell. 333.8506030 - Tel 030.618.2811

E mail: damiano@studiotecnicoscalvini.com

PEC: damianoscalvini@epap.sicurezzaepapale.it (dal 1.07.22 damianoscalvini@pec.epap.it)

SCHEDA DEI PARAMETRI DI CALCOLO PER IL SITO D'INTERVENTO DM 14/01/08

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

☒ Ricerca per coordinate
 LONGITUDINE LATITUDINE

☐ Ricerca per comune
 REGIONE PROVINCIA COMUNE

Elaborazioni grafiche

Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche

Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo

☐ Sito esterno al reticolo
☒ Interpolazione su 3 nodi
☐ Interpolazione corretta

Interpolazione

superficie rigata

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

Tratto da "Spettri-NTC" ver.1.0.3.

VITA NOMINALE e COEFFICIENTE D'USO DELL'EDIFICIO **PERIODO DI RIFERIMENTO DELL'AZIONE SISMICA (Par. 2.4 NTC)**

Classe d'uso dell'edificio		IV				Par 2.4.2.
Vita Nominale della costruzione (in anni) -	V_N	50				Tab. 2.4.I.
Coefficiente d'uso della costruzione	C_U	2,0				Tab. 2.4.II.
Probabilità di superamento	P_{VR}	SLO 81 %	SLD 63 %	SLV 10 %	SLC 5 %	Tab. 3.2.I.
Periodo di riferimento per la definizione sismica (in anni)	T_R	60	101	949	1950	Tab.C.3.2.I. Circ 617/09

PARAMETRI SISMICI NORMATIVI

P_{VR}	T_R	a_g (*)	F_o (*)	T_c^* (*)
SLO – 81%	60	0,042	2,565	0,251
SLD – 63%	101	0,050	2,569	0,268
SLV – 10%	949	0,097	2,669	0,325
SLC – 5%	1950	0,121	2,676	0,334

CATEGORIE DI SUOLO E TOPOGRAFICA e FATTORI DI AMPLIFICAZIONE **METODO SEMPLIFICATO**

Categoria di suolo ⁵	C	Categoria topografica ⁶	T1
AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA		Ss	Cc
Stati Limite di Esercizio S.L.E.	SLD – 63%	1,500 (classe C)	1,622 (classe C)
Stati Limite Ultimi S.L.U.	SLV – 10%	1,500 (classe C)	1,521 (classe C)
AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA		S_T	1,000 (*)

⁵ Calcolata secondo la Tab. 3.2.II del DM 14/01/2018

⁶ Calcolata secondo la Tab. 3.2.IV del DM 14/01/2018

(*) Valori calcolati con "Spettri NTC vers. 1.0.3." tratto dal sito del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

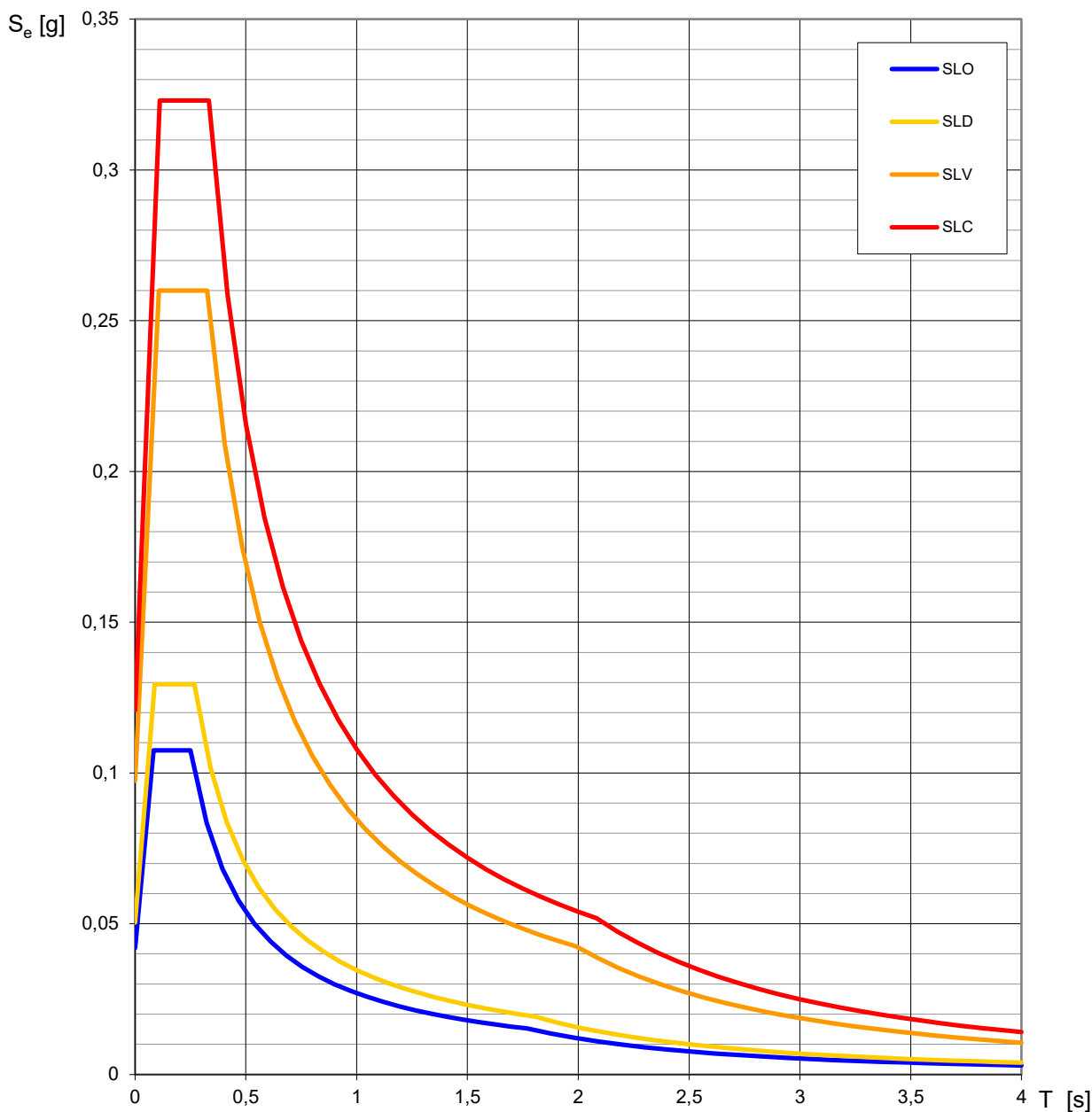
STUDIO GEOLOGICO SCALVINI

Via San Giuseppe 8 – 25017 – LONATO DEL GARDA (BS) Cell. 333.8506030 - Tel 030.618.2811

