

**Provincia di Brescia
COMUNE DI CARPENEDOLO**



**REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE
PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE**

**RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA
RELAZIONE GEOTECNICA**

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

Il Tecnico
Dott. Geol. Luca Donato Piazza

Ordine dei Geologi della Lombardia n° 1380AP



Pieve d'Olmi (CR), 11/11/2024

**Provincia di Brescia
COMUNE DI CARPENEDOLO**

**REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN
AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE**

COMMITTENTE: Mak S.p.A.
Via C. Colombo, 14
25013 Carpenedolo (BS)

INDICE:

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

| | |
|--|----|
| PREMESSA..... | 5 |
| 1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO | 6 |
| 2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO | 7 |
| 3. SISMOTETTONICA..... | 14 |
| 4. PERICOLOSITA' E FATTIBILITA' | 20 |
| 5. SISMICITA' | 23 |
| 6. INDAGINE SISMICA | 25 |
| 6.1 METODO DI INDAGINE..... | 26 |
| 6.2 STRUMENTAZIONE..... | 29 |
| 6.3 ELABORAZIONE..... | 30 |
| 6.4 RISULTATI | 31 |
| 7. AMPLIFICAZIONE SISMICA DEL SITO..... | 33 |
| 7.1 PROCEDURA REGIONE LOMBARDIA..... | 34 |
| 7.2 DETERMINAZIONE DEL PERIODO DI RIFERIMENTO DEL SITO | 36 |
| 8. CALCOLO DELL'AZIONE SISMICA | 36 |
| 9. INDAGINE GEOGNOSTICA | 42 |
| 10. NATURA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO | 44 |
| 11. RISCHIO DI LIQUEFAZIONE..... | 47 |
| CONCLUSIONI | 55 |

RELAZIONE GEOTECNICA

| | |
|--|----|
| 1. CONSIDERAZIONI GEOTECNICHE | 57 |
| 1.1 VERIFICA DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI | 58 |
| CONCLUSIONI E PRESCRIZIONI..... | 63 |

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|--------------------------------|---|----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 2 di 65 |
| N. COPIE: | Autore: Studio Gea Engineering | | |

ALLEGATI:

- Tabelle e grafici prove penetrometriche SCPT1-2

RIFERIMENTI NORMATIVI:

- **Decreto Ministeriale 14/01/2008**
“Norme Tecniche per le Costruzioni”
- **Decreto Ministeriale 17/01/2018**
Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le Costruzioni”
- **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici**
Istruzioni per l’applicazione delle “Norme Tecniche per le Costruzioni” di cui al D.M. 14/01/2008. Circolare 02/02/2009
- **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici**
Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n. 36 del 27/07/2007
- **Eurocodice 8 (1998)**
- **Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture**
Parte 5: fondazioni, strutture di contenimento e aspetti geotecnici (2003)
- **Eurocodice 7.1 (1997)**
Progettazione geotecnica – Parte I: regole generali UNI
- **Eurocodice 7.3 (2002)**
Progettazione geotecnica – Parte II: progettazione assistita con prove in situ (2002)
- **Legge Regionale Lombardia 11/03/2005 n. 12**
- **D.G.R. Lombardia n. 9/2616 del 30/11/2011**
Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell’art. 57, comma 1, della L.R. 11/03/2005 n. 12
- **D.G.R. Lombardia n. 10/2129 del 11/07/2014**
Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d)

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 3 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

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

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

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

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

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

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

- **D.P.R. 13 giugno 2017, n. 120.**

Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle “terre e rocce da scavo”

- **Autorità di Bacino del Fiume Po**

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

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

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

- **Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica del Piano di Governo del Territorio del Comune di Carpenedolo e relative Norme Tecniche di Attuazione**

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 4 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

PREMESSA

Su incarico e per conto della ditta Mak S.p.A. e d'intesa con il Geom. Mauro Vitali e l'Ing. Fulvio Arrigoni, viene redatta la presente relazione geologica e sismica a corredo del progetto di realizzazione di un nuovo capannone prefabbricato, in comune di Carpenedolo (BS).

La struttura in progetto, che sorgerà in ampliamento alle strutture produttive esistenti, avrà dimensioni in pianta di circa 46x59 m.

La presente relazione, sintesi e compendio dello studio geologico eseguito per la determinazione delle caratteristiche stratigrafiche, litologiche, idrogeologiche e geotecniche dei terreni costituenti il sottosuolo e più in generale della pericolosità geologica del sito oggetto di intervento, contiene le considerazioni e le stime a carattere geologico-geotecnico riguardanti i terreni interessati dall'opera in progetto.

La nuova struttura, alla luce del D.M. 17/01/2018, appartiene al Tipo 2 (N.T.C. 2018 2.4.1) con Classe d'Uso II (N.T.C. 2018 2.4.2). Di conseguenza questa relazione, seguendo i dettami della normativa vigente e dello stato dell'arte, è finalizzata alla costruzione del modello geologico che è imprescindibile per la redazione del successivo modello geotecnico, facente parte della relazione d'opera geotecnica.

Al fine di definire le caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche del sottosuolo del sito in oggetto, in data 21/05/2021, in corrispondenza del sedime della struttura in progetto sono state eseguite n° 2 prove penetrometriche dinamiche SCPT spinte fino alla profondità di 10,20 m dal piano campagna a cui si è affiancato un scavo esplorativo con pala meccanica della profondità di circa 3 metri; inoltre, all'interno dell'area confinante a sud, a corredo del progetto di realizzazione delle strutture esistenti, sono state eseguite altre quattro prove penetrometriche.

Infine, per la definizione della categoria di sottosuolo, è stata eseguita una prospezione sismica con metodo MASW.

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

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

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 5 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area in esame è situata nella porzione meridionale del territorio comunale di Carpenedolo, nella zona artigianale, tra via 8 marzo e via C. Colombo; ricade nel Foglio D6e5 della Carta Tecnica Regionale ed è centrata sulle coordinate $45^{\circ}20'58.65''$ di latitudine N, $10^{\circ}26'07.56''$ di longitudine E ad una quota di circa 68,5 m s.l.m.

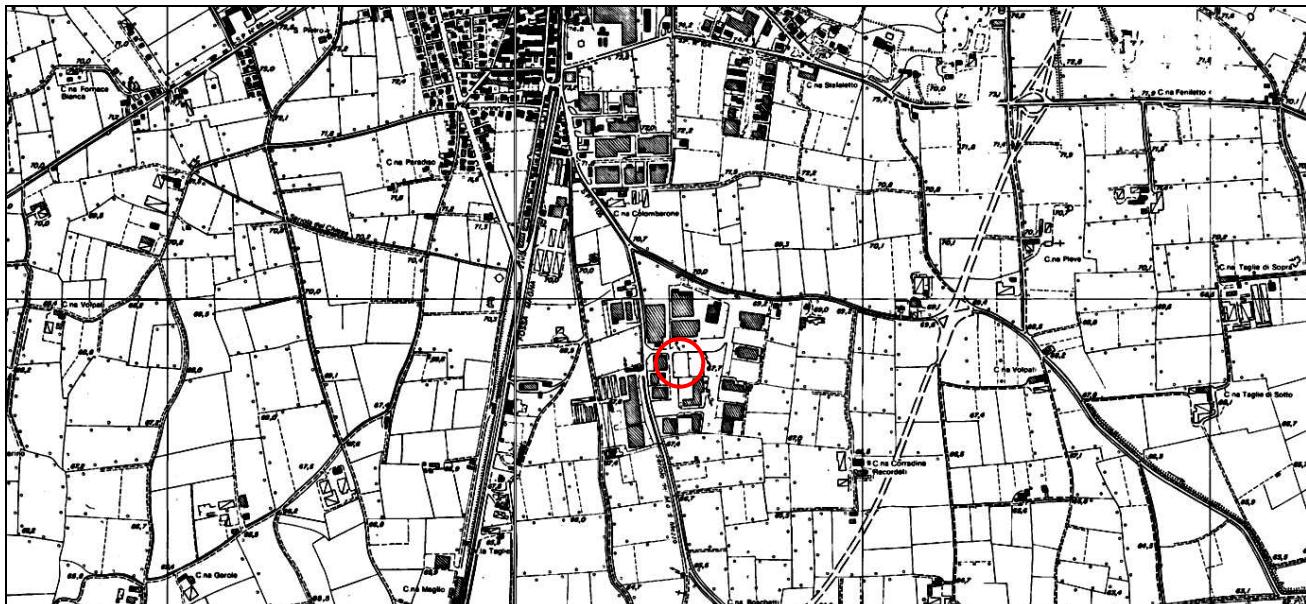


Figura 1– Carta Tecnica Regionale (CTR) Sezioni D6d5-D6e5 con ubicazione area di interesse –



Figura 2 - Veduta aerea dell'area di indagine (estratto da Google Maps) –

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|--------------------------------|---|----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 6 di 65 |
| N. COPIE: | Autore: Studio Gea Engineering | | |

La proprietà è inquadrata nei Mappali 284-285 Foglio 30, del Comune censuario di Carpenedolo (BS) – Codice Catastale B817.



Figura 3 – Estratto di Mappa catastale - Foglio 30, Mappali 284-285-

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO

Il territorio è comprensivo di due unità morfologiche ben definite: la fascia della media-pianura padana e alcune colline dell'arco esterno dell'anfiteatro morenico del Garda; la quota della pianura rispetto al livello del mare è sui 70 metri e quella delle colline oscilla tra 100÷120 metri.

La sequenza degli avvenimenti che hanno portato alla struttura attuale del territorio di Carpenedolo può quindi essere ricostruita sulla base delle fasi delle glaciazioni quaternarie. La prima espansione glaciale (Gunz) ha lasciato poche testimonianze che, nel caso, sono state completamente obliterate, mentre la seconda è responsabile della formazione delle nostre colline. Al ritiro dei ghiacciai e alla conseguente fusione di queste masse (fase cataglaciale), correnti notevoli simili a fiumi in piena ma più vaste di quelle attuali, dette "scaricatori fluvioglaciali" si espandevano con i detriti verso Sud, a formare coltri parzialmente stratificate con effetto fortemente erosivo e di deposito.

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 7 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

La fase glaciale mindeliana è testimoniata dal cordone esterno dell'anfiteatro e interessa le colline che vanno da Carpenedolo a Montichiari, a "ferretto", di dolce morfologia, esterne di 4-6 chilometri rispetto alle cerchie rissiane di Lonato-Castiglione. Sono qui intese come cerchie esterne quelle che negli anfiteatri morenici si trovano all'"esterno" delle cerchie più elevate, pur presentando ancora un'evidente morfologia morenica. In cresta è presente il morenico "fresco", a ghiaie bianche e rosate, eroso e dilavato dal preesistente "ferretto". Una leggera coltre di "loess" giallo chiaro, poco argilloso del Würm, copre talvolta le depressioni, i ripiani o i bassi cordoni morenici mindeliani, presentandosi in genere sui versanti esterni dell'arco e sulle aree sommitali, nelle aree meno interessate da attività erosive e anche in accordo con la direzione prevalente dei venti riscontrata da Est verso Ovest.

Nella seconda glaciazione e più precisamente durante la fase anaglaciale rissiana, si vengono a formare i cordoni più interni che corrispondono alle attuali colline di Castiglione delle Stiviere; gli scaricatori fluvioglaciali conseguenti hanno interessato i terreni vicini, prima mediante un apporto sedimentario e, in seguito, con un aumento notevole di energia, erodendo il cordone morenico mindeliano preesistente lasciando solo colline come testimoni, isolate ed allineate; quelle attuali fra Montichiari e Carpenedolo, mentre i sedimenti andavano a costruire la pianura più a Nord.

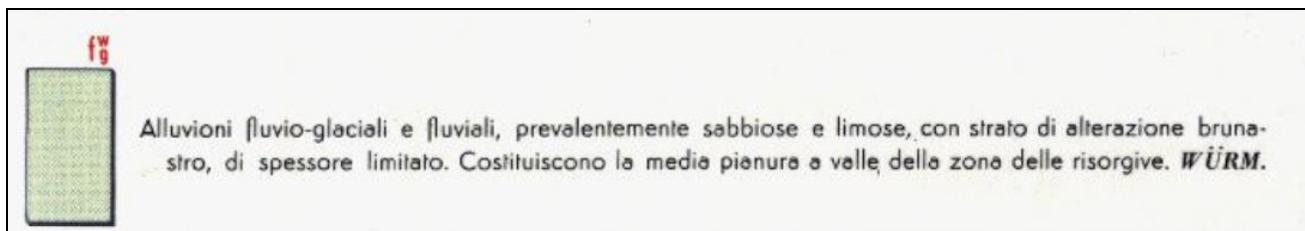
Verso Sud il fluvio glaciale rissiano sfuma ed è dilavato dal pluviale würmiano: intervallo di tempo caratterizzato da clima più umido dell'attuale, con abbondanti precipitazioni; tipico di regioni a più bassa latitudine rispetto a quelle interessate dalle glaciazioni. Successivamente altri periodi glaciali con la medesima meccanica e più arretrati definirono l'insieme di archi collinari verso il Garda. Più a Est il Mindel doveva continuare, ma venne completamente eroso e spianato dai colossali scaricatori della vicina fonte del Riss. A Sud di Capomonte la cerchia è asportata ma sei chilometri più a Sud-Est, in allineamento essa è testimoniata ancora dal debole dorso morenico, fortemente eroso e degradato di Medole, tanto che emerge appena dalla pianura.

Il territorio comunale di Carpenedolo, dal punto di vista geologico è inquadrato nel Foglio n. 47 "Brescia" della Carta Geologica d'Italia alla Scala 1:100.000.

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 8 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |



Figura 4 – Carta Geologica d’Italia alla Scala 1:100.000 – Foglio 47 “BRESCIA” –



Si rinvengono depositi che, per la loro eterogeneità granulometrica e mineralogica, dovuta alla loro origine e ai meccanismi di deposizione visti, mostrano litofacies variabilissime. Si può tranquillamente ammettere infatti che, all'interno delle formazioni geologiche, descritte sommariamente in questo paragrafo, si possono trovare membri e talvolta anche unità di caratteristiche litologiche molto diverse, anche in spazi ristretti di qualche decina di metri.

Questo fattore, che è di estrema importanza per qualunque considerazione di carattere sia idrogeologico che geotecnico, impedisce una qualsiasi forma di continuità spaziale dei depositi alluvionali e pone il tecnico

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL’ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 9 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

in un grado di conoscenza e, quindi di decisionalità, limitato e condizionato imponendo un'analisi di dettaglio caso per caso.

Il materasso alluvionale che interessa la zona di Carpenedolo ha uno spessore di circa 300-400 metri, come si può dedurre dalle sezioni stratigrafiche ricostruite nella regione mediante i dati pubblicati in seguito alle campagne di esplorazione petrolifera condotte dalla AGIP S.p.A. (vedasi in particolare il pozzo di Montichiari 2).

Le considerazioni precedentemente svolte stanno a significare che, per incontrare rocce di una certa coerenza - per questo si deve arrivare almeno al tetto del Pliocene - bisogna perforare il sottosuolo fino ad oltre 400 metri di profondità.

In base alle osservazioni di superficie, alla ricostruzione degli eventi geologici del Quaternario e alle correlazioni geomorfologiche, si distinguono le unità formazionali che seguono, rappresentate nella loro distribuzione areale dalla carta geologica.

A partire dai depositi più recenti abbiamo:

Alluvioni ghiaioso sabbiose attuali e recenti del fiume Chiese.

Corrispondono ai depositi esistenti all'interno dell'alveo attuale delimitato dagli argini artificiali per buona parte carrozzabili. OLOCENE.

Alluvioni antiche (I).

Bassi terrazzi sabbioso-argillosi, con ghiae del Chiese di cui alcuni (alluvium medio) sono tuttora esondabili. La granulometria dipende dalla distanza dall'asta fluviale, passando da termini prevalentemente ghiaiosi a sabbioso-limosi ed anche limoso argillosi, avvicinandosi al bordo esterno delle alluvioni. OLOCENE.

Alluvioni antiche (II).

Corrispondono a terreni di probabile età würmiana e post-würmiana, separate per un lungo tratto dalla pianura interna da una scarpata evidente. Depositi in generale limoso-argillosi con ghiae e ciottoli morenici, depositati durante l'ultima fase cataglaciale. All'interno di queste unità si riscontrano tracce di terrazzi e paleoalvei, in corrispondenza alle divagazioni del fiume Chiese occorse a partire dall'ultima glaciazione würmiana. PLEISTOCENE Sup.- OLOCENE.

Fluvioglaciale del massimo würmiano (Würm I),

In corrispondenza del periodo pluviale: terrazzo ghiaioso-argilloso di colore bruno, talora rossastro, con substrato costantemente limoso-sabbioso-ghiaioso, in genere alterato. Questa unità, che corrisponde alla media pianura, è dovuta essenzialmente all'apporto degli scaricatori fluvioglaciali e mostra una marcata

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 10 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

idromorfia che avrebbe inibito un'evoluzione pedologica maggiore, almeno rispetto alla bassa e alta pianura. Queste aree, infatti, appartengono alle aree storicamente note come "paludi" o "lame" e quindi bonificate. **PLEISTOCENE Sup.** A questa unità appartengono i depositi interessati dell'intervento in oggetto.