E mail: damiano@studiotecnicoscalvini.com

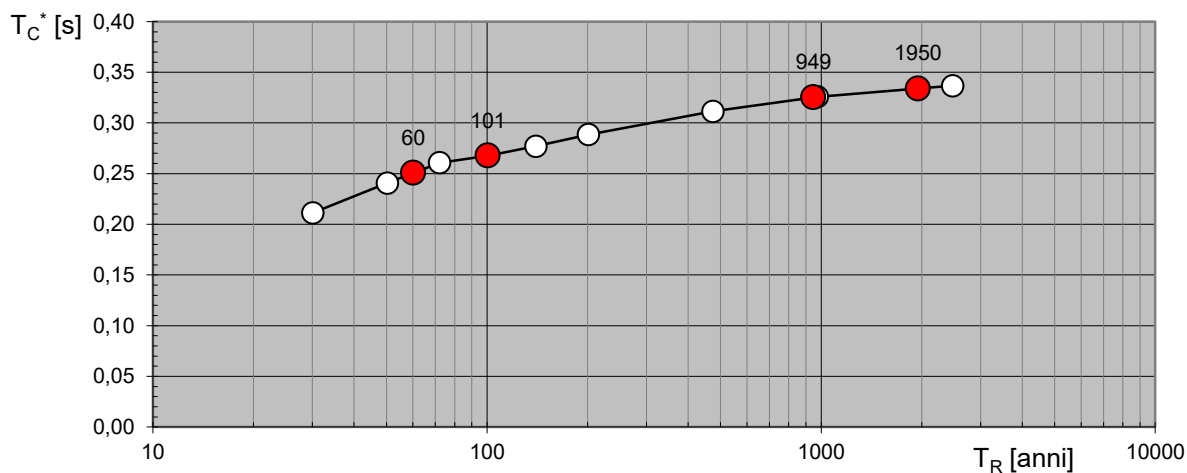
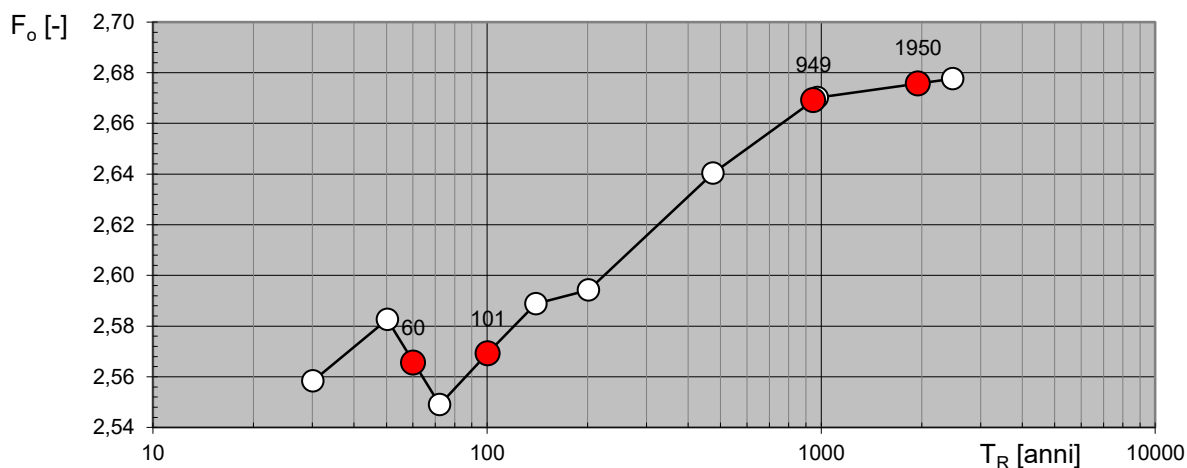
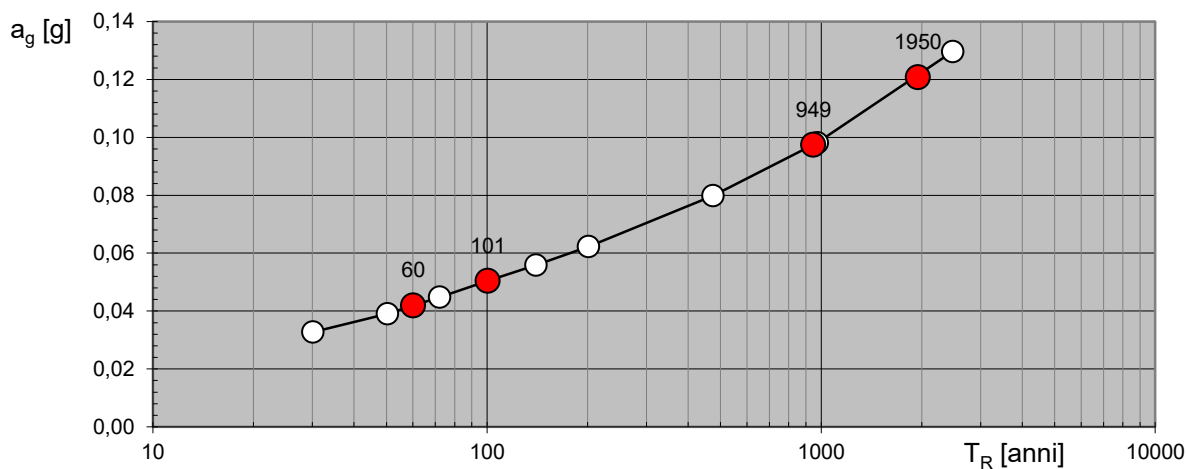
PEC: damianoscalvini@epap.sicurezzaepapale.it (dal 1.07.22 damianoscalvini@pec.epap.it)

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

Valori di progetto dei parametri a_g , F_o , T_C^* in funzione del periodo di ritorno T_R



La verifica dell'idoneità del programma, l'utilizzo dei risultati da esso ottenuti sono onere e responsabilità esclusiva dell'utente. Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici non potrà essere ritenuto responsabile dei danni risultanti dall'utilizzo dello stesso.

STIMA DEGLI EFFETTI LITOLOGICI - ANALISI DI 2° LIVELLO

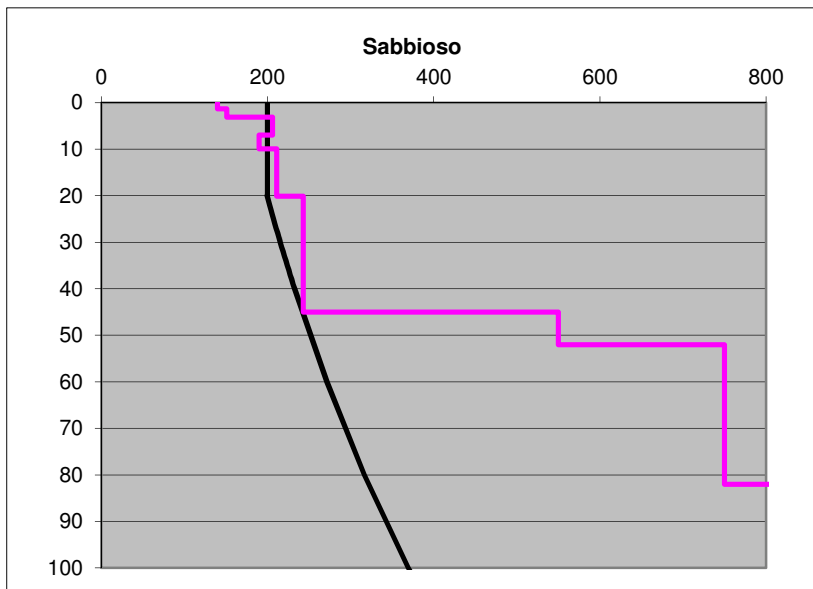
secondo le procedure dell'All. 5 - D.g.r. 9-2616 del 30/11/2011

TERRENO SABBIOSO

Prof base	Nspt	Vs
0		
1,3		140
3,1		151
7		206
9,9		190
20,1		211
30		243
45		243
52		550
82		750
92		850
Oltre 82 m		> 800

PERIODO DEL SITO

T 0,740



PRIMO STRATO

Prof. base 7
Vs 180

Curva caratteristica

n° 2

Sabbiosa		Profondità primo strato																						
	1-3	4	5-12	13	14	15	16	17	18	20	25	30	40	50	60	70	90	110	130	140	160	180		
velocità primo strato	200		2	1-2	2	3	3	3	3	3	3	3												
	250		2	1-2	2	2	2	2	2	2	3	3	NA	NA	NA									
	300		2	1-2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	NA	NA	NA	NA							
	350		2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	NA	NA	NA						
	400		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA					
	450		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA				
	500		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA			
	600		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA	NA		
700		3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	NA	NA	NA	NA	NA	NA		