Fluvioglaciale principale dell'alta pianura

Un tempo interpretato come deposito di fase Riss II. Gli imponenti scaricatori costituiscono l'alta pianura, a terreno argilloso, rosso - bruno, potente meno di un metro e sotto ghiaioso. Il terrazzo è sospeso di alcuni metri sul fiume Chiese e a sud sfuma nella media pianura di sicura età würmiana. Il carattere principale di questa unità è la presenza di canali intrecciati (braided) che interessa la quasi totalità delle superfici definendo corpi a composizione alterna da limoso-argilloso a ghiaioso-sabbioso. **PLEISTOCENE Sup.**

Depositi limosi di origine eolica (loess)

Di vario spessore (max 2-3 metri), presenti soprattutto sui versanti esterni dell'arco e sulle aree sommitali. **PLEISTOCENE Sup.**

Depositi lacustri proglaciali

Appartenenti alla cosiddetta "dorsale di Acquafrredda", che separa le aree depresse delle "lame" ad oriente dai depositi fluviali del Chiese e sue divagazioni antiche ad occidente. L'unità è composta da limi argilloso-sabbiosi e può essere accostata alle argille lacustri e terreni cretosi tenaci, giallastri, non ferrettizzati, impermeabili con frequenti concrezioni calcaree o "bambole" e "crostoni", già interpretati come depositi dell'interglaciale Mindel-Riss. Tardo **PLEISTOCENE medio**?

Morenico del Mindel

Ghiaioso bianco rosato, dilavato e decorticato dello originario "ferretto" in corrispondenza delle creste più erosa, mentre in basso e sui versanti il "ferretto" è conservato e talora accumulato. **PLEISTOCENE medio**.

Morenico

Intensamente alterato in argille rosse, con ciottoli silicei o silicati (ferretto tipico) delle cerchie esterne a colline degradate talora interrotte ed erose dagli scaricatori rissiani; sviluppato ad est del Chiese, da Muscoline a Carpenedolo, collegato alla glaciazione del Mindel. **PLEISTOCENE medio**.

Dal punto di vista idrogeologico il territorio di Carpenedolo possiede un sottosuolo costituito da una struttura semplice con alternanze più o meno continue di materiali incoerenti (sabbie e ghiae) e materiali fini (limi argille) aventi spessore variabili che concorrono alla formazione di acquiferi sovrapposti.

Data la vicinanza con l'anfiteatro morenico benacense posto a Sud-ovest è piuttosto difficile definire le caratteristiche della circolazione idrica sotterranea, in quanto la fascia di collegamento fra le colline

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 11 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

moreniche e l'alta pianura possiede depositi in eteropia composti da litologie che formano strati non continui e quindi non ben definibili arealmente.

Per quanto concerne l'alimentazione ed il drenaggio degli acquiferi, data la massiccia presenza di terreni permeabili, la ricarica avviene soprattutto grazie alle ingenti infiltrazioni di acque superficiali (irrigazione, piogge efficaci, dispersione dei corsi d'acqua); è probabile inoltre una certa alimentazione per effetto dell'infiltrazione delle acque del Lago di Garda attraverso i rilievi morenici. In relazione alla natura dei depositi si afferma che il sottosuolo del territorio carpenedolese è ricco di acque di buona qualità che in parte sono captate da pozzi e servono vari utilizzi.

A livello generale la superficie piezometrica tende a seguire abbastanza fedelmente le variazioni di gradiente che caratterizzano la topografia, discostandosi da quest'ultima per valori molto bassi.

Il gradiente idraulico medio è, infatti, nell'ordine del 3,4 per mille con direzione di deflusso generale nord-sud, mentre quello topografico medio è del 3,9 per mille.

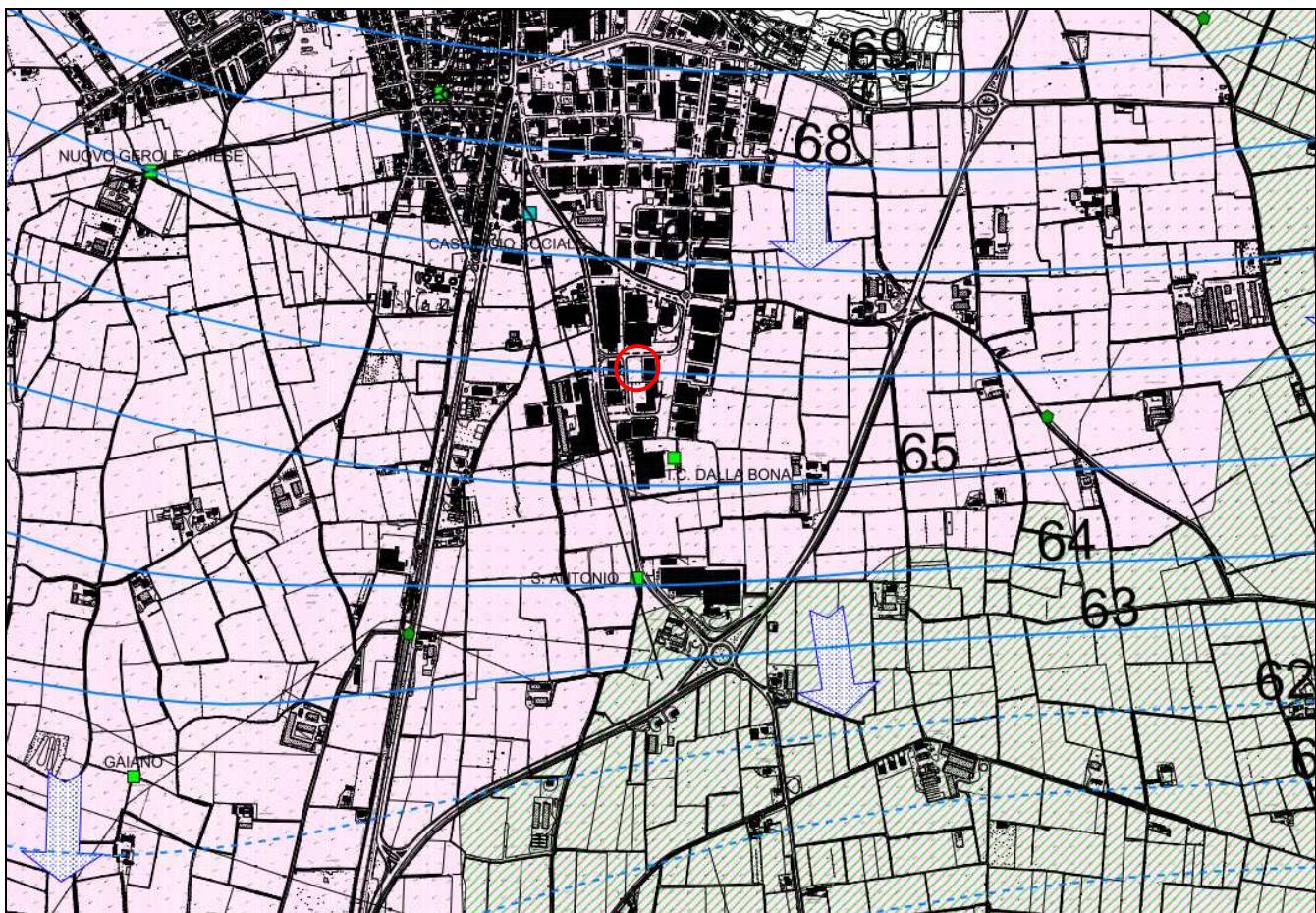


Figura 5 – Carta Idrogeologica del PGT di Carpenedolo – Foglio 47 “BRESCIA” –

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 12 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |



I rapporti con i corsi d'acqua sono di tipo diverso; a livello generale è possibile ipotizzare che vi sia un efficace scambio di acque fra falda e fiumi, favorita dall'elevata permeabilità dei depositi attraversati.

Per quanto riguarda il Chiese lo stesso fiume sembra esercitare un efficace azione drenante nei confronti della falda, soprattutto per quanto riguarda il settore nord occidentale del territorio comunale.

Più difficile risulta stabilire quali siano i rapporti tra la falda e i numerosi corsi d'acqua artificiali; va comunque aggiunto che anche i corsi d'acqua artificiali, in condizione di sufficiente permeabilità, alimentano la falda quando il loro alveo si trova ad una quota superiore alla stessa falda, mentre la drenano e sono quindi alimentati da questa quando il loro alveo è posizionato ad una quota inferiore.

Per quanto riguarda i fontanili appare evidente la loro azione drenante nei confronti della prima falda; va però ricordato che in occasioni particolari (recapito all'interno di fontanili asciutti di acque provenienti da rogge e canali artificiali) gli stessi possono trasformarsi in strutture di alimentazione, con aspetti negativi facili da immaginare nel caso in cui queste acque siano di dubbia qualità.

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 13 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

La soggiacenza varia secondo le zone: dai 3-4 metri di nella porzione nord del territorio comunale tende a diminuire via via che si procede verso sud, con valori di 1-2 metri nella parte più meridionale.

Per quanto concerne l'area oggetto di studio, durante le indagini è stata riscontrata la presenza di acqua ad una profondità di circa -3,00 m dal p.c.- zero penetrometrico (giugno 2021); tale livello è suscettibile di variazioni stagionali anche importanti in funzione degli apporti meteorici e del regime irriguo.

3. SISMOTETTONICA

La convergenza tra le placche Africana ed Europea, iniziata nel Cretaceo superiore è tuttora in atto, come mostrato dai dati geodetici satellitari. In profondità questo raccorciamento si trasforma in uno sforzo di caricamento delle faglie di tipo compressivo localizzate sia al piede delle Alpi Meridionali, sia al piede dell'Appennino settentrionale. Nel settore settentrionale della pianura è presente il sistema di sovrascorimenti S-vergenti che costituiscono la continuazione in pianura delle Prealpi Lombarde. Nella fascia meridionale si ha invece un pronunciato sistema di embricazione Nord-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, quello meridionale è essenzialmente pliocenico. A partire dalla fine del Pleistocene inferiore entrambi i margini del Bacino Padano sono in sollevamento in seguito alla formazione di un bacino flessurale più simmetrico. Il margine meridionale del bacino padano, a ridosso del fronte appenninico risente di tali movimenti in modo maggiormente consistente rispetto al margine settentrionale.

Il terremoto (o sisma) è una repentina liberazione di energia che si è andata accumulando nel tempo nello strato superficiale della terra. L'energia elastica può, ad un dato momento, superare la resistenza intrinseca delle rocce stesse; a questo punto, avviene la frantumazione delle rocce e la liberazione di energia che si trasmette sotto forma di: onde comprensive (onde P) o onde di volume e onde ondulatorie (onde S) o onde interne. Il punto in cui inizia la rottura delle rocce si definisce ipocentro mentre la sua proiezione verticale sulla superficie terrestre viene definita epicentro.

Le onde P ed S si generano nell'ipocentro e si propagano in maniera sferica attorno ad esso. Quando le onde S raggiungono la superficie si trasformano in parte in onde superficiali che si propagano dall'epicentro lungo la superficie terrestre e si smorzano rapidamente in profondità. Tra queste le principali sono le onde di Rayleigh e le onde di Love. La trasmissione delle onde sismiche avviene attraverso le rocce ed i terreni con caratteristiche elastiche proprie.

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 14 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

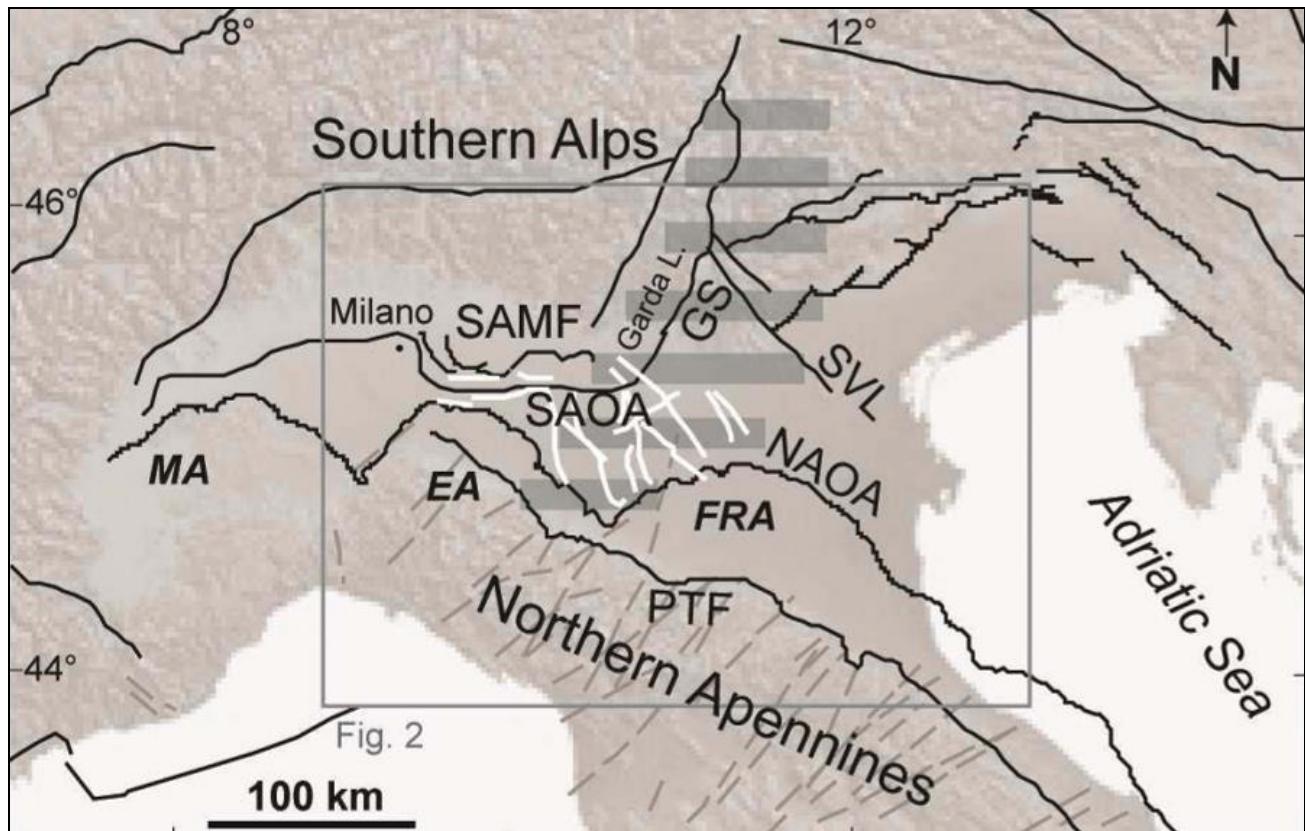


Figura 6– Mappa strutturale semplificata della pianura padana

(Legenda Figura 6):

Mappa strutturale semplificata della Pianura Padana (modificata da Vannoli et al., 2014). Linee nere: principali elementi tettonici; linee bianche: faglie ereditate; ombreggiature grigie orizzontali: Piattaforma di Trento. SAMF: fronte montuoso delle Alpi Meridionali; SAOA: arco esterno delle Alpi Meridionali; GS: Sistema delle Giudicarie; SVL: Schio-Vicenza; NAOA: arco esterno dell'Appennino Settentrionale; PTF: fronte pedeappenninico; MA: arco del Monferrato; EA: arco Emiliano; FRA: arco Ferrarese Romagnolo.

Identificare e parametrizzare le faglie responsabili dei principali terremoti della Pianura Padana – ossia le sorgenti sismogenetiche – richiede che si prenda in dovuta considerazione la loro profondità, geometria e cinematica, sia rispetto all’assetto delle due catene montuose attualmente “in avvicinamento” (le Alpi e gli Appennini), sia rispetto all’assetto paleogeografico preesistente.

L’avvicinamento delle due catene è infatti fortemente condizionato dalla presenza di un contesto geologico “ereditato”, caratterizzato da antiche piattaforme carbonatiche e depositi di bacini marini profondi separati da faglie estensionali sviluppatesi durante l’apertura della Tetide. Questa articolata paleogeografia controlla fortemente lo sviluppo, l’evoluzione e la forma dei fronti montuosi sepolti al di sotto dei depositi della pianura. La conoscenza della paleogeografia dell’area oggi occupata dalla Pianura Padana è quindi molto importante per individuarne e caratterizzarne le sorgenti sismogenetiche.

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL’ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 15 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

I dati di letteratura attribuiscono ai sistemi distensivi descritti una valenza superficiale, non superando i 10 km di profondità. È possibile che a livelli strutturali più profondi l'edificio della catena sia ancora influenzato da processi collisionali subduttivi. Sebbene sia ritenuta possibile la coesistenza di eventi sismici con caratteri compressivi in profondità che passino a sismi legati a distensione in superficie, non è stato tuttora elaborato un modello geodinamico che tenga conto in modo soddisfacente della coesistenza tra contrazione e distensione.