VERIFICA

Valori Fa di sito

0,1 s < T < 0,5 s 1,1

0,5 s < T < 1,5 s 2,0

COMUNE DI Pieve San Giacomo

Valori Fa di soglia

Terreni di tipo:

B	C	D	E
1,4	1,8	2,1	1,9
1,7	2,3	3,9	2,9

Note: -

Località Via Pertini

Cat. di sottosuolo ai sensi del D.M. 14/01/08: C

Cat. di sottosuolo di sito ai sensi del D.M. 14/01/08

Cat. di sottosuolo da adottare in progetto a seguito dell'analisi di II livello secondo le procedure dell'All. 5 D.g.r. 9-2616 del 30/11/2011

ALLEGATO 2

METODOLOGIE DI CALCOLO ADOTTATE NEL PREDIMENSIONAMENTO DELLE FONDAZIONI

CAPACITA' PORTANTE

Per il calcolo della P_{lim} , riferito alla resistenza al taglio, si utilizza il criterio di **Brinch-Hansen modificato** (1970), nella forma generale

$$P_{lim} = \frac{1}{2} \cdot \gamma_2 \cdot B \cdot N_\gamma \cdot \alpha_\gamma + q \cdot N_q \cdot \alpha_q + c \cdot N_c \cdot \alpha_c$$

In cui:

- N_c, N_γ, N_q = fattori di capacità portante in funzione di ϕ - (vedi oltre)
 $q = \gamma_1 H$ = pressione esistente alla quota d'imposta della fondazione
 H = profondità del piano d'imposta delle fondazioni
 B = lato minore della fondazione
 γ_1 / γ_2 = peso di volume secco/saturo sopra il piano di fondazione
 γ_2 / γ_2 = peso di volume secco/saturo sotto il piano di fondazione
 (nel caso di livello di falda interagentente col cuneo di fondazione si utilizza il valore γ_e); - (vedi oltre)
 α_n = $i_n \cdot s_n \cdot d_n \cdot b_n \cdot g_n \cdot z_n \cdot p_n$ (con $n = \gamma, q, c$) - (vedi oltre)

In terreni granulari ($c=0, \phi>0$), il terzo termine di questa relazione si annulla.

$$P_{lim} = \frac{1}{2} \cdot \gamma_2 \cdot B \cdot N_\gamma \cdot \alpha_\gamma + q \cdot N_q \cdot \alpha_q \text{ (granulari)}$$

In terreni interamente coesivi ($c>0, \phi=0$) si annulla il primo termine.

$$P_{lim} = q + c \cdot N_c \cdot \alpha_c \text{ (coesivi)}$$

	γ	q	c
N	$2 (N_q - 1) \operatorname{tg}(\phi)$ (Vesic, 1975)	$c^{\pi \operatorname{tg}(\phi)} \operatorname{tg}^2(45 + \phi/2)$ (Prandtl, 1921)	$(N_q - 1) \cot \operatorname{tg}(\phi)$ (Prandtl, 1921)
s Fattore di forma (De Beer, 1967) (carichi verticali)	$1 - 0.4 (B/L)$	$1 + (B/L) \operatorname{sen}(\phi)$	$0.2 B/L$ per $\phi=0$ $1 + (N_q/N_c) (B/L)$ per $\phi>0$
s Fattore di forma (De Beer, 1967) (carichi inclinati)	$1 - 0.4 (B i_\gamma/L)$	$1 + (B i_q/L) \operatorname{tg}(\phi)$	$0.2 (1 - i_c) (B/L)$ per $\phi=0$ $1 + (N_q/N_c) (B/L)$ per $\phi>0$
d Fattore di profondità (Brinch-Hansen, 1970; Vesic, 1973)	1	$1 + 2 \operatorname{tg}(\phi) [1 - \operatorname{sen}(\phi)]^2 k$ dove $k=D/B$ per $D/B \leq 1$ $k=\operatorname{atang}(D/B)$ per $D/B > 1$	$0.4 k$ per $\phi=0$; $1 + 0.4 k$ per $\phi>0$ dove $k=D/B$ per $D/B \leq 1$ $k=\operatorname{atang}(D/B)$ per $D/B > 1$
i Fattore per l'inclinazione dei carichi	$[1 - 0.7 H / (V + A c \cot \operatorname{tg}(\phi))]^5$ per $b^\circ=0$; $[1 - (0.7 - b^\circ/450) H / (V + A c \cot \operatorname{tg}(F))]^5$ per $b^\circ>0$; dove H = componente longitudinale del carico; V = componente assiale del carico; c = coesione b° = inclinazione della base della fondazione rispetto all'orizzontale; A = area effettiva della fondazione;	$[1 - 0.5 H / (V + A c \cot \operatorname{tg}(\phi))]^5$	$0.5 - 0.5 \sqrt{1 - H / (A c)}$ per $\phi=0$; $i_q - (1 - i_q) / (N_q - 1)$ per $\phi>0$;
b Fattore di inclinazione della base della fondazione	$\exp[-2.7 b(\operatorname{rad}) \operatorname{tg}(\phi)]$ Dove b = inclinazione della base della fondazione rispetto all'orizzontale, in ($^\circ$) o (rad)	$\exp[-2 b(\operatorname{rad}) \operatorname{tg}(\phi)]$	$b^\circ/147$ per $\phi=0$; $1 - b^\circ/147$ per $\phi>0$;
g Fattore correttivo per fondazione su pendio	$(1 - 0.5 \operatorname{tg} p^\circ)^5$ Dove p° = inclinazione del pendio	$(1 - 0.5 \operatorname{tg} p^\circ)^5$	$p^\circ/147$ per $\phi=0$; $1 - p^\circ/147$ per $\phi>0$;

SOLLECITAZIONI INDOTTE DAL SISMA (coefficienti z)

STUDIO GEOLOGICO SCALVINI

Via San Giuseppe 8 – 25017 – LONATO DEL GARDA (BS) Cell. 333.8506030 - Tel 030.618.2811

E mail: damiano@studiotecnicoescalvini.com

PEC: damianoscalvini@epap.sicurezzaapostale.it (dal 1.07.22 damianoscalvini@pec.epap.it)

Per tener conto delle sollecitazioni indotte da un evento sismico è opportuno prendere in considerazione, nel calcolo della portanza, anche gli effetti cinematici sul terreno di fondazione, effetti che conducono ad una diminuzione della capacità portante. Ciò è possibile con l'applicazione di coefficienti riduttivi ai fattori di portanza N_q , N_c e N_γ , come quelli introdotti da Paolucci e Pecker in questa forma:

$$z_q = z_\gamma = \left(1 - \frac{k_{hk}}{tg\varphi}\right)^{0.35} \quad z_c = 1 - 0.32k_{hk}$$

dove k_{hk} è il coefficiente sismico orizzontale riferito al piano di posa delle fondazioni (vedi sotto).

Il D.M. 17/01/2018 suggerisce di applicare la correzione, con le formule viste sopra, solo al fattore N_γ , ponendo quindi $z_q = z_c = 1$.

Il valore di k_{hk} è pari a:

$$k_{hk} = \beta a_g$$

dove β è ricavabile dalla tab. 7.11.1 del DM 17/01/2018 e il valore a_g (accelerazione massima orizzontale al piano di posa delle fondazioni), si ricava dalla seguente relazione:

$$a_g = S_s S_t a_{sito}$$

dove:

- a_{sito} = accelerazione sismica orizzontale al bedrock nel sito d'indagine,
- S_s = coefficiente di amplificazione stratigrafica
- S_t = coefficiente di amplificazione topografica

PRESENZA DELLA FALDA

La spinta idrostatica del terreno comporta la riduzione del valore del peso di volume del terreno (γ_n) secondo la formula

$$\gamma' = \gamma_n - \gamma_a$$

dove γ_n è il peso di volume del terreno e γ_a è il peso di volume dell'acqua, pari a $0,9982 \text{ g/cm}^3 = 9,982 \text{ kN/m}^3$ a 20°C .

A seconda del tipo di interferenza del livello di falda con il cuneo di rottura, la cui profondità rispetto al piano di imposta della fondazione è definito dalla relazione $H = 0,5 B \tan (45 + \phi/2)$, si possono verificare quattro casi:

1. Livello di falda inferiore al cuneo: nessun effetto sulla capacità portante
2. Livello di falda pari al piano fondale: in questo caso g_1 rimane invariato mentre $\gamma'_2 = \gamma_2 - \gamma_a$
3. Livello di falda coincidente col piano campagna: in questo caso $\gamma'_1 = \gamma_1 - \gamma_a$ e $\gamma'_2 = \gamma_2 - \gamma_a$
4. Livello di falda all'interno del cuneo di rottura:

In questo caso è possibile calcolare un valore medio γ_c pari a:

$$\gamma_c = (2H - d_w)(d_w/H^2)\gamma_n + (\gamma'/H^2)(H - d_w)^2$$

dove $H = 0,5 B \tan (45 + \phi/2)$ e d_w = profondità falda sotto il piano fondale.

Il valore γ_c si applica al primo termine di capacità portante ($0,5\gamma_c B N_\gamma$).

CARICHI ECCENTRICI

Nel caso di momenti applicati alla fondazione, il carico (Q) risulterà applicato in modo eccentrico. L'eccentricità rispetto al lato corto (eb) e al lato lungo (el) della fondazione si calcola con le seguenti relazioni:

$$eb = Mb/Q; \quad el = Ml/Q;$$

dove Mb e Ml sono i momenti agenti rispettivamente lungo il lato corto e lungo della fondazione.

Nel calcolo della capacità portante quindi, i valori di B e L vengono corretti come segue:

$$B' = B - 2 eb; \quad L' = L - 2 el.$$

CEDIMENTI

Per il calcolo dei cedimenti in terreni granulari viene utilizzato il metodo di Burland-Burbridge (1983), definito dalla formula:

$$s = f_s \cdot f_h \cdot f_t (q' - 2/3 \sigma'_{vo}) \cdot B^{0.7} \cdot I_c$$

in cui:

$$f_t = 1,3 + 0,2 \text{ Log}(T / 3) \text{ per carichi statici;}$$

$$f_t = 1,7 + 0,8 \text{ Log}(T / 3) \text{ per carichi dinamici;}$$

$$T = \text{anni di calcolo del cedimento secondario } (> 3);$$

STUDIO GEOLOGICO SCALVINI

Via San Giuseppe 8 – 25017 – LONATO DEL GARDA (BS) Cell. 333.8506030 - Tel 030.618.2811

E mail: damiano@studiotecnicoescalvini.com

PEC: damianoscalvini@epap.sicurezzaepapale.it (dal 1.07.22 damianoscalvini@pec.epap.it)

$$f_s = [1.25 (L / B) / (L / B + 0.25)]^2;$$

$$f_h = 1 \text{ se } S_p \geq Z_i; \quad f_h = (S_p / Z_i) \times (2 - (S_p / Z_i)) \text{ se } S_p < Z_i \text{ con}$$

S_p = spessore dello strato maggiormente compressibile
 $Z_i = 1.025 + 0.4286 B - 9.91 \cdot 10^{-4} B^2$

I_c = fattore che tiene conto della probabilità che il cedimento reale superi quello calcolato;
viene calcolato come segue:

$$I_{c50} = 1.706 / (N_{spt})^{1.4} \text{ (probabilità del 50\% che il cedimento reale non superi quello calcolato)}$$

$$I_{c2} = 5.47 / (N_{spt})^{1.4} \text{ (probabilità del 2\% che il cedimento reale non superi quello calcolato);}$$

con N_{spt} = numero di colpi medio dello strato;

σ'_{vo} = pressione efficace al piano di posa della fondazione;

q' = carico applicato alla fondazione;

B = lato corto della fondazione.

Il calcolo dei cedimenti in **terreni coesivi** viene eseguito utilizzando la teoria di Boussinesq e procedendo come segue:

- stima della propagazione del carico in profondità
- suddivisione del terreno di fondazione in strati omogenei
- somma degli effetti dei cedimenti per ogni singolo strato.

La formula utilizzata nel calcolo dei cedimenti è quella di **Terzaghi**, espressa come:

$$\Sigma \Delta H = \Sigma (\Delta H_0 \Delta q M_v)$$

dove:

ΔH = cedimento

H_0 = intervallo omogeneo considerato

Δq = incremento di carico

M_v = coefficiente di compressibilità volumetrico, pari a $1/(R_p \alpha)$

Con: R_p (in Mpa): resistenza alla punta

$\alpha = 0,5$ per sabbie

$2 < \alpha < 5$ per sabbie argillose e argille compatte

$5 < \alpha < 10$ per argille molli

COEFFICIENTE DI SOTTOFONDAZIONE

Per il calcolo del coefficiente di sottofondazione viene adottata la seguente formula:

$$k_{vm} = q_e / w_{el}$$

in cui q_e = carico applicato in fondazione;

w_{el} = cedimento elastico medio corrispondente.

STUDIO GEOLOGICO SCALVINI

Via San Giuseppe 8 – 25017 – LONATO DEL GARDA (BS) Cell. 333.8506030 - Tel 030.618.2811

E mail: damiano@studiotecnico-scalvini.com

PEC: damianoscalvini@epap.sicurezza-postale.it (dal 1.07.22 damianoscalvini@pec.epap.it)

Allegato 3:

Acquisizione ed elaborazione dei dati sismici con metodologia Masw

Per la caratterizzazione sismostratigrafica dei terreni è stato eseguito, in data 23/11/2016 presso l'area d'indagine sita in Via Pertini a Pieve San Giacomo (CR) uno stendimento di sismica multicanale con acquisizione delle onde superficiali, comprese quelle a bassa frequenza, ed elaborazione dei dati secondo la procedura tipo MASW.

Mediante tale metodologia è possibile eseguire la valutazione delle velocità V_{s30} di sito al fine di classificare il terreno di fondazione secondo le tabelle allegate al D.M. 14/01/08.

Acquisizione dei dati

L'acquisizione dei dati della campagna di indagine avvenuta nel 2015 è avvenuta secondo le modalità "common-shot gathers", utilizzando strumentazione "Ambrogeo" costituita da un sismografo multicanale ECHO 24/2010 a 24+1 canali, con collegati 24 geofoni verticali OYO GEOSPACE con frequenza di 4,5 Hz. L'energizzazione è stata ottenuta mediante massa battente manovrata a mano (mazza da 8 kg – mod. SIS-020-000) agente a percussione su una piastra quadrata, collocata all'esterno dello stendimento dei geofoni.

E' stata quindi utilizzata la procedura di analisi MASW (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*); i dati acquisiti sono stati elaborati mediante il software winMASW (creato dalla Elisoft). Il risultato finale è la determinazione, in corrispondenza di ciascuno stendimento sismico del **profilo verticale medio della V_s** (velocità delle onde di taglio), necessario per l'applicazione delle procedure di 2° livello.