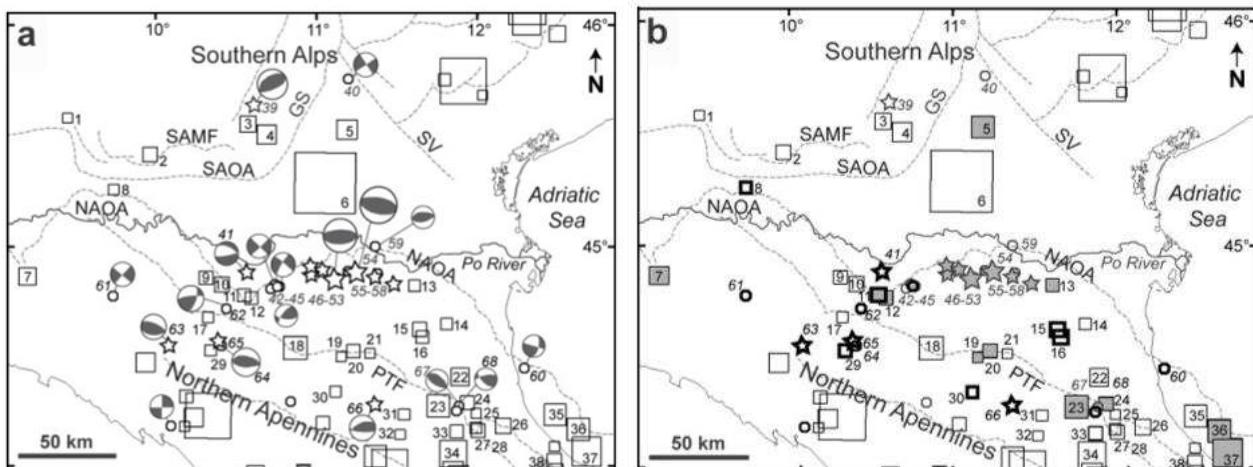


Figura 7– tratta da *The Seismotectonics of the Po Plain (Northern Italy: Tectonic Diversity in a Blind Faulting Domain- Paola Vannoli, Pierfrancesco Burrato, Gianluca Valensise)*: Terremoti storici e strumentali (CPTI11, Bollettino Sismico Italiano e ISIDE). I terremoti storici con $M \geq 5.3$ sono rappresentati con quadrati. I terremoti strumentali con $M \geq 5.0$ sono rappresentati con stelle; quelli con $4.5 \leq M \leq 4.9$ sono rappresentati con pallini. Tutti i terremoti sono collegati alle tabelle 1 e 2 attraverso il loro ID. a) Sismicità e meccanismi focali disponibili (Pondrelli et al., 2006; TDMD database). b) Terremoti multipli e terremoti profondi (i terremoti multipli sono rappresentati con pattern grigio; i terremoti profondi in grassetto).

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 (Figura 7). Recentemente, i thrust sepolti dell'Appennino Settentrionale si sono attivati 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.

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|--------------------------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 16 di 65 |
| N. COPIE: | Autore: Studio Gea Engineering | | |

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

Tale database indica che il sito di interesse si colloca in prossimità della sorgente sismogenetica ITCS072 Capriano-Castenedolo back-thrust a cui è assegnata una magnitudo massima M_w di 6.3, assunta sulla base di dati sismologici regionali e sulle relazioni di scala di Leonard (2014).

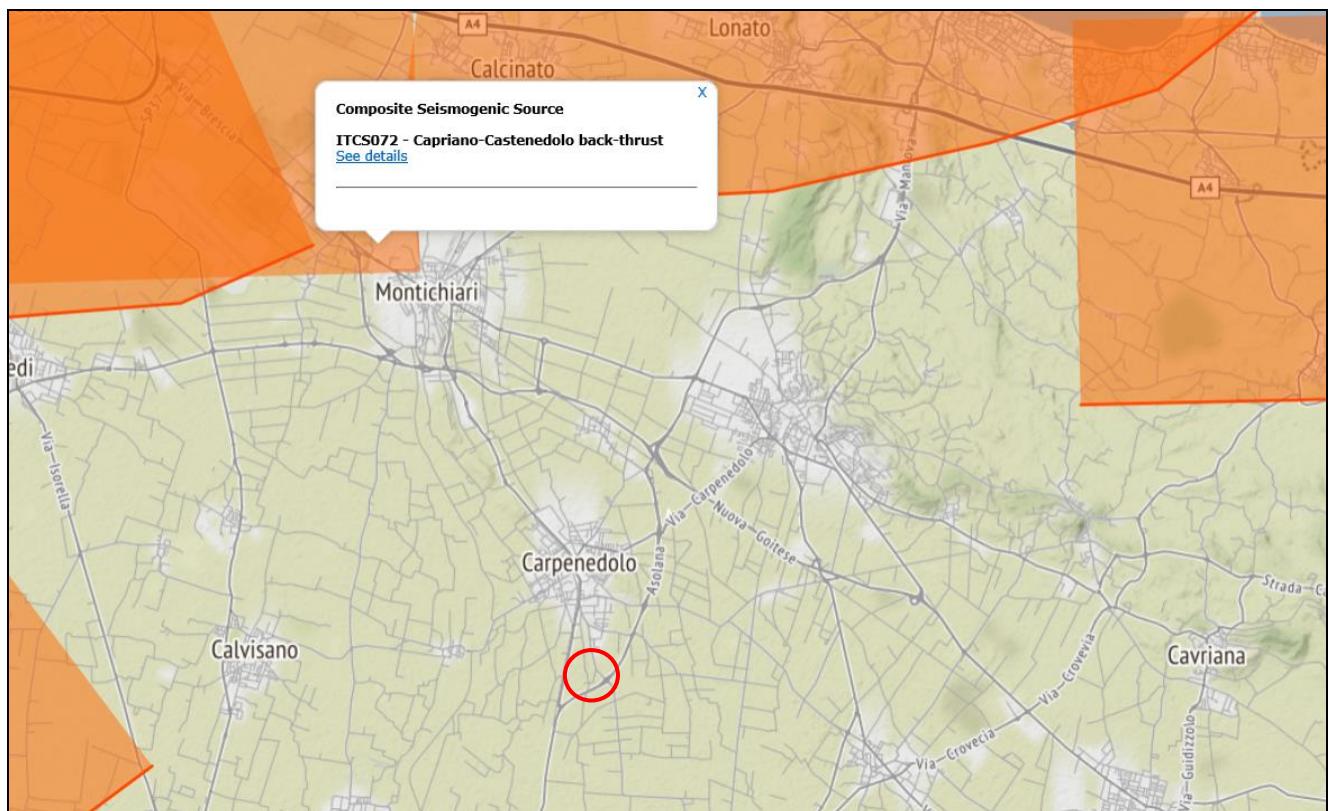


Figura 8– Estratto DISS – Fonte INGV

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

| GENERAL INFORMATION | |
|---------------------|---|
| DISS-ID | ITCS072 |
| Name | Capriano-Castenedolo back-thrust |
| Compiler(s) | Burrato P.(1) |
| Contributor(s) | Burrato P.(1), Vannoli P.(1) |
| Affiliation(s) | 1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tetonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy |
| Created | 19-Apr-2010 |
| Updated | 01-Apr-2015 |

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 17 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

| PARAMETRIC INFORMATION | | | |
|------------------------------------|---------------------|----------|--|
| Parameter | Quality | Evidence | |
| Min depth [km] | 1.0 | LD | Based on geological data from Livio et al. (2009). |
| Max depth [km] | 6.0 | LD | Based on geological data from Livio et al. (2009). |
| Strike [deg] min... max | 70...100 | LD | Based on geological data from Livio et al. (2009). |
| Dip [deg] min... max | 30...45 | LD | Based on geological data from Livio et al. (2009). |
| Rake [deg] min... max | 80...100 | EJ | Inferred from geological and active stress data. |
| Slip Rate [mm/y] min... max | 0.1000... 0.5000 | EJ | Unknown, values assumed from geodynamic constraints. |
| Max Magnitude [Mw] | 6.3 | ER | Estimated from Leonard's (2014) scaling relations. |

Figura 9– Estratto DISS – Fonte INGV-Zona sismogenetica ITCS072

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

In figura 10 si riporta grafico di disaggregazione riferito all’ambito di interesse:

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL’ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 18 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

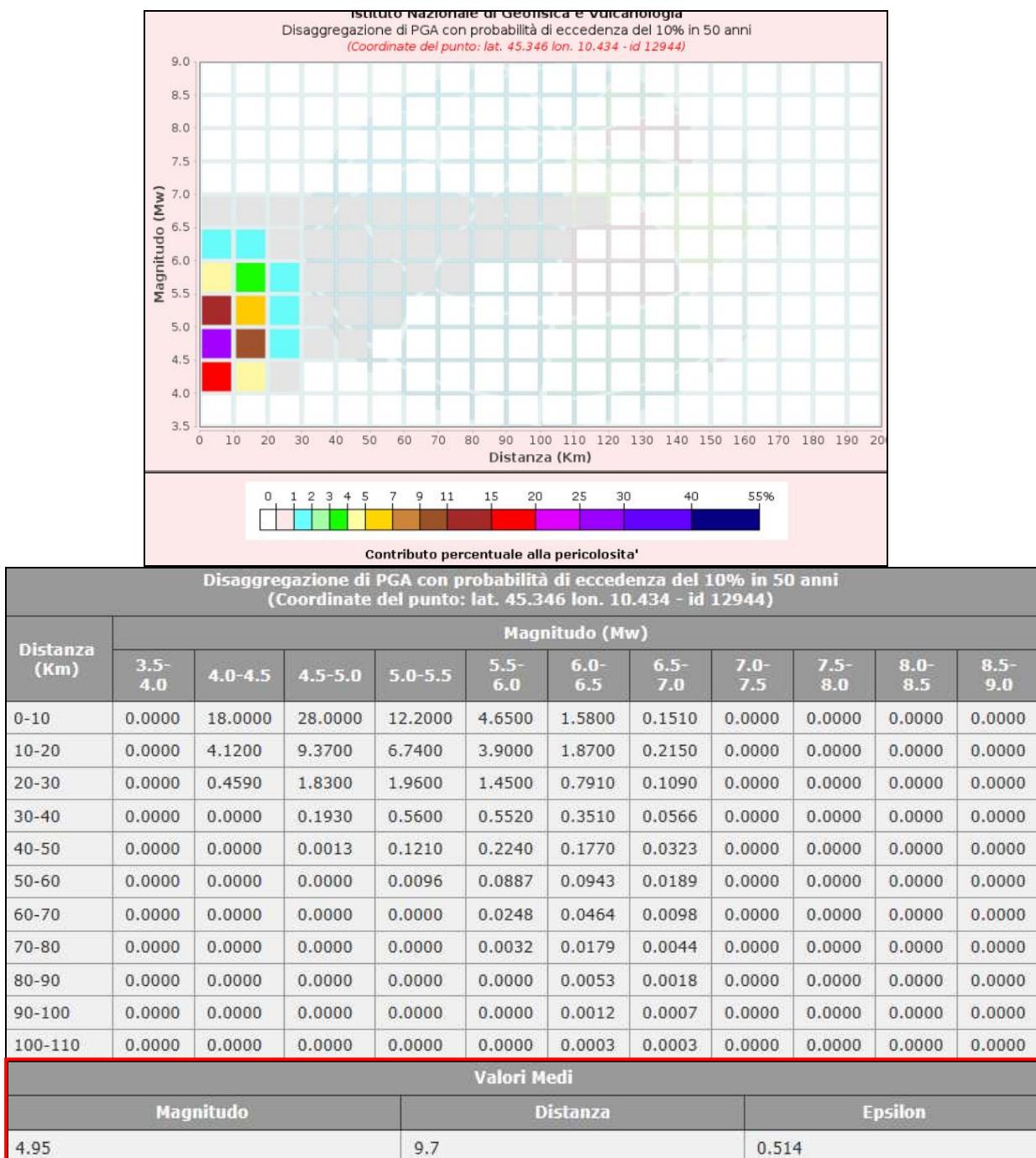


Figura 10– Grafico disaggregazione – Progetto DPC INGV S1

Per il sito in esame si constata che il massimo contributo percentuale alla pericolosità sismica di base è fornita per terremoti di magnitudo compresa tra 4.0 e 5.5 nel range di distanza tra 0 e 10 Km. Importanti contributi sono però forniti anche da sismi con magnitudo tra 4.5-5.5 nel range 10-20 Km.

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

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 19 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

4. PERICOLOSITA' E FATTIBILITA'

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

Sulla base di detta analisi si afferma che sull'area in oggetto non sussistono vincoli e/o limitazioni d'uso del suolo in relazione alla consistenza delle opere in progetto.

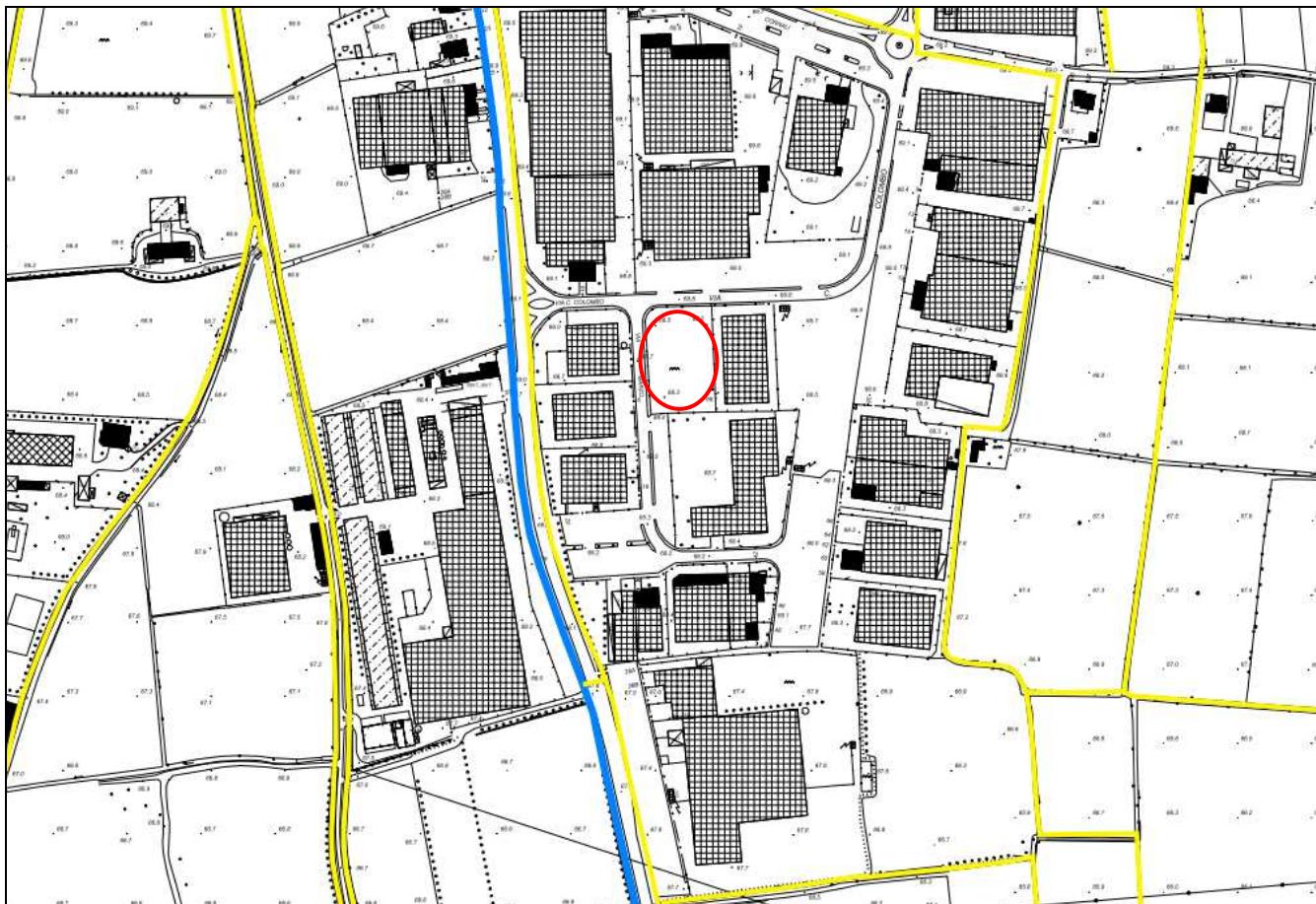


Figura 11 – Carta dei Vincoli Geologici del PGT

Non si segnalano interferenze con elementi del reticolo idrico; inoltre il sito in oggetto si colloca all'esterno delle aree a rischio idraulico assoggettate al PGRA o a rischio idrogeologico individuate dal PAI.

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|--------------------------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 20 di 65 |
| N. COPIE: | Autore: Studio Gea Engineering | | |

In riferimento alla “Carta di fattibilità geologica per le azioni di piano” della “Componente geologica, idrogeologica e sismica” del Piano di Governo del Territorio del Comune di Carpenedolo, l’area in oggetto ricade in **classe 2: classe di fattibilità geologica con modeste limitazioni – Aree subpianeggianti con discrete e/o buone caratteristiche geotecniche.**

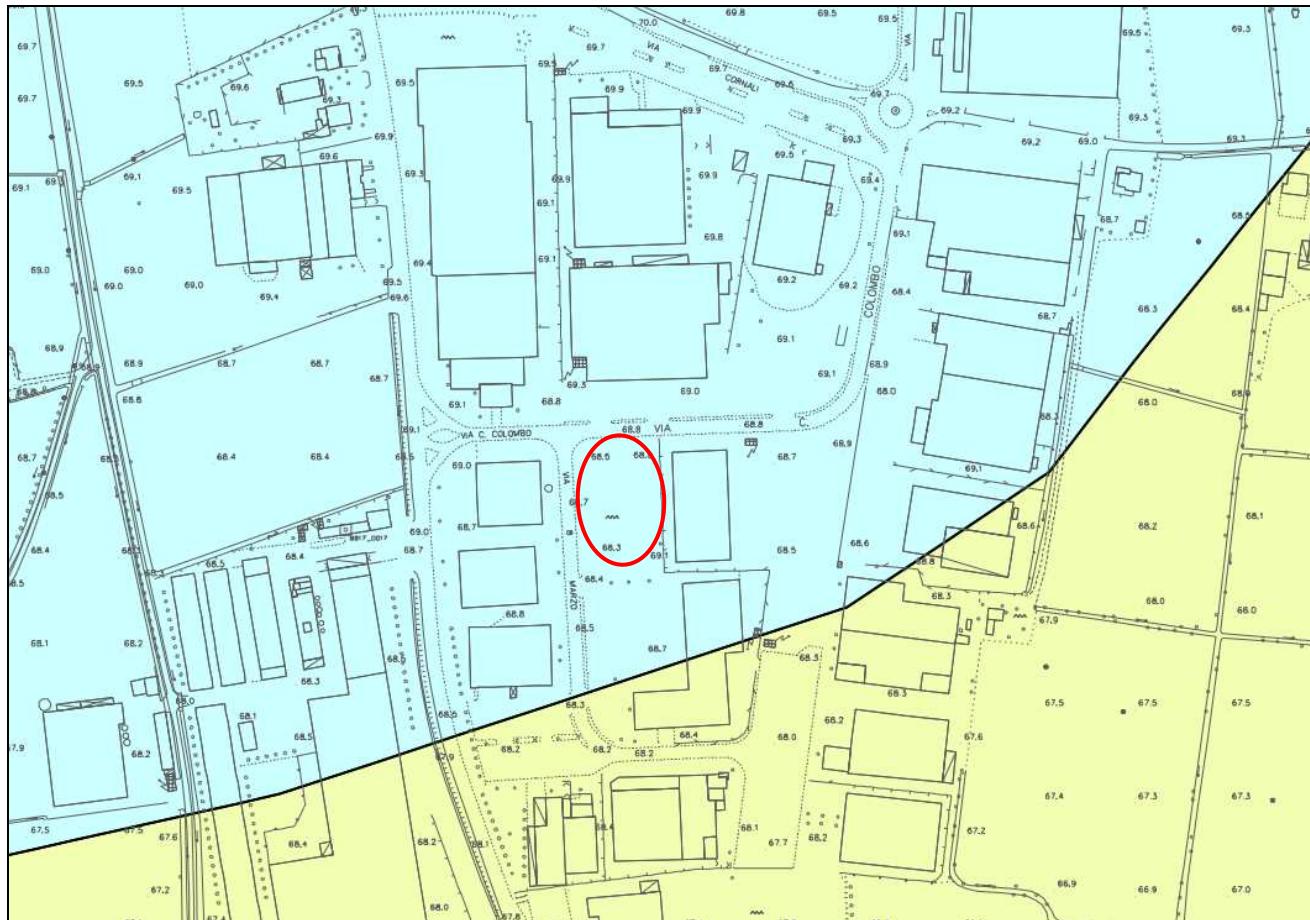


Figura 12 - Individuazione sito in oggetto sulla carta di Fattibilità Geologica –

CLASSE 2 - FATTIBILITA' CON MODESTE LIMITAZIONI

2

2 - Aree subpianeggianti con discrete e/o buone caratteristiche geotecniche.

CLASSE 3 - FATTIBILITA' CON CONSISTENTI LIMITAZIONI

3a

3a - Area con caratteristiche geotecniche mediocri per profondità 0-3 m.
3a* - Area con caratteristiche geotecniche mediocri per profondità 0-3 m su rilievo morenico.

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 21 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

Con riferimento alla pericolosità sismica locale l'area è inquadrata nello **scenario Z4a** (zona riferibile alla media pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi) - Amplificazioni litologiche e geometriche.

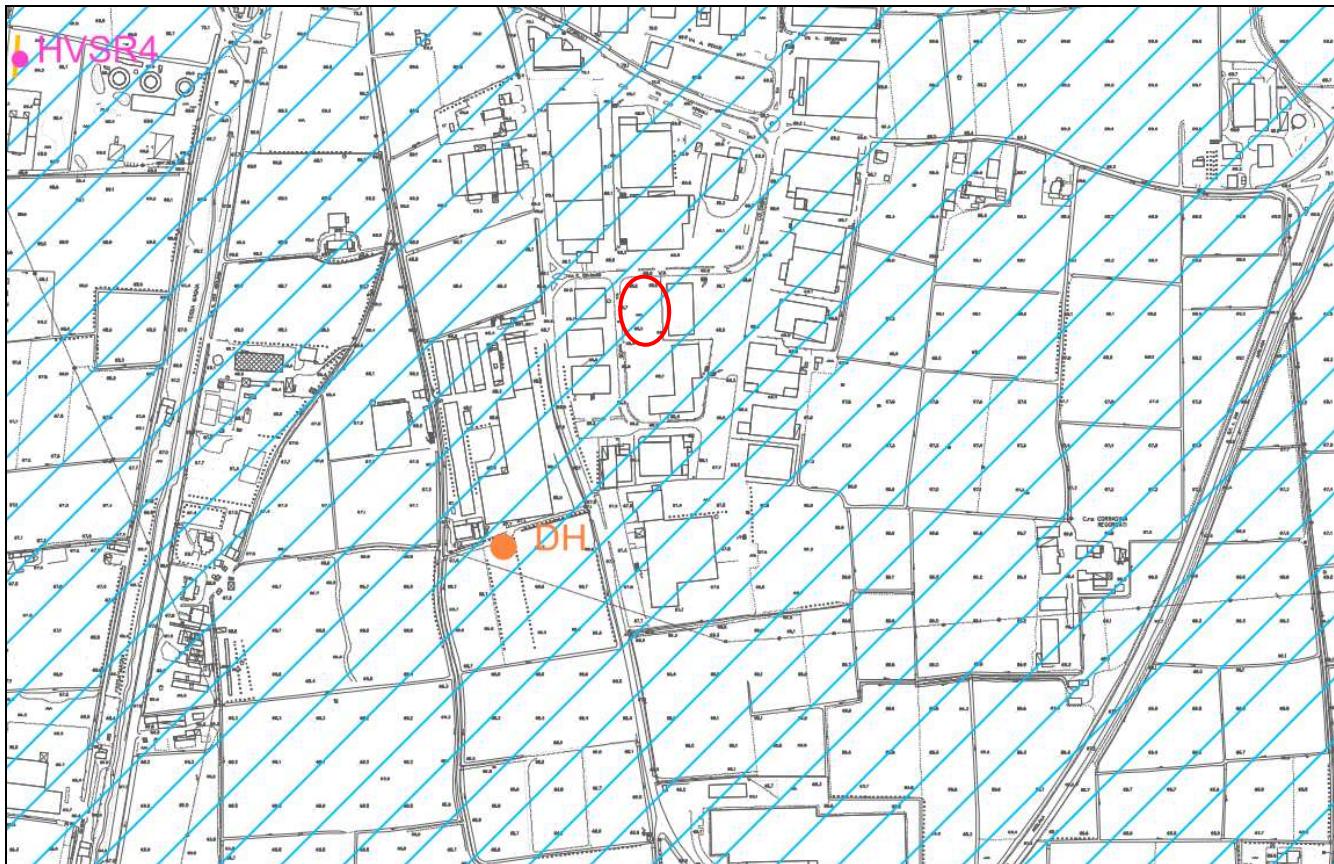
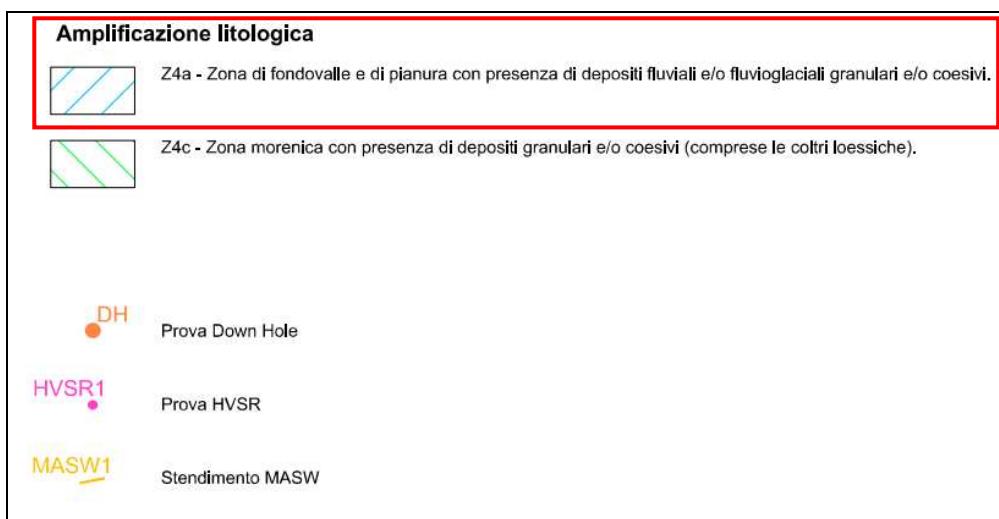


Figura 13- Individuazione area di intervento sulla carta di PSL-



| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 22 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

5. SISMICITA'

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

In base alle normative vigenti sul rischio sismico, ovvero:

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

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

Con il D.G.R. 8 ottobre 2015 - n. 10/4144, la Giunta Regionale ha provveduto all'ulteriore differimento del termine per l'entrata in vigore della nuova classificazione sismica dei Comuni lombardi, di cui alla D.G.R. 11 luglio 2014, n. 2129 "Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art.3, c.108, lett. d)". Dal 10/04/2016, con l'entrata in vigore del D.G.R. n. 10/2129, il comune di Carpenedolo rimane classificato in zona 3.

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 23 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

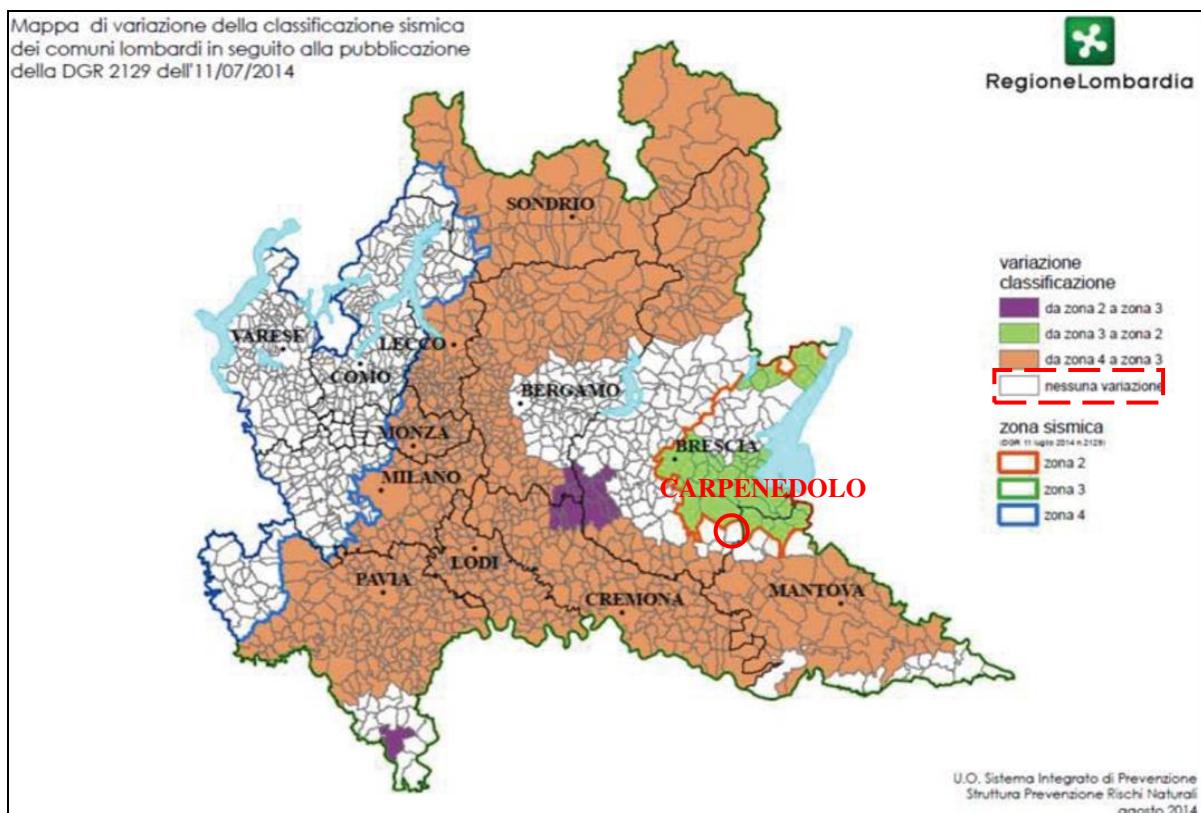


Figura 14- Mappa di variazione della classificazione sismica dei comuni lombardi -

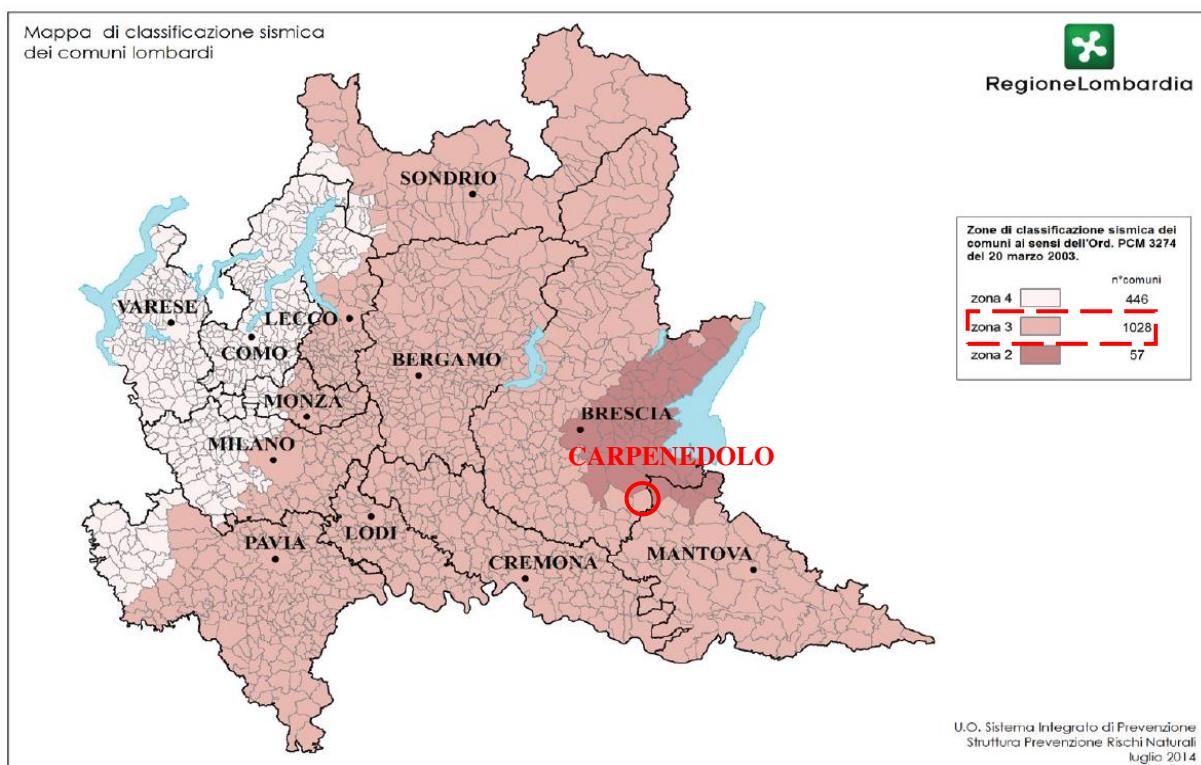


Figura 15- Mappa di classificazione sismica dei comuni lombardi -

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 24 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

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

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

Tabella 1

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

Tale scadenza, 8 ottobre 2005, ha visto un ulteriore periodo transitorio per l’applicazione delle norme tecniche di 18 mesi, previsto dalla legge 18 agosto 2005, n° 168, ulteriormente prorogata al 31 dicembre 2007 (legge 26 febbraio 2007, n° 17). In particolare con l’entrata in vigore della legge n. 31/08 del 28/02/2008, si stabiliva che fino al 30 giugno 2009, in alternativa all’applicazione delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14 gennaio 2008), era possibile fare riferimento al D.M. 14 settembre 2005 oppure al D.M. 9 gennaio 1996. A partire dal 01/07/2009 è terminato il periodo transitorio ed è divenuta obbligatoria l’applicazione del D.M. 14 gennaio 2008. Dal 22 marzo 2018 sono in vigore le Norme Tecniche per le Costruzioni 2018, approvate con D.M. 17 gennaio 2018.

6. INDAGINE SISMICA

All’interno dell’area confinante è stata eseguita una campagna sismica con metodo MASW di tipo attivo, il cui obiettivo è quello di determinare la velocità ponderata delle onde sismiche di taglio a partire dal piano delle fondazioni ($V_s,_{eq}$), facendo riferimento: alla nuova classificazione sismica del territorio, al D.M. 17/01/18 (“Norme tecniche per le costruzioni”) e secondo le direttive della Giunta Regionale della Regione Lombardia contenute nella D.G.R. n. 9/2616 del 30 Novembre 2011, che stabilisce “criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell’art. 57, comma 1, della L.R. 11 Marzo 2005, n. 12”. Di seguito si riportano la metodologia della ricerca e i risultati dell’indagine eseguita.