Cenni sulla metodologia MASW

La procedura di analisi MASW utilizza la propagazione nel sottosuolo delle onde di superficie. Infatti le onde di Rayleigh (o di superficie) in un mezzo non stratificato si propagano in maniera lineare in funzione della distanza del geofono, al contrario in un mezzo stratificato subiscono il fenomeno della dispersione. La curva di dispersione permette quindi di determinare le caratteristiche del sottosuolo. La velocità di propagazione per una certa lunghezza d'onda (λ), quindi frequenza, è infatti influenzata dalle proprietà che il mezzo possiede fino ad una profondità di $\lambda/2$. La velocità delle onde di Rayleigh (V_R) è correlabile alla V_s , essendo pari a circa il 90% della velocità delle onde di taglio (V_s).

Tenuto conto di quanto richiesto per l'applicazione della normativa relativa alla pianificazione territoriale, si è ritenuto che la metodologia di analisi MASW, la cui validità tecnica e scientifica risulta oramai consolidata, fosse la più idonea.

Tale scelta risulta avvalorata dalle seguenti considerazioni:

- La percentuale di energia convertita in onde Rayleigh è di gran lunga predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde P (7%) ed S (26%).
- L'ampiezza delle Surface Waves dipende da \sqrt{r} e non da r come per le Body Waves.
- Il metodo MASW non è limitato, a differenza del metodo a rifrazione, dalla presenza di inversioni di velocità in profondità
- Il metodo MASW è contraddistinto da una buona risoluzione, a differenza del metodo a riflessione.
- La propagazione delle onde di Rayleigh, anche se influenzata dalla V_p e dalla densità, è funzione innanzitutto della V_s , parametro di fondamentale importanza nella caratterizzazione geotecnica di un sito ed in particolare per l'applicazione della procedura di 2° livello prevista dall'All. 5 della D.G.R. 9/2616

Metodi di analisi dei dati con procedura MASW

La stima dell'andamento in profondità delle velocità V_s , mediante acquisizione sismica multicanale, viene ottenuta tramite inversione delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh.

La procedura prevede la possibilità di considerare tanto il modo fondamentale che quelli superiori e consta di due fasi operative principali:

- Determinazione dello spettro di velocità - Individuazione delle curve di dispersione
- Determinazione dell'andamento della velocità delle onde di taglio (V_s) sulla verticale - Inversione e/o modelling diretto della curva di dispersione

Profilo sismostratigrafico

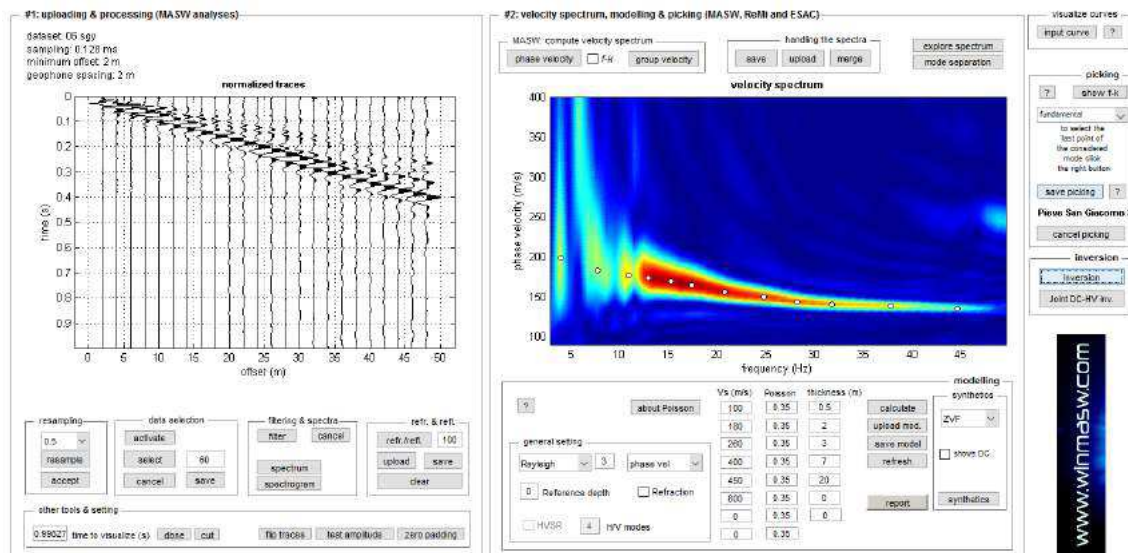
Vengono qui di seguito riportati i dati, le procedure ed i risultati relativi allo stendimento sismico predisposti entro l'area oggetto di piano.

LINEA 1

Lo stendimento è stato ubicato a sud dell'Asilo Comunale, nel campo confinante, in direzione E-W. L'allineamento ha previsto una distanza tra geofoni pari a 2 m ed una serie di scoppi esterni all'ultimo geofono con offset variabili (10-5-2 m) e diversa intensità di energizzazione.

Fase 1 - Determinazione spettro di velocità e picking della curva di dispersione

La prima operazione eseguita è la lettura del file acquisito in campagna (common-shot gather 06.sgy). Una volta caricati i dati si procede con il calcolo dello spettro di velocità. Viene indicato come unico vincolo le massime e minime velocità e frequenze (in altri termini i limiti dello spettro di velocità).



Nel caso in esame è stato individuato un modo principale, utilizzato per la successiva inversione della curva di dispersione.

Fase 2 - Inversione della curva di dispersione

Il secondo passo da affrontare per ottenere il profilo verticale della V_s è l'inversione della curva di dispersione precedentemente "piccata".

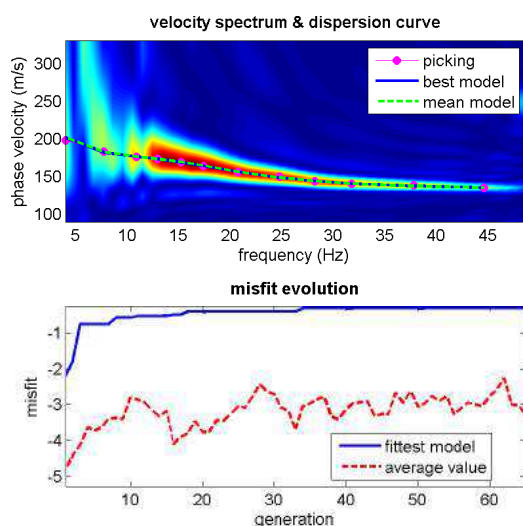
Nel contesto in esame poiché il gradiente di velocità non subisce variazioni drastiche è valida, per determinare il possibile spazio di ricerca, la cosiddetta assunzione $\lambda/2$ (data una certa lunghezza d'onda λ si assume che la sua velocità di propagazione dipenda dalle caratteristiche del mezzo ad una profondità pari a $\lambda/2$). I limiti del search space ("spazio di ricerca" o "spazio dei parametri") prescelti sono in ogni caso piuttosto ampi.

Per l'elaborazione dei modelli di velocità è stato impostato l'utilizzo di 6 strati, compatibile con l'assetto stratigrafico del sito d'interesse e con le finalità del presente studio.

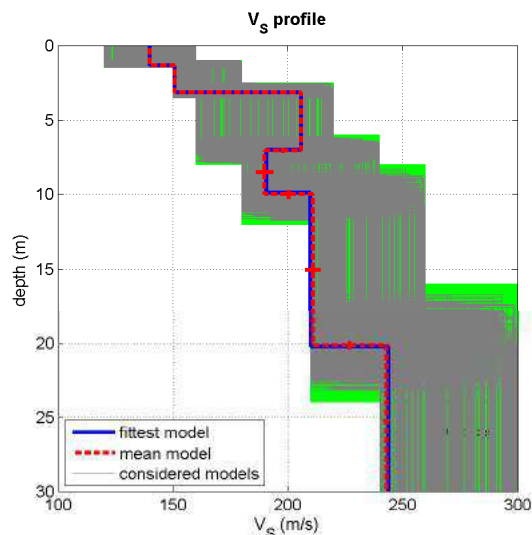
Alcuni parametri genetici sono stati considerati pari a valori standard; i tassi di crossover e di mutazione sono fissati ad esempio sui valori di 0.75 e 0.1.

Dati relativi all'elaborazione dello shot:

dataset: 06.sgy minimum offset (m): 2
geophone spacing (m): 2 sampling (ms): 0.128
Dispersion curve: Pieve San Giacomo 2016-06D IG file 06tris.cdp
Number of individuals: 50 Number of generations: 51



www.winmasw.com



dataset: 06.sgy
dispersion curve: Pieve San Giacomo 2016-06D IG file 06tris.cdp
Vs30 (best model): 207 m/s
Vs30 (mean model): 207 m/s

Velocità medie stimate:

Vs (m/s):	140	151	206	190	211	243
Standard deviations (m/s):	0	0	0	4	3	1
Thickness (m):	1.3	1.8	3.9	2.9	10.2	
Standard deviations (m):	0.0	0.0	0.2	0.3	0.3	

Approximate values for Vp, density, Poisson & Shear modulus

Vp (m/s):	291	317	429	405	438	460
Density (gr/cm3):	1.76	1.78	1.85	1.84	1.85	1.87
Vp/Vs ratio:	2.08	2.10	2.08	2.13	2.08	1.89
Poisson:	0.35	0.35	0.35	0.36	0.35	0.31
Shear modulus (MPa):	34	41	78	66	83	110

Si sottolinea che i parametri geotecnici, sopra riportati, sono riferiti a condizioni di bassa deformazione. I valori ottenuti sono stati infatti stimati in base alle deformazioni indotte nel terreno dalla propagazione delle onde sismiche. L'entità ridotta di tali deformazioni comporta alti valori dei moduli dinamici calcolati, superiori di circa un ordine di grandezza rispetto a quelli ottenibili, per lo stesso tipo di terreno, in situazione di grandi deformazioni. Per deformazioni significativamente superiori, come di norma nei calcoli geotecnici, i valori stimati dovranno quindi essere idoneamente corretti tenendo conto della funzione matematica che ne regola la diminuzione in funzione dello sforzo applicato e della deformazione risultante.

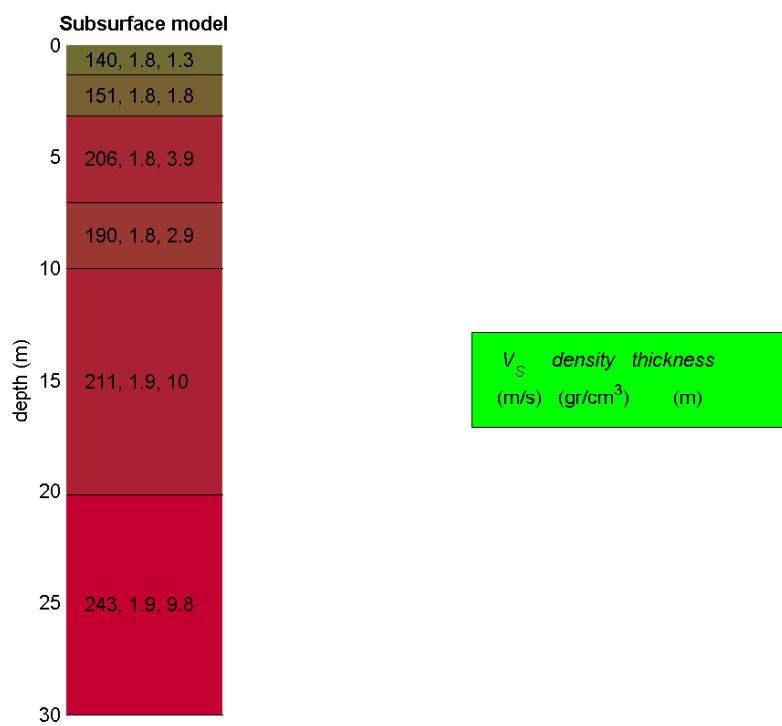
Modello Medio

Vs5 (mean model): 164 m/s Vs20 (mean model): 193 m/s
Vs30 (mean model): 207 m/s

Possibile Tipo di Suolo: C (stimato sulla base del modello medio)

ATTENZIONE! La classificazione del terreno è di pertinenza dell'utente, che ne deve valutare la tipologia sulla base della normativa e del profilo verticale VS.

winMASW 5.0 Software per la determinazione dello spettro di velocità e l'inversione della curva di dispersione secondo il metodo MASW - Multichannel Analysis of Surface Waves www.eliosoft.it



Allegato 4: Indagini di sismica HSVR

La HVSr (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) è una metodologia di indagine geofisica che consente in primo luogo di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito e di conseguenza il suo periodo di sito (T). Successivamente, come ulteriore sviluppo ed in caso di segnale con specifiche caratteristiche, essa può permettere la stima dei sismostrati e del parametro normativo Vs30 attraverso un processo di inversione del problema iniziale.

Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione.

I dati acquisiti in campo libero e all'interno dell'edificio verranno confrontati fra loro.

4.1 Acquisizione dati - Strumentazione

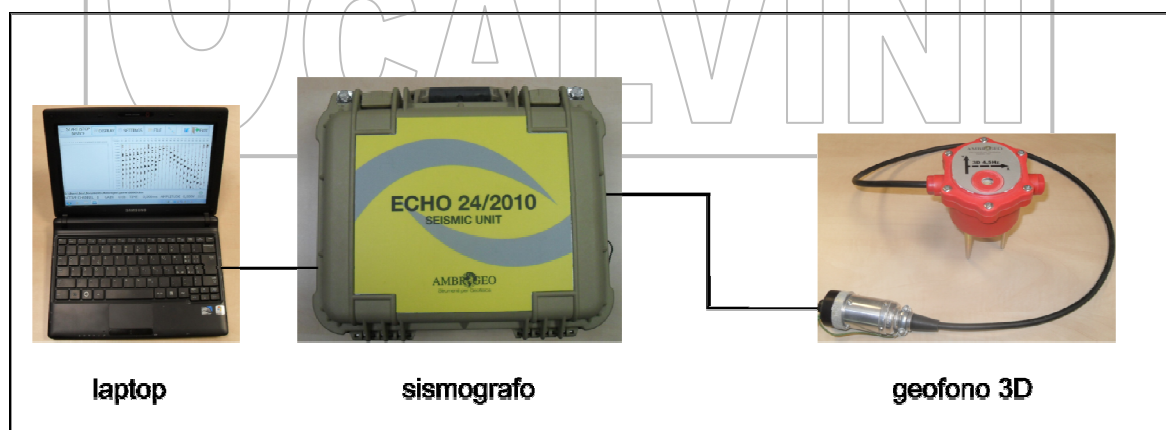
L'indagine è realizzata disponendo in posizione orizzontale un geofono tridirezionale, infiggendolo nel terreno o posizionandolo su superfici rigide (pavimentazioni, cls, manto stradale) con appositi puntali regolabili. Il geofono viene orientato con l'asse Y rivolto a nord per poter valutare la direzionalità di eventuali sorgenti di rumore dominanti.