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL’ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 25 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

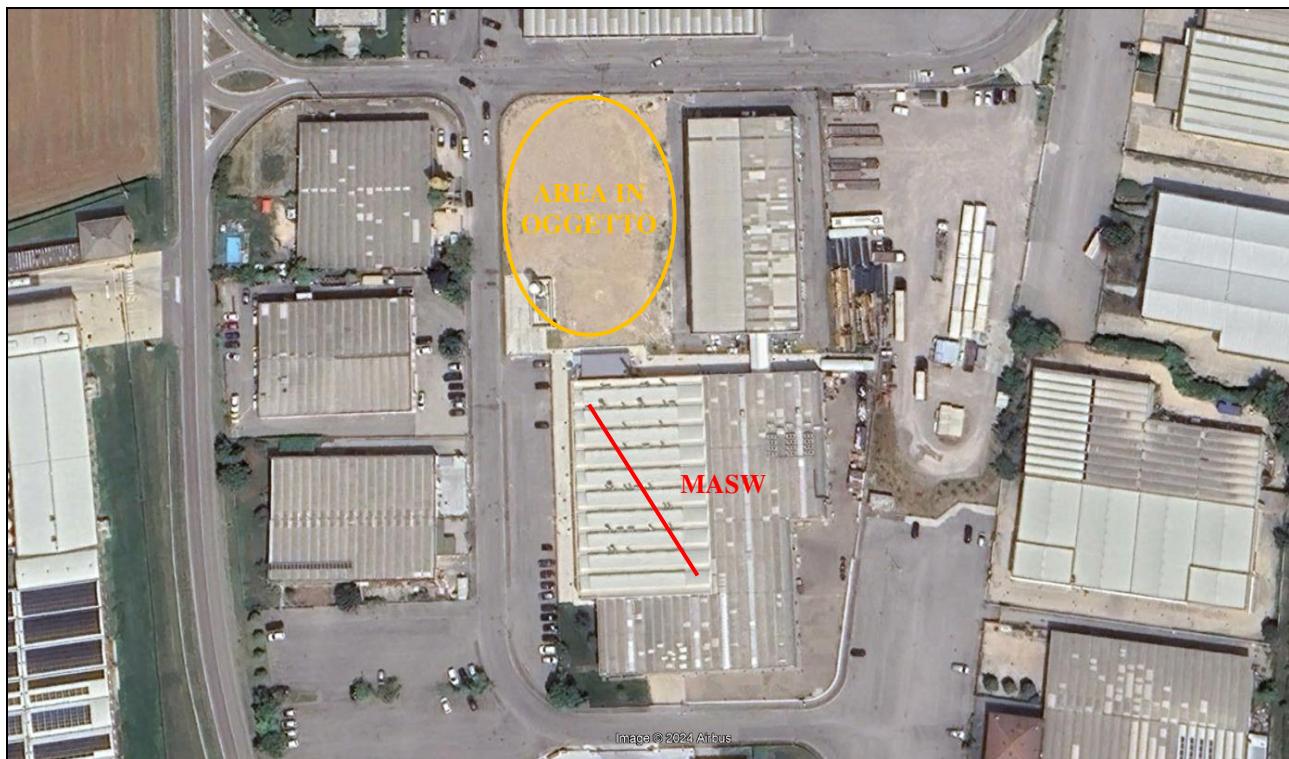


Figura 16- Ubicazione stendimento MASW

6.1 Metodo di indagine

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

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

La successiva elaborazione consente di ottenere un diagramma 1D (profondità/velocità onde di taglio) tramite modellizzazione ed elaborazione matematica con algoritmi capaci di minimizzare le differenze tra i modelli elaborati e i dati di partenza. Il diagramma, riferibile al centro della linea sismica, rappresenta un

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 26 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

valor medio della sezione di terreno interessata all'indagine di lunghezza circa corrispondente a quella della linea sismica e profondità variabile principalmente in funzione delle caratteristiche dei materiali attraversati e della geometria dello stendimento.

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

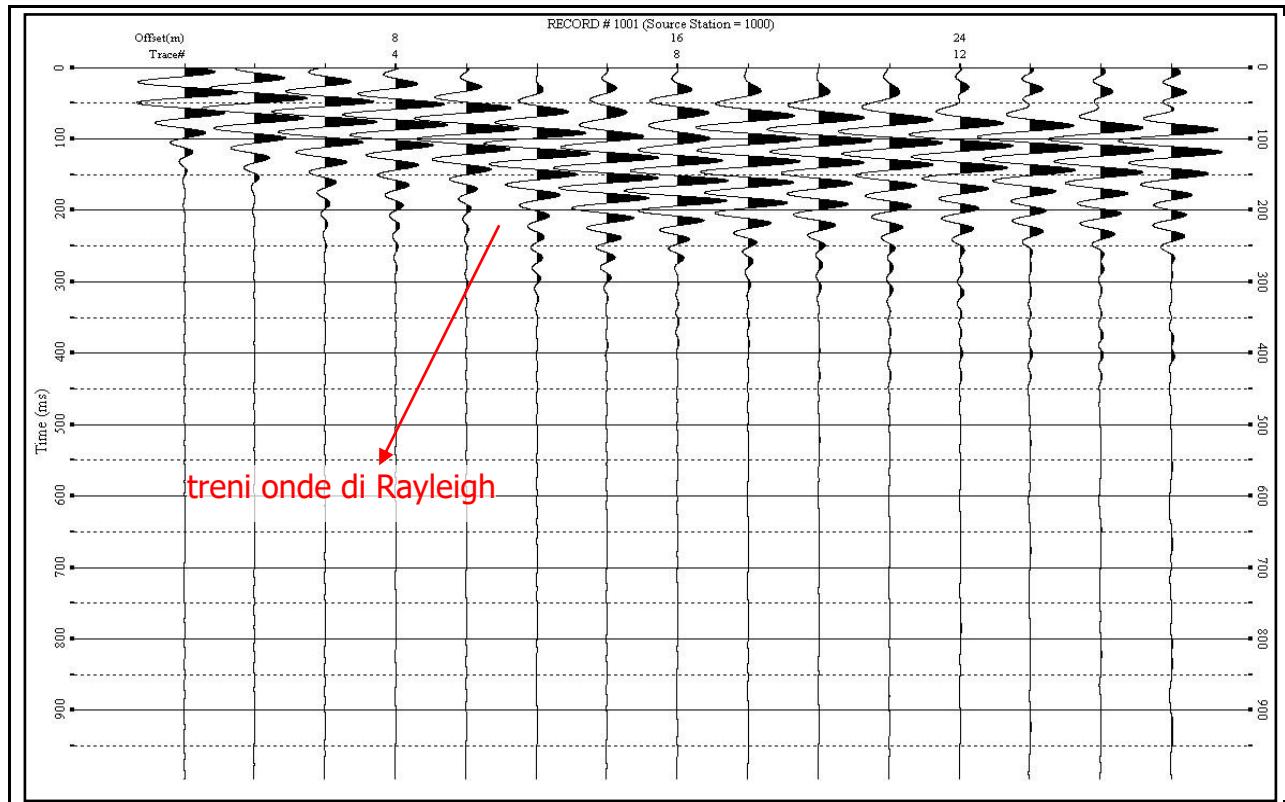


Figura 17 - Sismogramma –

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

Onde di Rayleigh ad alte frequenze e piccole lunghezze d'onda trasportano informazioni relative agli strati più superficiali mentre quelle a basse frequenze e lunghezze d'onda maggiori interessano anche gli strati più profondi. In pratica il metodo MASW di tipo attivo opera in intervalli di frequenze comprese tra 5 e 70 Hz

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 27 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

circa, permettendo di indagare una profondità massima variabile, in funzione delle caratteristiche dei terreni interessati, tra 30 e 50 metri.



Figura 18 - Prospettiva sismica MASW -

La geometria della linea sismica ha influenza sui dati e quindi sul risultato finale, infatti la massima lunghezza d'onda acquisibile è circa corrispondente alla lunghezza dello stendimento; mentre la distanza tra i geofoni, solitamente compresa tra 1 e 3 metri, definisce la minima lunghezza d'onda individuabile evitando fenomeni di aliasing. È stato eseguito uno stendimento di 24 geofoni, con spaziatura tra i geofoni di 2,0 metri per una lunghezza della linea sismica di 46,0 metri; l'energizzazione è stata eseguita a 2,0, 5,0 e 10,0 metri dal primo geofono. Per ridurre il rumore di fondo e migliorare la qualità complessiva dei sismogrammi sono stati sommati più tiri.

Il sito di indagine è collocato in area parzialmente urbanizzata, caratterizzata da fonti di rumore antropico non in grado di interferire in modo significativo con il segnale sismico.

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 28 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

6.2 Strumentazione

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un sismografo multicanale “ECHO 24/2010”, dotato di 24 geofoni verticali Oyo Geospace con frequenza propria di 4,5 Hz, collegati allo strumento tramite cavi elettrici schermati. Lo strumento è in grado di acquisire simultaneamente su 24 canali e di rilevare l'istante di energizzazione (tempo zero) tramite geofono starter collegato al canale n. 25. 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 filtri delle frequenze indesiderate;
- visualizzazione in tempo reale del segnale su tutti i geofoni attivi;
- visualizzazione del sismogramma con misura dei tempi di arrivo;
- esecuzione operazioni di somma di ulteriori sismogrammi;
- memorizzazione di tutti i dati relativi all'acquisizione.

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

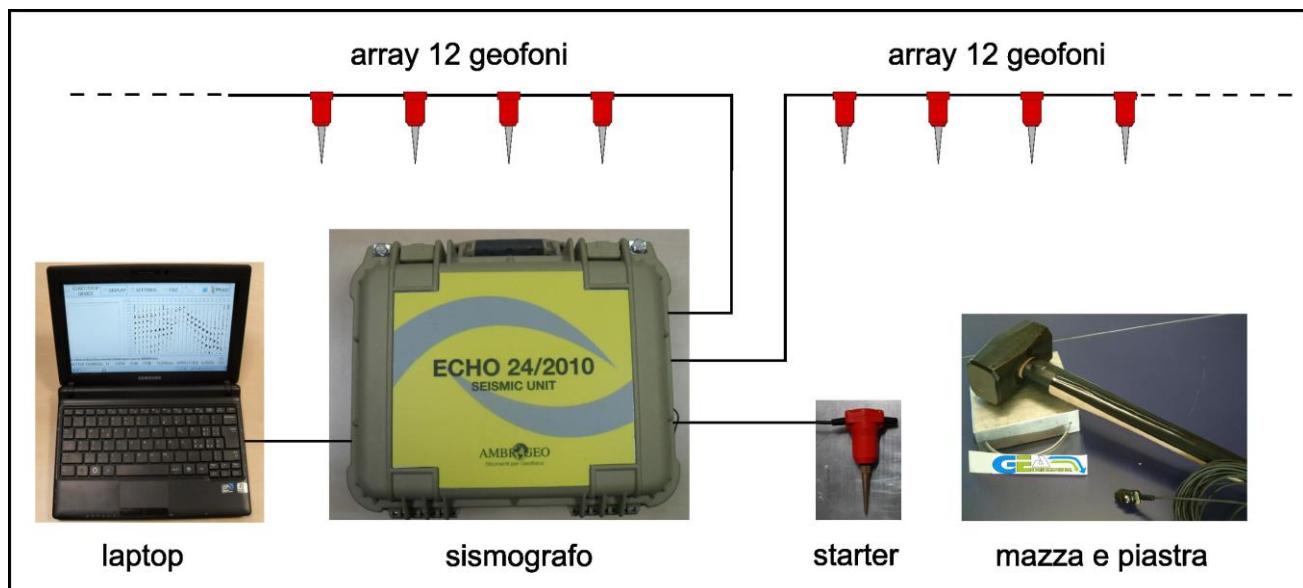


Figura 19 - “ECHO 24/2010” con due stringhe da 12 geofoni –

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 29 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

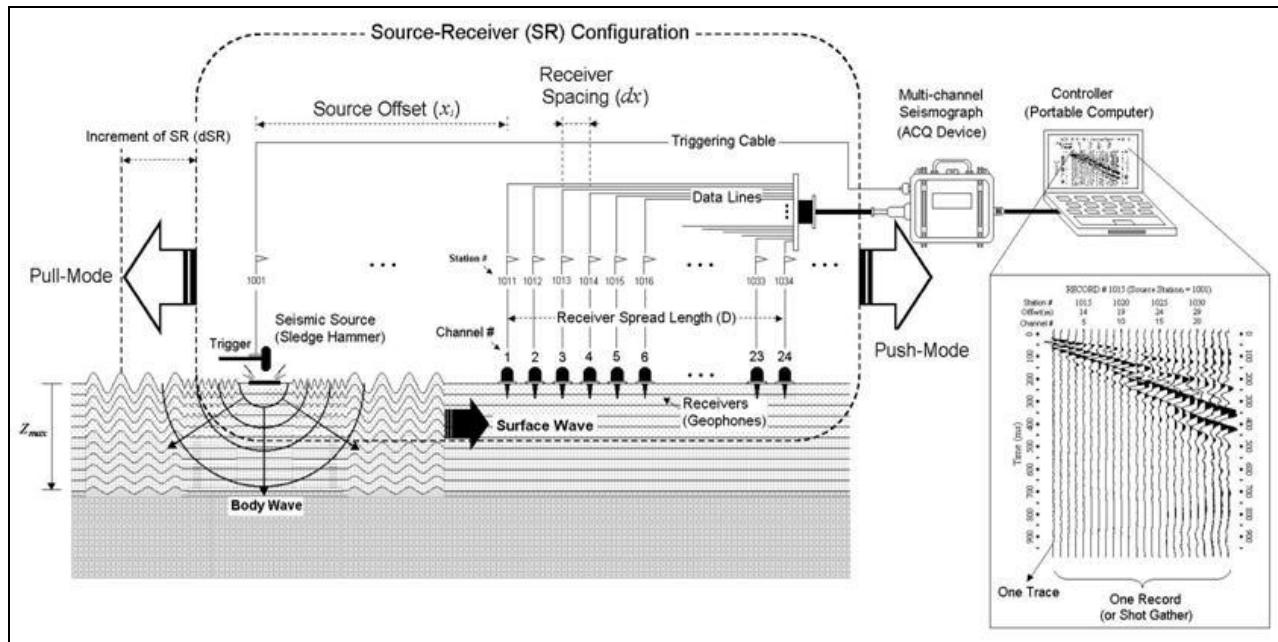


Figura 20 – Schema acquisizione MASW –

6.3 Elaborazione

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

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

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

Utilizzando la curva di dispersione si procede ad individuare la curva della velocità di fase apparente del modo fondamentale e, ove possibile, dei modi superiori. La fase di inversione prevede una modellizzazione monodimensionale che consente di determinare un profilo di velocità delle onde di taglio V_s in funzione della profondità. L'elaborazione avviene tramite l'applicazione di procedimenti calcolo e algoritmi genetici di inversione (global-search methods), che gestiscono all'intero di un “spazio di ricerca”, modelli caratterizzati da parametri velocità di taglio (V_s) e spessori degli strati. Altri parametri previsti dal modello sono il coefficiente di Poisson e la velocità delle onde di volume (V_p) che, assieme a spessore degli sismostrati e

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 30 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

relative V_s , possono venire modificati anche manualmente. Tramite interazioni successive si ottiene un modello di inversione in grado di far coincidere con la migliore approssimazione possibile la curva di dispersione elaborata nella fase precedente e quella modellizzata. Viene inoltre restituita una stima dell'attendibilità (deviazione standard) del modello proposto ottenuta con tecniche statistiche.

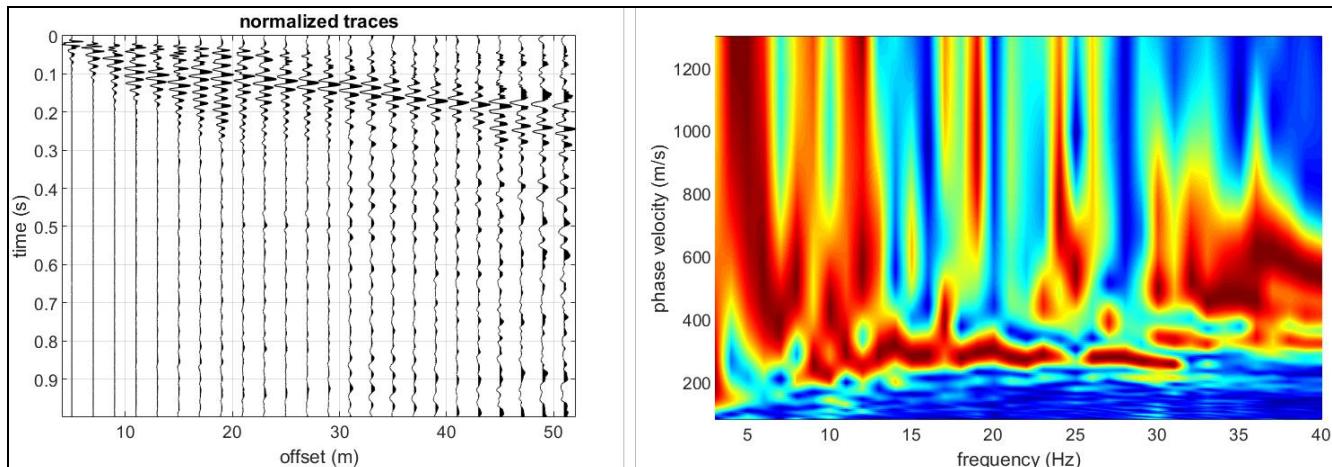


Figura 21 – Sismogramma e diagramma della curva di dispersione –

Avendo a disposizione informazioni addizionali, quali ad esempio stratigrafie di sondaggio, analisi granulometriche, di densità, prove CPT ecc, è possibile impostare un modello geologico\geofisico con il quale definire parametri quali lo spessore degli strati, la velocità delle onde P stimata e coefficiente di Poisson. Tale modello consente una più accurata inversione dei dati di campagna e di conseguenza una migliore definizione della sismostratigrafia del sito. In conclusione viene restituito un diagramma (1D) delle velocità delle onde di taglio (V_s) in funzione della profondità, con relativa tabella, calcolo delle V_{seq} e correlazione al tipo di terreno, come da normativa. Va ricordato che il diagramma 1D mostra una suddivisione sismostratigrafica ricostruita sul differente comportamento sismico dei materiali investigati. È quindi possibile che variazioni di velocità non corrispondano necessariamente a passaggi litologici netti.