Nella campagna di indagine in oggetto sono state realizzate n° 2 registrazioni (HVSr IN e HVSr OUT) della lunghezza di 1200 secondi ciascuna, ubicate una all'interno e una all'esterno dell'edificio così come indicate nella planimetria allegata.

Per la registrazione nel punto esterno il geofono 3D è stato posizionato a quota del piano campagna su terreno vegetale (HVSr OUT).

Nel sito di indagine non sono state rilevate fonti di rumore antropico o naturale in grado di interferire significativamente con il segnale sismico acquisito.

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un sismografo multicanale "ECHO 24/2010", dotato di un geofono tridirezionale frequenza propria di 4,5 Hz, collegato allo strumento tramite cavo elettrico schermato.



"ECHO 24/2010" con geofono 3D

Lo strumento è in grado di acquisire simultaneamente sui 3 canali. La gestione del sismografo avviene tramite software proprietario installato su laptop, tramite il quale è possibile 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 in tempo reale del segnale su tutti i geofoni attivi;
- visualizzazione del sismogramma con misura dei tempi di arrivo;
- memorizzazione di tutti i dati relativi all'acquisizione.

4.2 Cenni sulla metodologia HVSR

La *HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)* è una metodologia di indagine geofisica che consente di valutare la **frequenza di vibrazione naturale di un sito**.

Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate.

Il geofono tridirezionale viene orientato con l'asse Y rivolto a nord per poter valutare la direzionalità di eventuali sorgenti di rumore dominanti. Lo strumento acquisisce in continuo per almeno 20 minuti i segnali sismici in tre direzioni ortogonali tra loro provenienti dalle vibrazioni indotte nel terreno da fonti naturali o artificiali. 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 sismogramma che contiene molteplici informazioni quali i tempi di arrivo al geofono tridirezionale, le frequenze e relative ampiezze dei treni d'onda.

La successiva analisi del segnale consente di ottenere gli spettri delle frequenze nelle tre direzioni spaziali tra loro ortogonale di cui una verticale e due orizzontali. In conclusione si ottiene il diagramma del rapporto spettrale H/V che consente di definire la frequenza propria di risonanza del sito indagato. Tale diagramma, riferibile al punto in cui è posizionato il geofono, è rappresentativo di un valor medio di volume di terreno interessato all'indagine e di una profondità variabile principalmente in funzione delle caratteristiche dei materiali attraversati.

4.3 Metodi di Analisi dei Dati

L'elaborazione è stata effettuata con un software dedicati (*Winmasw pro* e *EasyHVSR*) in grado di gestire le fasi di preparazione, analisi e restituzione finale.

La fase iniziale consiste in un'operazione detta di *windowing*, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del progetto SESAME tale dimensione, detta *Long Period*, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "*long*", che sono sincronizzate fra le tracce.

Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.

Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a *tapering* e/o liscio secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee.

Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza

secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea.

Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di *windowing*.

Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito e della frequenza di risonanza ai diversi piani (solitamente il piano terra e l'ultimo piano) del fabbricato.

Il confronto tra la frequenza naturale e quelle del fabbricato consente di valutare il rischio che la struttura entri in risonanza a causa di un sisma; il fenomeno di risonanza è tanto più probabile e significativo quanto più le frequenze di sito e della struttura sono simili.

4.4 Risultati – Periodi e Frequenze del sito

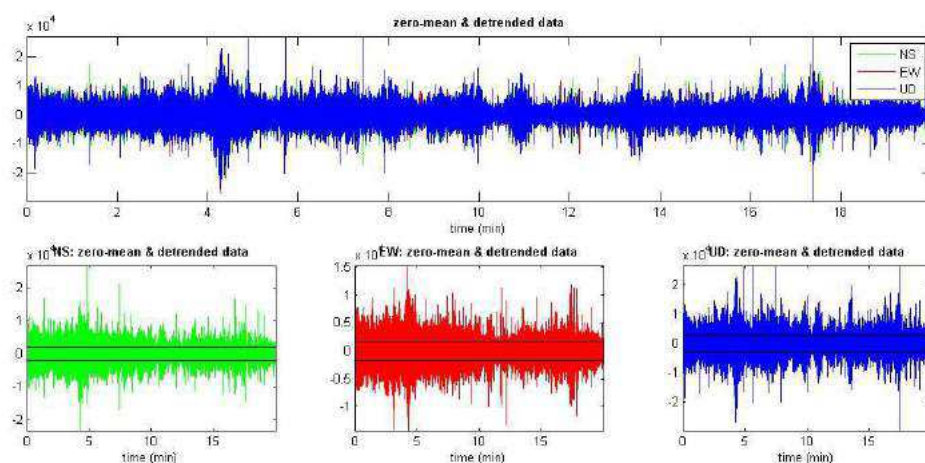
L'analisi dei rapporti spettrali, ha consentito di valutare l'amplificazione naturale di sito:

posizione	Periodo principale (sec)	frequenza picco principale (Hz)	rapporto spettrale H/V picco principale	frequenza picco secondaria (Hz)	rapporto spettrale H/V picco second.
HVSRout	0,016	61,15	2	1,45	0,9
HVSRin	0,023	43,15	0,66	19,30	0,64

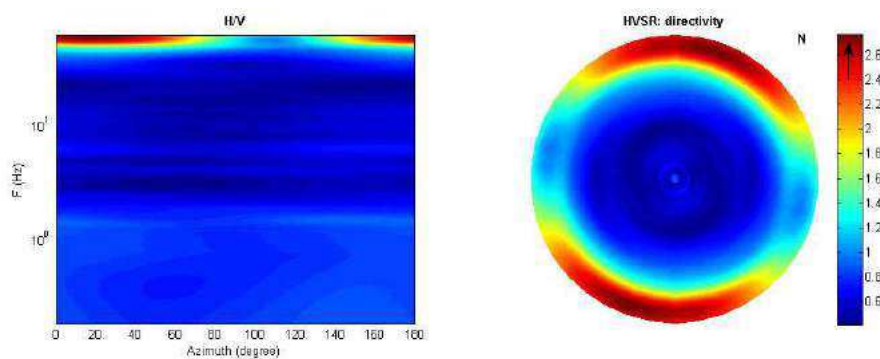
L'acquisizione HVSR OUT è caratterizzata da una curva H/V con un picco a frequenza molto alta (> 60 Hz), avente rapporto H/V di circa 2 e picchi secondari di ampiezza inferiore a 1; il picco principale è associabile a profondità assai ridotte rispetto il piano campagna (circa 1 m). L'acquisizione HVSR IN presenta 2 picchi, parzialmente coalescenti, aventi un rapporto H/V basso, ma senza evidenziare il picco ad alte frequenze delle misure esterne.

Il confronto tra la frequenza della misura HVSR sul terreno e quella nell'edificio, tenendo anche conto della presenza di picchi a basso rapporto H/V in entrambe le misure, evidenzia una parziale sovrapposizione tra la curva del picco principale della misura sul terreno e la curva del picco a 43,15 Hz, misurato nella struttura. Sebbene la seconda sia di ampiezza molto bassa e solo parzialmente sovrapponibile al picco di sito, non si esclude la possibilità che si presentino effetti di risonanza tra il terreno e la struttura stessa. In tale contesto si ritiene quindi che l'edificio possa risentire, in modo più o meno significativo, degli effetti di amplificazione litologica indotti dai sismi attesi nel sito di studio.

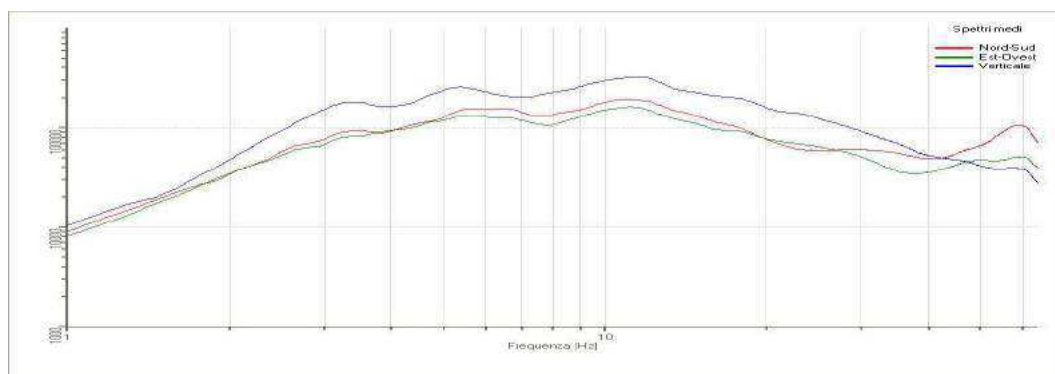
HVSR OUT



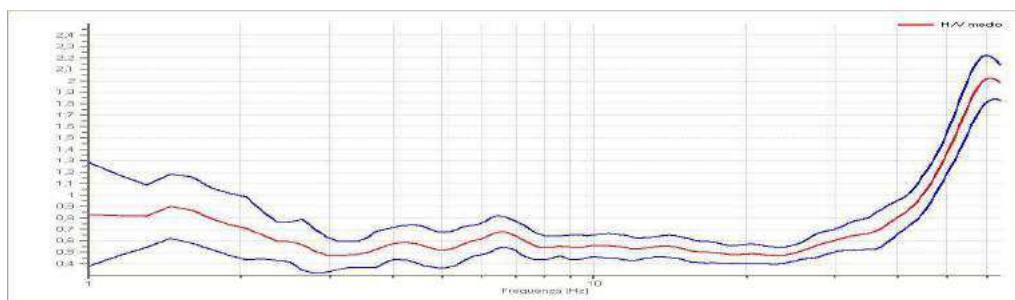
Registrazioni delle tracce nelle tre direzioni spaziali



Diagrammi della direzionalità

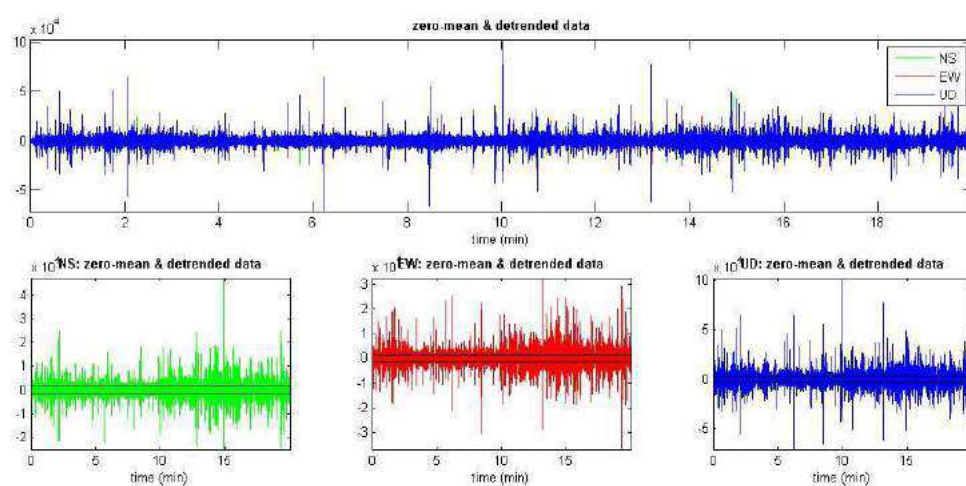


Spettri medi nelle tre direzioni spaziali

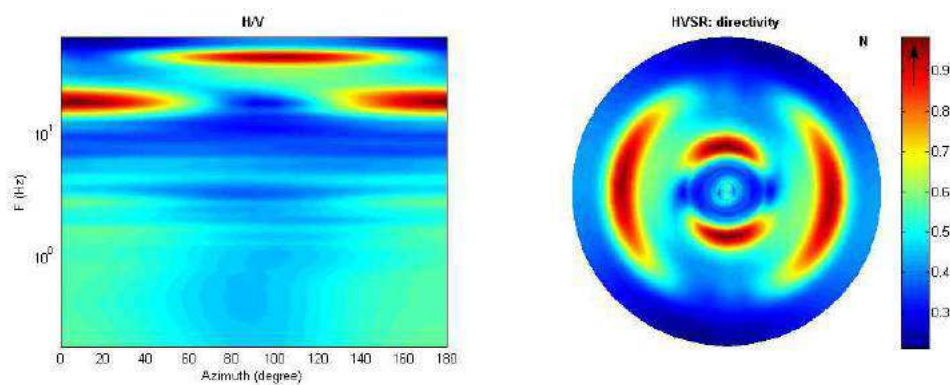


Rapporto H/V con intervallo di fiducia

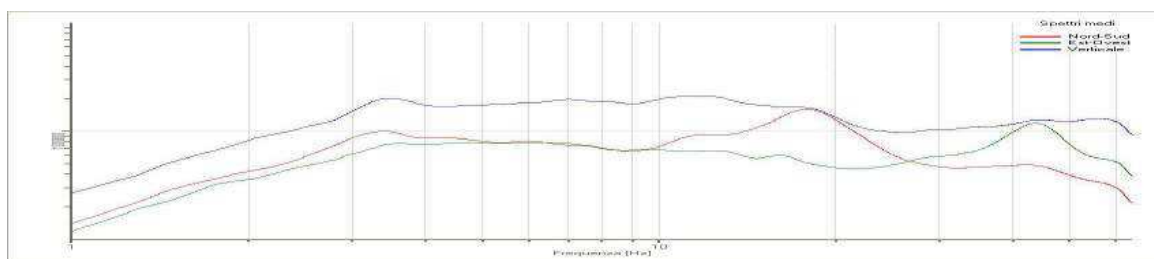
HVSR IN



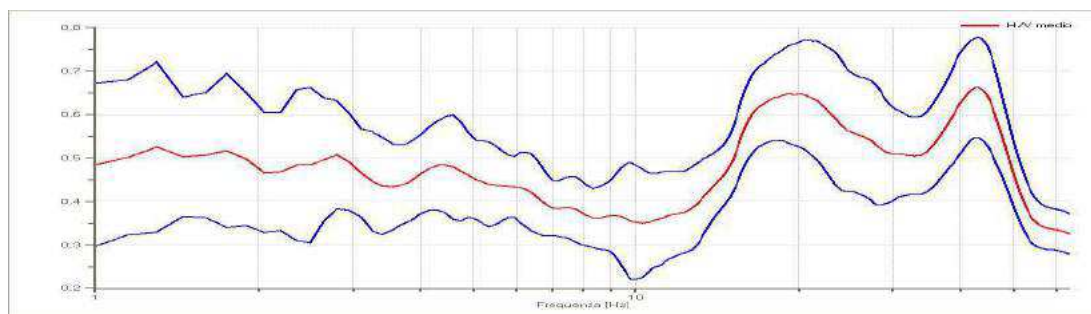
Registrazioni delle tracce nelle tre direzioni spaziali



Diagrammi della direzionalità



Spettri medi nelle tre direzioni spaziali



Rapporto H/V con intervallo di fiducia