6.4 Risultati

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

Per depositi con profondità H del substrato superiori a 30 m da quota fondazioni (come nel caso in oggetto), la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita ponendo $H = 30$ m e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità (N.T.C. 2018 3.2.2).

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 31 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

I valori di $V_{s,eq}$ sono, quindi, riferiti ai primi 30 m a partire da quota fondazioni, ipotizzate a circa -1,50 m da piano campagna - quota indagine.

| Profondità da p.c. (m) | Spessore (m) | Velocità onde S (m/sec) |
|-----------------------------------|-------------------------|------------------------------------|
| -3,5 | 3,5 | 254 |
| -9,7 | 6,2 | 341 |
| -18,1 | 8,4 | 352 |
| -31,5 | 13,4 | 533 |

Tabella 2 - Sismostratigrafia

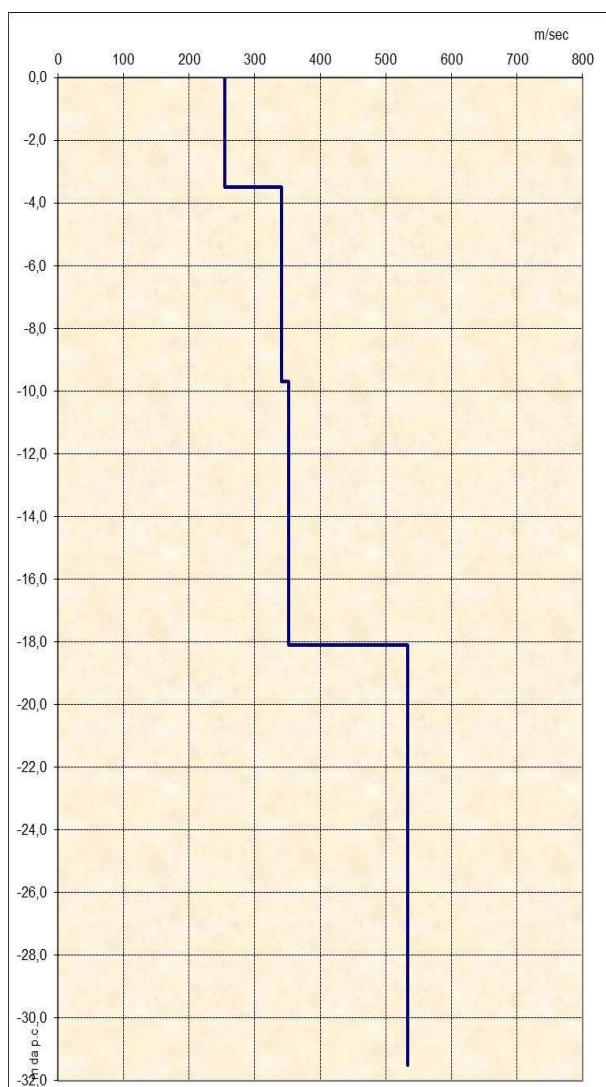


Figura 22 - Diagramma velocità Vs/profondità -

Il valore di $V_{s,eq}$ è di **400 m/sec**.

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|--------------------------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 32 di 65 |
| N. COPIE: | Autore: Studio Gea Engineering | | |

Secondo normativa (D.M. 17/01/2018) la categoria di appartenenza del litotipo equivalente è la B:

| Categoria | Descrizione da D.M. 17/01/2018 – Tabella 3.2.II |
|-----------|---|
| B | 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. |

Tabella 3 - Categoria di sottosuolo –

| Descrizione da D.M. 17/01/2018 – Tabella 3.2.IV | | |
|---|---|------------------------------|
| Categoria sottosuolo | S _s | C _c |
| A | 1.00 | 1.00 |
| → B | $1.00 \leq 1.40 - 0.40 \cdot F_o \cdot a_g/g \leq 1.20$ | $1.10 \cdot (T_c^*)^{-0.20}$ |
| C | $1.00 \leq 1.70 - 0.60 \cdot F_o \cdot a_g/g \leq 1.50$ | $1.05 \cdot (T_c^*)^{-0.33}$ |
| D | $0.90 \leq 2.40 - 1.50 \cdot F_o \cdot a_g/g \leq 1.80$ | $1.25 \cdot (T_c^*)^{-0.50}$ |
| E | $1.00 \leq 2.00 - 1.10 \cdot F_o \cdot a_g/g \leq 1.60$ | $1.15 \cdot (T_c^*)^{-0.40}$ |

Tabella 4– Espressioni di SS e CC

7. AMPLIFICAZIONE SISMICA DEL SITO

La verifica dell'eventuale amplificazione sismica è stata condotta applicando le metodologie geologico-geofisiche indicate dalla Regione Lombardia nella d.g.r. 30 Novembre 2011 n° 9/2616 “Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della L.R. 11/03/2005 n. 12”. Il parametro calcolato per ciascun Comune da Regione Lombardia è riportato in una banca dati e rappresenta il valore di soglia oltre il quale lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione del sito.

Per il comune di Carpenedolo la Regione Lombardia ha assegnato i valori di amplificazione per le diverse categorie di sottosuolo, sotto riportati, in funzione di due intervalli di periodi, di cui quello tra 0,1 e 0,5 secondi corrispondente indicativamente a fabbricati di altezza inferiore ai 5 piani, mentre quello compreso tra 0,5 e 1,5 è, normalmente, relativo a fabbricati più alti e flessibili.

| INTERVALLO (secondi) | CATEGORIA SOTTOSUOLO | | | |
|-------------------------|----------------------|-----|-----|-----|
| | B | C | D | E |
| 0.1 - 0.5 | 1,5 | 1,9 | 2,3 | 2,0 |
| 0.5 - 1.5 | 1,7 | 2,4 | 4,3 | 3,1 |

Tabella 5

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 33 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

7.1 Procedura Regione Lombardia

1° LIVELLO

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

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

2° LIVELLO

Il grado di attendibilità dei dati stratigrafici, geotecnici e geofisici, in termini di valori di V_s , utilizzati nella procedura di 2° livello, può essere assegnato secondo la figura seguente:

| Dati | Attendibilità | Tipologia |
|-----------------------------|---------------|---|
| Litologici | Bassa | Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe |
| | Alta | Da prove di laboratorio su campioni e da prove in situ |
| Stratigrafici (spessori) | Bassa | Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe |
| | Media | Da prove indirette (penetrometriche e/o geofisiche) |
| | Alta | Da indagini dirette (sondaggi a carotaggio continuo) |
| Geofisici (V_s) | Bassa | Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe |
| | Media | Da prove indirette e relazioni empiriche |
| | Alta | Da prove dirette (sismica in foro o sismica superficiale) |

Figura 23 – Allegato 5, Tabella 2 DGR n°9/2616 del 30/11/2011 –

Il primo passaggio da compiere è quello di controllare la compatibilità dei dati ricavati con l'indagine sismica nel sito di intervento e la corrispondenza, nel campo delle variazioni di velocità con la profondità, delle schede tipo della Regione Lombardia relative ad alcune tipologie di suolo. A questo punto, scelta la scheda di riferimento, si deve accettare che il valore di amplificazione in situ sia inferiore a quello definito da R.L. Nel caso in esame si è adottata la *scheda dei terreni di litologia sabbiosa* che consente di mantenere completamente all'interno del campo di validità l'andamento delle velocità con la profondità come si vede nel grafico di seguito riportato.

L'indagine geofisica evidenzia nei primi metri dal piano delle fondazioni, considerate a circa – 1,50 m da p.c., valori di V_s mediati di poco superiori ai 250 m/s, in graduale e progressivo aumento in funzione della profondità.

Di seguito è riportato il grafico dell'andamento delle velocità sismiche confrontate con la curva caratteristica della litologia sabbiosa.

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 34 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

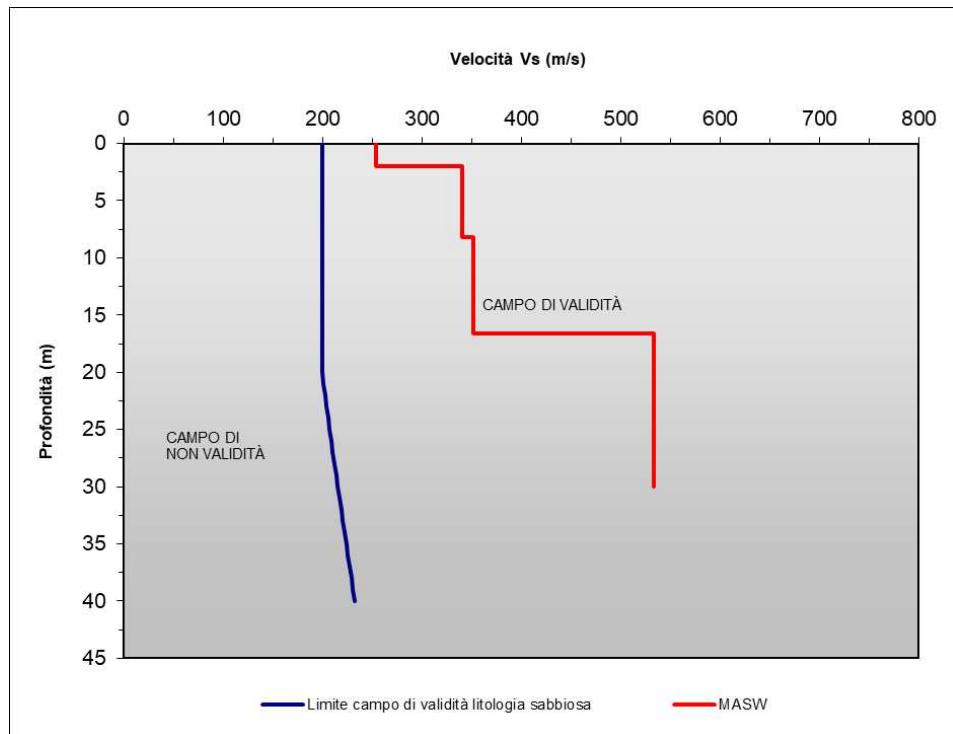
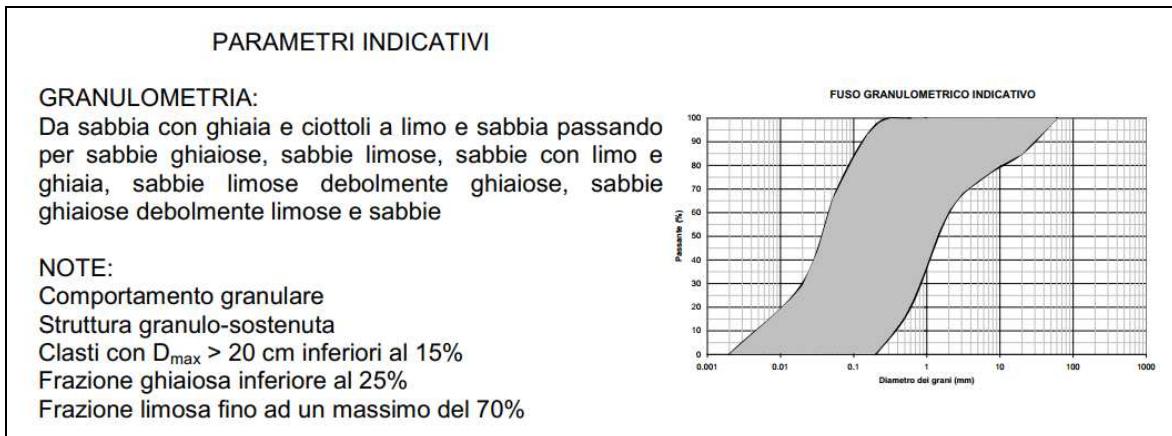


Figura 24 - Andamento Vs scheda litologia sabbiosa Regione Lombardia/MASW –



| Curva | Tratto polinomiale | Tratto logaritmico | Tratto rettilineo | Curva | |
|-------|--|-------------------------------------|------------------------|-------|--|
| 1 | 0.03 ≤ T ≤ 0.50 | 0.50 < T ≤ 1.00 | T > 1.00 | 1 | 0.08 ≤ T ≤ 1.80 |
| | $F_a_{0.1-0.5} = -12.21 T^2 + 7.79 T + 0.76$ | $F_a_{0.1-0.5} = 1.01 - 0.94 \ln T$ | $F_a_{0.1-0.5} = 1.00$ | | $F_a_{0.5-1.5} = 0.57 T^3 - 2.18 T^2 + 2.38 T + 0.81$ |
| 2 | 0.03 ≤ T ≤ 0.45 | 0.45 < T ≤ 0.80 | T > 0.80 | 2 | 0.08 ≤ T < 0.80 |
| | $F_a_{0.1-0.5} = -8.65 T^2 + 5.44 T + 0.84$ | $F_a_{0.1-0.5} = 0.83 - 0.88 \ln T$ | $F_a_{0.1-0.5} = 1.00$ | 3 | 0.80 ≤ T ≤ 1.80 |
| 3 | 0.03 ≤ T ≤ 0.40 | 0.50 < T ≤ 0.55 | T > 0.55 | | $F_a_{0.5-1.5} = -6.11 T^3 + 5.79 T^2 + 0.44 T + 0.93$ |
| | $F_a_{0.1-0.5} = -9.68 T^2 + 4.77 T + 0.86$ | $F_a_{0.1-0.5} = 0.62 - 0.65 \ln T$ | $F_a_{0.1-0.5} = 1.00$ | | $F_a_{0.5-1.5} = 1.73 - 0.61 \ln T$ |

Figura 25 - Scheda litologia sabbiosa – equazioni utilizzate per il calcolo di Fa –

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|--------------------------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 35 di 65 |
| N. COPIE: | Autore: Studio Gea Engineering | | |

7.2 Determinazione del periodo di riferimento del sito

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

$$T(s) = \frac{4 \times \sum_{i=1,N} h_i}{\sum_{i=1,N} h_i \times V_{Si}} \left(\frac{\sum_{i=1,N} h_i}{\sum_{i=1,N} h_i} \right)$$

Dove h_i è lo spessore in metri dello strato i -esimo, V_{Si} è la velocità delle onde di taglio dello strato i -esimo e N è il numero di strati.

L'applicazione della relazione implica di conoscere l'andamento delle V_s con la profondità sino al raggiungimento di velocità ≥ 800 m/s. Nel caso in esame non è stato individuato il bedrock sismico entro i primi 30 m da p.c., pertanto si è dovuto stimare l'andamento delle velocità in profondità. A tale scopo, come previsto da normativa, è stato ipotizzato un gradiente di V_s con la profondità in base ai dati ottenuti dall'indagine fino al valore di 800 m/s, definendo una profondità del bedrock sismico di circa 50 m da p.c.. Considerando che la velocità del primo strato equivalente, di spessore pari a 16,60 m, è di circa 330 m/s e che la verifica degli effetti è stata condotta a partire da -1,50 m da piano campagna, si ricava quanto segue:

- Periodo proprio di sito $T = 0,43$ s
- Fattore di amplificazione ricavato dalla *scheda della litologia sabbiosa per periodo 0,1-0,5 s*:
Fa = 1,6 (soglia comunale categoria B = **1,5+0,1**)
- Fattore di amplificazione ricavato dalla *scheda della litologia sabbiosa per periodo 0,5-1,5 s*:
Fa = 1,7 (soglia comunale categoria B = **1,7+0,1**)

Tenendo conto di un valore di variabilità di +0,1 del valore della soglia comunale, come previsto da normativa regionale, il valore di Fa caratteristico del sito di studio non risulta superare il valore comunale previsto da Regione Lombardia per la categoria di suolo B, pertanto la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e può quindi essere applicato lo spettro previsto da normativa per la categoria B.

8. CALCOLO DELL'AZIONE SISMICA

Con l'entrata in vigore del D.M. 14/01/2008 la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente". Il territorio nazionale è stato suddiviso in punti denominati "nodi", a ciascuno dei quali è stato assegnato un valore dell'accelerazione orizzontale massima al suolo (a_g), con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (corrispondente a un

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|--------------------------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 36 di 65 |
| N. COPIE: | Autore: Studio Gea Engineering | | |

periodo di ritorno di 475 anni). Le zone sismiche individuate con l'Ordinanza n° 3274/2003 assumono, pertanto, una valenza puramente amministrativa.

Il valore mediato degli spettri di risposta della "tabella parametri spettrali" allegata al D.M. per l'accelerazione di picco orizzontale del suolo, con probabilità di eccedenza in 50 anni del 10% (corrispondente ad un periodo di ritorno T_R di 475 anni), è di 0,143 g (dove g è l'accelerazione di gravità). Il D.G.R. Lombardia n. 10/2129 dell'11 luglio 2014, aggiorna tale valore a 0,1484 g.

Pertanto potranno essere assunte le Norme Tecniche per le Costruzioni relative al valore individuato. Di seguito viene riportata la mappa di pericolosità sismica del progetto DPC INGV S1.

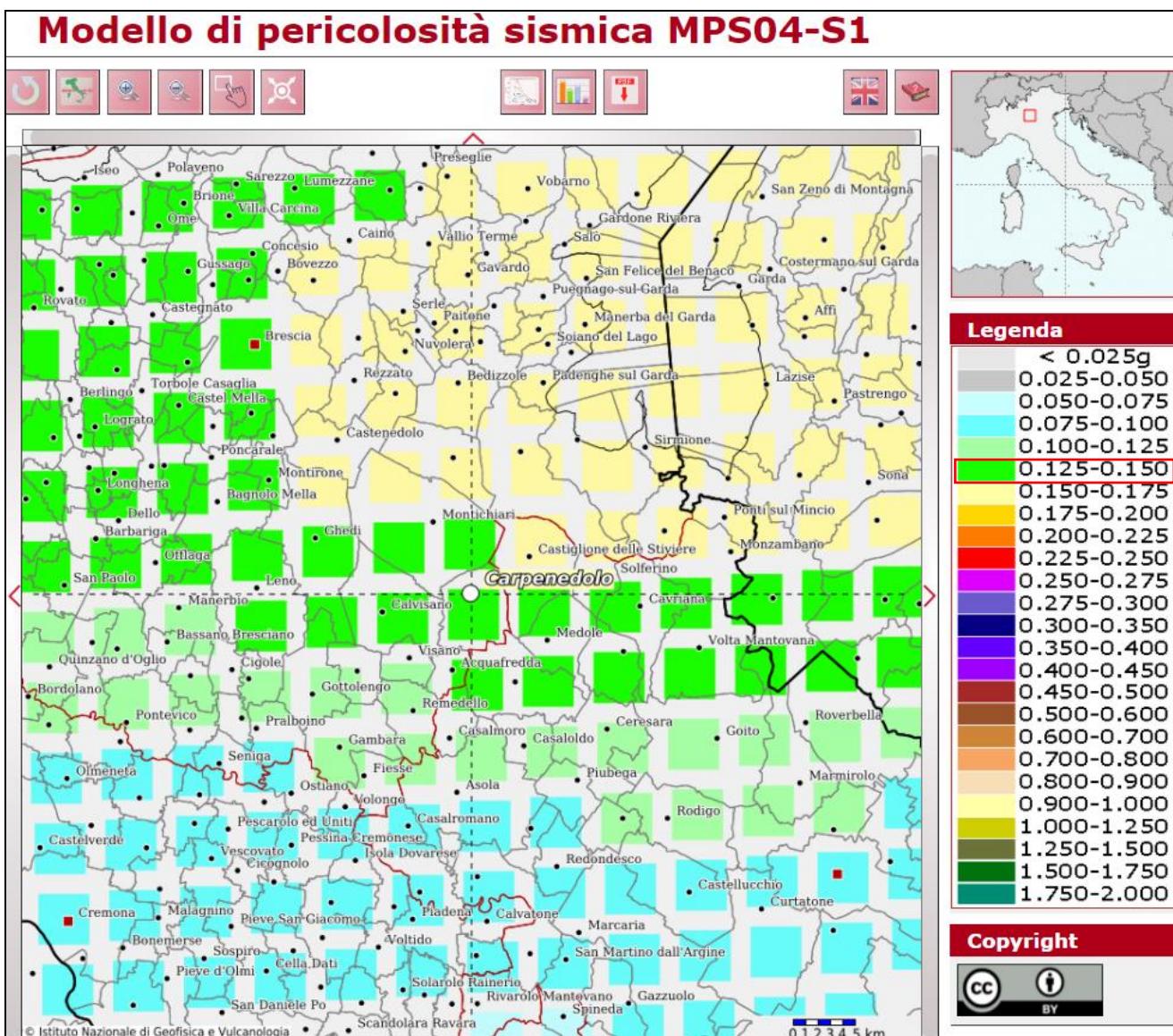


Figura 26 - Mappa di pericolosità sismica - Progetto DPC INGV S1

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|--------------------------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 37 di 65 |
| N. COPIE: | Autore: Studio Gea Engineering | | |

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

| Descrizione da D.M. 17/01/2018 – Tabella 3.2.III | |
|--|---|
| CATEGORIA | Caratteristiche della superficie topografica |
| → T1 | Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ |
| T2 | Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$ |
| T3 | Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$ |
| T4 | Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$ |

Tabella 6

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

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

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

La pericolosità sismica è quindi definita in termini di:

1. accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido (categoria A) con superficie topografica orizzontale (categoria T1).
2. ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $Se(T)$ con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PV_R nel periodo di riferimento V_R .

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

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

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

| | |
|-------------------------------------|----------------------------------|
| TIPO DI COSTRUZIONE | 2 |
| VITA NOMINALE | ≥ 50 anni |
| CLASSE D'USO | II |
| COEFFICIENTE D'USO | CU |
| VITA DI RIFERIMENTO VR=VNxCU | VR |
| | 50 anni |

Tabella 7

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 38 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

Parametri sismici-Media ponderata

| | | | |
|---------------------------------------|---------------------------|-----------|----------|
| Sito in esame | | | |
| latitudine: | 45,350508 | Distanza: | 5378,235 |
| longitudine: | 10,436478 | Distanza: | 519,892 |
| Classe: | 2 | Distanza: | 5080,280 |
| Vita nominale: | 50 | Distanza: | 7380,828 |
| Siti di riferimento | | | |
| Sito 1 ID: 12945 | Lat: 45,3479 Lon: 10,5052 | Distanza: | 5378,235 |
| Sito 2 ID: 12944 | Lat: 45,3461 Lon: 10,4343 | Distanza: | 519,892 |
| Sito 3 ID: 12722 | Lat: 45,3961 Lon: 10,4317 | Distanza: | 5080,280 |
| Sito 4 ID: 12723 | Lat: 45,3979 Lon: 10,5027 | Distanza: | 7380,828 |
| Parametri sismici | | | |
| Categoria sottosuolo: | B | | |
| Categoria topografica: | T1 | | |
| Periodo di riferimento: | 50 anni | | |
| Coefficiente cu: | 1,0 (coefficiente d'uso) | | |
| Operatività (SLO): | | | |
| Probabilità di superamento: | 81% | | |
| Tr: | 30 [anni] | | |
| ag: | 0,038 g | | |
| Fo: | 2,514 | | |
| Tc*: | 0,217 [s] | | |
| Danno (SLD): | | | |
| Probabilità di superamento: | 63% | | |
| Tr: | 50 [anni] | | |
| ag: | 0,049 g | | |
| Fo: | 2,530 | | |
| Tc*: | 0,249 [s] | | |
| Salvaguardia della vita (SLV): | | | |
| Probabilità di superamento: | 10% | | |
| Tr: | 475 [anni] | | |
| ag: | 0,141 g | | |
| Fo: | 2,479 | | |
| Tc*: | 0,271 [s] | | |

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 39 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

Prevenzione dal collasso (SLC):

| | |
|-----------------------------|------------|
| Probabilità di superamento: | 5% |
| Tr: | 975 [anni] |
| ag: | 0,185 g |
| Fo: | 2,475 |
| Tc*: | 0,279 [s] |

Tabella 8

Coefficienti Sismici-Fondazioni

| | |
|--|--|
| SLO: Ss: 1,200 Cc: 1,490 St: 1,000 Kh: 0,009 Kv: 0,005 Amax: 0,444 Beta: 0,200 | SLD: Ss: 1,200 Cc: 1,450 St: 1,000 Kh: 0,012 Kv: 0,006 Amax: 0,577 Beta: 0,200 |
| SLV: Ss: 1,200 Cc: 1,430 St: 1,000 Kh: 0,041 Kv: 0,020 Amax: 1,661 Beta: 0,240 | SLC: Ss: 1,200 Cc: 1,420 St: 1,000 Kh: 0,053 Kv: 0,027 Amax: 2,180 Beta: 0,240 |

Tabella 9

L'accelerazione massima a_{\max} è fornita dal valore nominale di a_g (g), accelerazione orizzontale massima attesa al sito, per **S**

Quindi:

$$a_g (\text{SLV}) = 0,141 \cdot 9,81 = 1,3832 \text{ m/sec}^2$$

$$a_{\max} = a_g \cdot S = 1,3832 \cdot 1,200 = 1,6598 \text{ m/sec}^2$$

con $S = S_s \times St = 1,200 \times 1,000$ (cat. B x cat. topografica T1)

da cui si ottiene, dividendo per (g), un **a_g di sito di 0,169 g.**

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 40 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

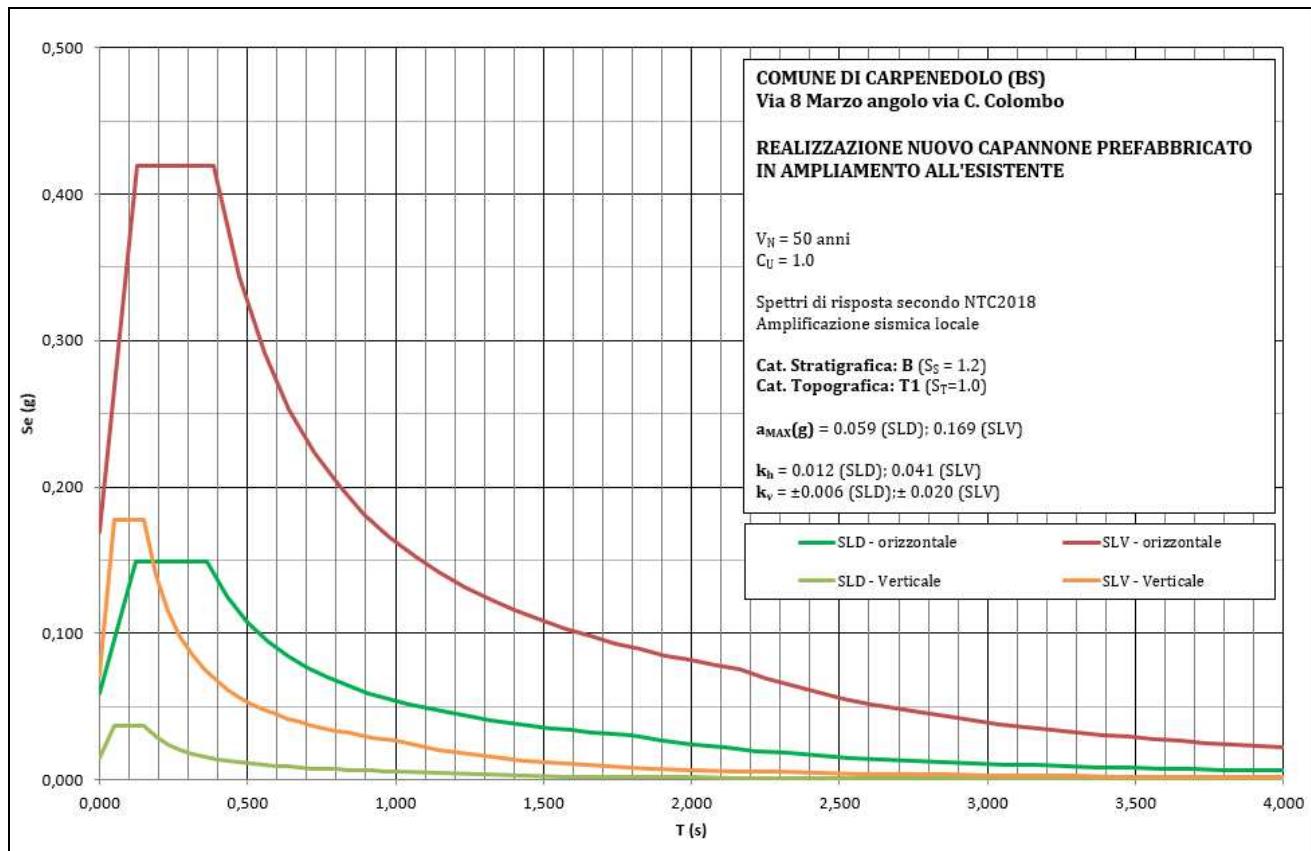


Figura 27 - Spettri elasticci

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

In sintesi:

| Valutazione dell'accelerazione di progetto - FONDAZIONI | | |
|--|---|---|
| | STATO LIMITE | $a_g(g)$ |
| | ULTIMO (SLU) | salvaguardia della vita (SLV) |
| | ULTIMO (SLU) | prevenzione collasso (SLC) |
| | ESERCIZIO (SLE) | operatività (SLO) |
| | ESERCIZIO (SLE) | Danno (SLD) |
| a_{max} accelerazione massima | $a_{max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g$ | 1,6598 m/sec² (per SLV) |
| Coeff. sismico orizzontale | $K_h = \beta_s \cdot a_{max}/g$ | 0,0406 |
| Coeff. sismico verticale | $K_v = \pm 0.5 \cdot K_h$ | $\pm 0,0203$ |

Tabella 10

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 41 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

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

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

9. INDAGINE GEOGNOSTICA

La necessità di acquisire validi e significativi dati geotecnici, circa le caratteristiche del sottosuolo, ha imposto l'esecuzione di un'indagine geognostica specifica; essa è consistita nell'esecuzione di n° 2 prove penetrometriche dinamiche SCPT, realizzate secondo le procedure ISSMF del 1998 ed in conformità alle attuali norme A.G.I.; inoltre è stato eseguito uno scavo con pala meccanica spinto sino alla profondità di circa -3 m dal p.c.

Le prove penetrometriche, ubicate come da Figura 30, sono state spinte fino alle seguenti profondità:

SCPT 1: -10,20 m da zero penetrometrico; foro chiuso a -3,00 m dal p.c.; acqua all'interno del foro non rilevata.



Figura 28- Penetrometro PAGANI – Postazione prova SCPT1 –

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 42 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

SCPT 2: -10,20 m da zero penetrometrico; foro chiuso a -2,80 m dal p.c.; acqua all'interno del foro non rilevata.



Figura 29- Penetrometro PAGANI – Postazione prova SCPT2



Figura 30 – Ubicazione prove penetrometriche SCPT –

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 43 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

La prova penetrometrica dinamica è una prova a carattere puntuale che consiste nell'infissione alternata, nei depositi da indagare, di una batteria di aste interne aventi diametro di 32,0÷34,0 mm (penetrometro Super pesante PAGANI TG 73/100) dotate in testa di una punta conica e di un rivestimento esterno di diametro 48,0 mm. L'energia di infissione è fornita da un maglio del peso di 73,0 kg che cade da un'altezza costante di 75,0 cm, per mezzo di un dispositivo di sganciamento automatico compiendo per ogni battuta un lavoro specifico pari a 234 kJ/mq. Durante la prova si rileva il numero di colpi necessari per la penetrazione di 30,0 cm della punta ed alternativamente del rivestimento; la buona diffusione di questo tipo di prova e la sua standardizzazione consentono di ottenere una significativa caratterizzazione dei terreni attraversati, nonché un'attendibile identificazione dei principali parametri geotecnici, mediante l'utilizzo delle principali correlazioni presenti in bibliografia. Il campo di utilizzazione della prova è molto vasto, potendo venire eseguita praticamente in tutti i tipi di terreno coesivo o granulare (dalle argille alle ghiaie).

La prova dinamica fornisce una valutazione qualitativa del grado di addensamento e di consistenza dei terreni attraversati.

I parametri geomeccanici del terreno di fondazione possono essere ricavati da relazioni empiriche proposte da vari autori correlando il numero di colpi del penetrometro con quelli della prova SPT, oppure correlando la resistenza R_{pd} alla resistenza alla punta qc ottenuta con le prove penetrometriche statiche CPT. Per le prove si è suddiviso il terreno indagato in livelli caratterizzati da valori di N₃₀ relativamente costanti per tutto lo spessore dello strato; per ogni livello ottenuto sono stati calcolati i principali parametri geotecnici medi associati agli strati utilizzando le correlazioni empiriche proposte da vari autori.

La tabella penetrometrica con indicazione dei valori N_{dp} (numero di colpi della punta per un avanzamento di 30,0 cm), nonché il relativo diagramma penetrometrico sono allegati alla presente di cui costituiscono parte integrante.

10. NATURA E CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL SOTTOSUOLO

Si ritiene che i risultati dell'indagine siano sufficientemente esaustivi e rappresentativi, tali da permettere una caratterizzazione litologico-geotecnica del terreno indagato in relazione alla tipologia costruttiva in progetto.

Al di sotto di un livello di copertura dello spessore di circa 0,60/0,70 m costituito da terreno vegetale e di terreni di alterazione superficiale, questi ultimi limo argillosi, sono presenti depositi di origine fluvio-glaciale di natura granulare costituiti da ghiaia e ciottoli, piuttosto addensati, con sabbie da medie a grossolane in

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 44 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

scarsa matrice limosa, dalle discrete proprietà geotecniche complessive; oltre i -3,60/-4,50 m circa dal p.c. tali terreni sfumano in sabbie ghiaiose e, secondariamente, ghiae sabbiose, con lenti ed intercalazioni limo sabbiose di spessore anche plurimetrico.

Di seguito di riporta foto dello scavo esplorativo eseguito all'interno dell'area:



Figura 31 – Scavo esplorativo –

Tali terreni, caratterizzati da una discreta permeabilità, sono sede di una ricca falda freatica con una soggiacenza di circa -3,00 m dal p.c. (maggio 2021). Si ricorda comunque che tale livello è suscettibile di variazioni stagionali anche sensibili. È infatti possibile che, in relazione a stagioni particolarmente piovose, la falda possa subire innalzamenti verso il piano campagna anche di un metro ed oltre andando a interferire con le strutture di fondazione del fabbricato in progetto.

La successione stratigrafica, al di sotto del terreno vegetale, può anche essere espressa in termini di unità geotecniche come riportato di seguito:

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 45 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

UNITA' GEOTECNICA A

- Terreni di copertura e di alterazione superficiale (prevolentemente limo argillosi).
- Profondità: da -0,10/-0,20 m a -0,60 m da p.c. (zero penetrometrico)
- Rp medio: 10-11 colpi

| | |
|---|-------------------|
| Peso di volume naturale (t/mc) | $\gamma_N = 1,80$ |
| Densità relativa (%) | Dr = 30÷35 |
| Coesione efficace (kg/cmq) | $c' = 0,00$ |
| Angolo di attrito (°) | $\phi' = 30÷30,5$ |
| Modulo di deformazione drenato (kg/cmq) | $E' = 180÷200$ |

UNITA' GEOTECNICA B

- Ghiaie e ciottoli con sabbia in scarsa matrice limosa.
- Profondità: da -0,60 m a -3,60/-4,50 m da p.c. (zero penetrometrico)
- Rp medio: 20-25 colpi

| | |
|---|-------------------|
| Peso di volume naturale (t/mc) | $\gamma_N = 1,90$ |
| Densità relativa (%) | Dr = 50÷60 |
| Coesione efficace (kg/cmq) | $c' = 0,00$ |
| Angolo di attrito (°) | $\phi' = 33÷34$ |
| Modulo di deformazione drenato (kg/cmq) | $E' = 250÷350$ |

UNITA' GEOTECNICA C

- Sabbie ghiaiose; intercalazioni plurimetriche limo sabbiose.
- Profondità: da -3,00/-3,30 m ed almeno sino alle massime profondità raggiunte (-10,20 m dal p.c.).
- Rp medio: 10-15 colpi

| | |
|---|-------------------|
| Peso di volume naturale (t/mc) | $\gamma_N = 1,85$ |
| Densità relativa (%) | Dr = 35÷40 |
| Coesione efficace (kg/cmq) | $c' = 0,00$ |
| Angolo di attrito (°) | $\phi' = 30÷32$ |
| Modulo di deformazione drenato (kg/cmq) | $E' = 150÷200$ |

La coesione efficace c' viene cautelativamente considerata uguale a zero.

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 46 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

Correlazioni utilizzate

- I valori della densità relativa D_r sono stati ricavati mediante la correlazione di Terzaghi Peck
- I valori di ϕ sono stati definiti mediante la correlazione di Peck-Hanson-Thorburn per terreni granulari
- Il modulo di deformazione drenato E è stato ricavato con la correlazione di d'Apollonia et Al.

Alla luce di quanto sopra esposto è ragionevole estrapolare i dati ottenuti dall'indagine puntuale all'intero volume del terreno di fondazione, facendo cautelativamente riferimento, in sede di verifiche geotecniche, ai parametri mediamente più bassi, assunti nel modello geotecnico di fondazione.

11. RISCHIO DI LIQUEFAZIONE

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

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

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

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

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

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

La verifica alla liquefazione può essere esclusa (N.T.C. 2018 7.11.3.4.2) quando le accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) risultino minori di 0,1 g.

In caso contrario può essere esclusa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|--------------------------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 47 di 65 |
| N. COPIE: | Autore: Studio Gea Engineering | | |

- Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali.
- Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata (N_1)₆₀ > 30 oppure $q_{c1N} > 180$ dove (N_1)₆₀ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa.
- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

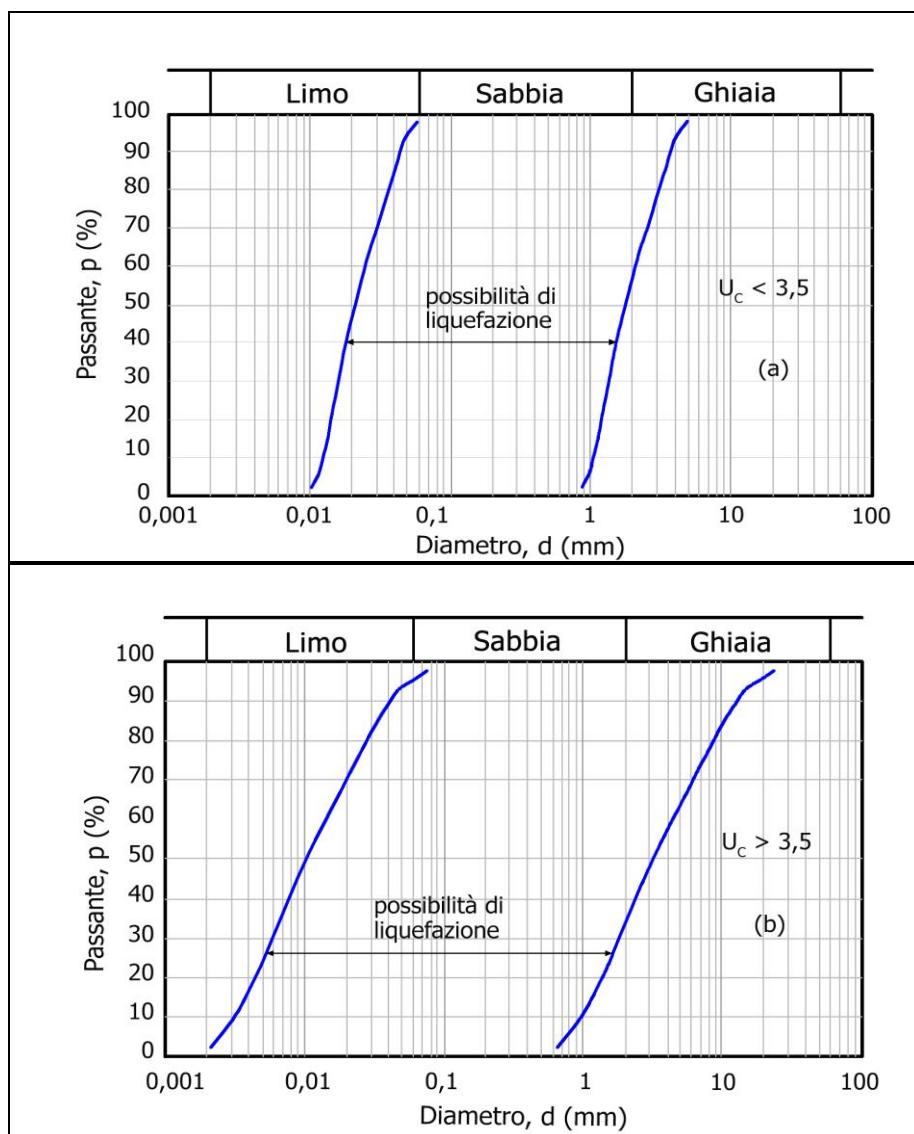


Figura 32- Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione - Figure 7.11.1a e 7.11.1b

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|--------------------------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 48 di 65 |
| N. COPIE: | Autore: Studio Gea Engineering | | |

Per la verifica è stato utilizzato il Metodo di Youd et Al; come livello di progetto della falda è stata considerata la quota di -2,00 m dal piano campagna che tiene conto di possibili escursioni in positivo di carattere stagionale.

Secondo quanto riportato nella normativa vigente (NTC 2018), la sicurezza alla liquefazione viene valutata localmente con l'impiego di metodologie di analisi che consentono di determinare il coefficiente di sicurezza, definito come di seguito:

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

Dove:

- CRR: resistenza ciclica alla liquefazione;
- CSR: sollecitazione ciclica indotta dal sisma.

La resistenza ciclica alla liquefazione può essere determinata con prove cicliche di laboratorio o con relazioni empiriche basate su risultati di prove e misure in situ. La sollecitazione ciclica indotta dal sisma è correlata alla massima tensione tangenziale indotta dall'azione sismica alla profondità considerata, determinabile direttamente con analisi di risposta sismica locale, o indirettamente con l'ausilio di relazioni empiriche.

Un deposito è considerato suscettibile di liquefazione se il coefficiente di sicurezza FSL risultante dall'analisi risulta inferiore 1,25 (Eurocodice 8). Per la valutazione della probabilità di sviluppo del fenomeno di liquefazione sono state eseguite n.2 prove penetrometriche dinamiche continue della profondità di 10,20 metri.

La valutazione di occorrenza del fenomeno è stata effettuata con il metodo proposto da Youd et Al. (2001), utilizzando per il calcolo della resistenza ciclica i risultati delle prove penetrometriche eseguite.

Nei paragrafi seguenti viene sinteticamente descritto il metodo di determinazione della resistenza e della sollecitazione ciclica, i dati considerati per lo svolgimento della verifica, nonché i risultati ottenuti.

Metodo di Youd et Al. (2001)

Resistenza ciclica alla liquefazione (CRR)

La resistenza ciclica alla liquefazione normalizzata a un evento sismico standard con magnitudo 7.5 e a una pressione verticale pari a 1 atm, viene determinata con la seguente relazione:

$$CRR_{M=7.5; \sigma'_V=1 \text{ atm}} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60,cs}} + \frac{(N_1)_{60,cs}}{135} + \frac{50}{(10 \times (N_1)_{60,cs} + 45)^2} - \frac{1}{200}$$

Dove:

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 49 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

- $(N_1)_{60,cs}$: numero di colpi SPT normalizzati rispetto al carico litostatico equivalente a prova SPT in sabbia pulita;

La resistenza alla penetrazione normalizzata equivalente si ottiene applicando ai valori misurati in sito nel corso di prova (q_c), le seguenti relazioni:

$$(N_1)_{60,cs} = \alpha + \beta \times (N_1)_{60}$$

Dove:

- $(N_1)_{60,cs}$: resistenza alla penetrazione normalizzata equivalente a prova SPT in sabbia pulita;
- $(N_1)_{60}$: resistenza alla penetrazione normalizzata da prova SPT;
- α, β : coefficienti correttivi funzione del contenuto percentuale di fine (FC) del deposito

$$\alpha = 0 \quad \text{per } FC \leq 5\%$$

$$\alpha = \exp \left[1.76 - \left(\frac{190}{FC^2} \right) \right] \quad \text{per } 5\% < FC < 35\%$$

$$\alpha = 5 \quad \text{per } FC \geq 35\%$$

$$\beta = 1 \quad \text{per } FC \leq 5\%$$

$$\beta = \exp \left[0.99 - \left(\frac{FC^{1.5}}{1000} \right) \right] \quad \text{per } 5\% < FC < 35\%$$

$$\beta = 1.2 \quad \text{per } FC \geq 35\%$$

La resistenza alla penetrazione normalizzata ($N_1)_{60,cs}$) si ottiene applicando ai valori misurati in sito nel corso di prova (N_{SPT}), dei coefficienti correttivi che tengono conto dell'energia specifica per colpo (C_E), del diametro del foro (C_B), del tipo di campionatore Raymond utilizzato (C_S), della lunghezza delle aste (C_R) e del carico litostatico (C_N):

$$(N_1)_{60} = N_{SPT} \times C_E \times C_B \times C_S \times C_R \times C_N$$

$$C_E = \frac{E_R}{60}$$

Dove:

- E_R (%): rendimento del sistema di battitura;

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 50 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

| Diametro del foro | | Tipo di campionatore | | Lunghezza delle aste | |
|-------------------|------|----------------------|----------|----------------------|------|
| (mm) | CB | tipo | CS | (m) | CR |
| 65÷115 | 1.00 | Standard | 1.00 | 3÷4 | 0.75 |
| 150 | 1.05 | Con portacampione | 1.05÷115 | 4÷6 | 0.85 |
| 200 | 1.15 | | | 6÷10 | 0.95 |
| | | | | >10 | 1.00 |

$$C_N = \left(\frac{p_a}{\sigma'_v} \right)^{0.5}$$

Si sottolinea che, nel caso i (N_1)₆₀ ≥ 30 il terreno non è soggetto al fenomeno di liquefazione.

Sollecitazione ciclica indotta dal sisma (CSR)

La sollecitazione ciclica indotta dal sisma, riferita a un evento sismico di magnitudo M e a una tensione litostatica efficace σ'_v , è legata all'accelerazione massima di progetto sito specifica(a_{MAX}), e al rapporto fra tensione litostatica totale ed efficace; la formulazione per il calcolo è la seguente:

$$CSR_{M; \sigma'_v} = 0.65 \times \frac{a_{MAX}}{g} \times \left(\frac{\sigma_{V0}}{\sigma'_{V0}} \right) \times r_d$$

$$r_d = \frac{1 - 0.4113 \times z^{0.5} + 0.04052 \times z + 0.001753 \times z^{1.5}}{1 - 0.4177 \times z^{0.5} + 0.05729 \times z - 0.006205 \times z^{1.5} + 0.001210 \times z^2} \leq 1$$

Dove:

- a_{MAX} : accelerazione massima attesa in sito;
- g: accelerazione di gravità;
- σ_{V0} : tensione litostatica verticale totale;
- σ'_{V0} : tensione litostatica verticale efficace;
- r_d : coefficiente di riduzione delle tensioni (calcolato con la formulazione di Blake, 1996);
- z: profondità.

La resistenza ciclica alla liquefazione precedentemente definita, è relativa a un evento sismico di magnitudo pari a 7.5 e a una tensione litostatica di riferimento pari a 100 kP, di conseguenza deve essere normalizzata in funzione della tensione litostatica e della magnitudo momento sito specifica (s'_v , M), mediante la seguente relazione.

$$CRR_{M; \sigma'_v} = CRR_{M=7.5; \sigma'_v=1 \text{ atm}} \times MSF \times K_\sigma$$

Dove:

- MSF: fattore di scala della magnitudo;
- K_σ : fattore di correzione per la tensione litostatica.

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 51 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

$$MSF = \frac{10^{2.24}}{M_W^{2.56}}$$

$$K_\sigma = \left(\frac{\sigma'_{V0}}{P_a} \right)^{f-1} \leq 1$$

$$0.6 < f < 0.8$$

Dove:

- M_W : magnitudo momento sito specifica;
- f : fattore compreso fra 0.6 e 0.8, funzione della densità relativa del deposito attraversato.

In base a quanto sopra esposto, il fattore di sicurezza nei confronti della liquefazione viene calcolato come:

$$FSL = \frac{CRR_{M; \sigma_V}}{CSR_{\sigma_V}}$$

Oltre a quanto sopra esposto, si è proceduto al calcolo della probabilità di sviluppo del fenomeno della liquefazione secondo la formulazione proposta da Chen et Al. (2000) per il metodo di verifica utilizzato.

$$P_L = \frac{1}{1 + \left(\frac{FSL}{0.77} \right)^{3.25}}$$

Per la verticale di indagine è stato calcolato l'indice di potenziale di liquefazione, secondo la formulazione proposta da Sonmez (2003):

$$I_L = \int_{z=0}^{z_{crit}} F_{(z)} \times w_{(z)} \times dz$$

Dove:

- z_{crit} : profondità massima alla quale l'effetto della liquefazione produce effetti in superficie (assunta pari a 20,0 m)
- $F_{(z)}$: variabile con valori compresi fra 0 e 1, definita per ogni profondità compresa fra 0 m e z_{crit} , legata al fattore di sicurezza della liquefazione (FSL):

$$F_{(z)} = 0 \quad \text{per } FSL \geq 1.25$$

$$F_{(z)} = 2 \times 10^6 \times \exp(-18.427 \times FSL) \quad \text{per } 1.25 > FSL > 0.95$$

$$F_{(z)} = 1 \quad \text{per } FSL \leq 0.95$$

- $w_{(z)}$: fattore di peso della profondità:

$$w_{(z)} = \frac{200}{z_{crit}} \times \left(1 - \frac{z}{z_{crit}} \right)$$

In funzione del risultato una verticale di prova viene definita non liquefacibile ($I_L=0$), con potenziale di liquefazione basso ($0 < I_L \leq 2$), moderato ($2 < I_L \leq 5$), alto ($5 < I_L \leq 15$) o molto alto ($15 < I_L$).

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 52 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

Parametri utilizzati

Per le verifiche effettuate sono stati utilizzati i seguenti parametri:

- Risultati delle prove penetrometriche dinamiche continue eseguite, opportunamente corretti in funzione dell'energia specifica in valori di resistenza alla penetrazione da prova SPT (N_{SPT-EQ});
- Soggiacenza della falda acquifera stimata nel corso delle indagini (maggio 2021), pari a -3,00 m circa, con possibilità di escursione verso il p.c. pari a circa 1,00 m;
- Accelerazione massima di progetto sito specifica ($a_{g,MAX}/g$), definita al §8, pari a $a_{g,MAX} = 0,169 \text{ g}$;
- Magnitudo momento (M_w) sito specifica, definita con il metodo della disaggregazione dalle mappe di pericolosità sismica dell'INGV, pari a 4.95, con evento sismico a 9,7 km di distanza epicentrale.

Per quanto riguarda il peso di volume del terreno necessario per il calcolo delle tensioni litostatiche verticali, è stato stimato un valore variabile da 18 kN/m³ a 19 kN/m³; per quanto riguarda il contenuto percentuale in fine (limo e argilla) dei depositi oggetto di indagine, sulla base dell'interpretazione delle prove eseguite è stato attribuito un valore compreso tra il 10% nei terreni più francamente incoerenti sino ad arrivare al 60 % negli interstrati con componente limo argillosa più importante.

Risultati

Di seguito sono riportati i diagrammi resistenza ciclica alla liquefazione-sollecitazione ciclica indotta dal sisma-profundità, fattore di sicurezza alla liquefazione-profundità, probabilità di liquefazione-profundità.

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 53 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

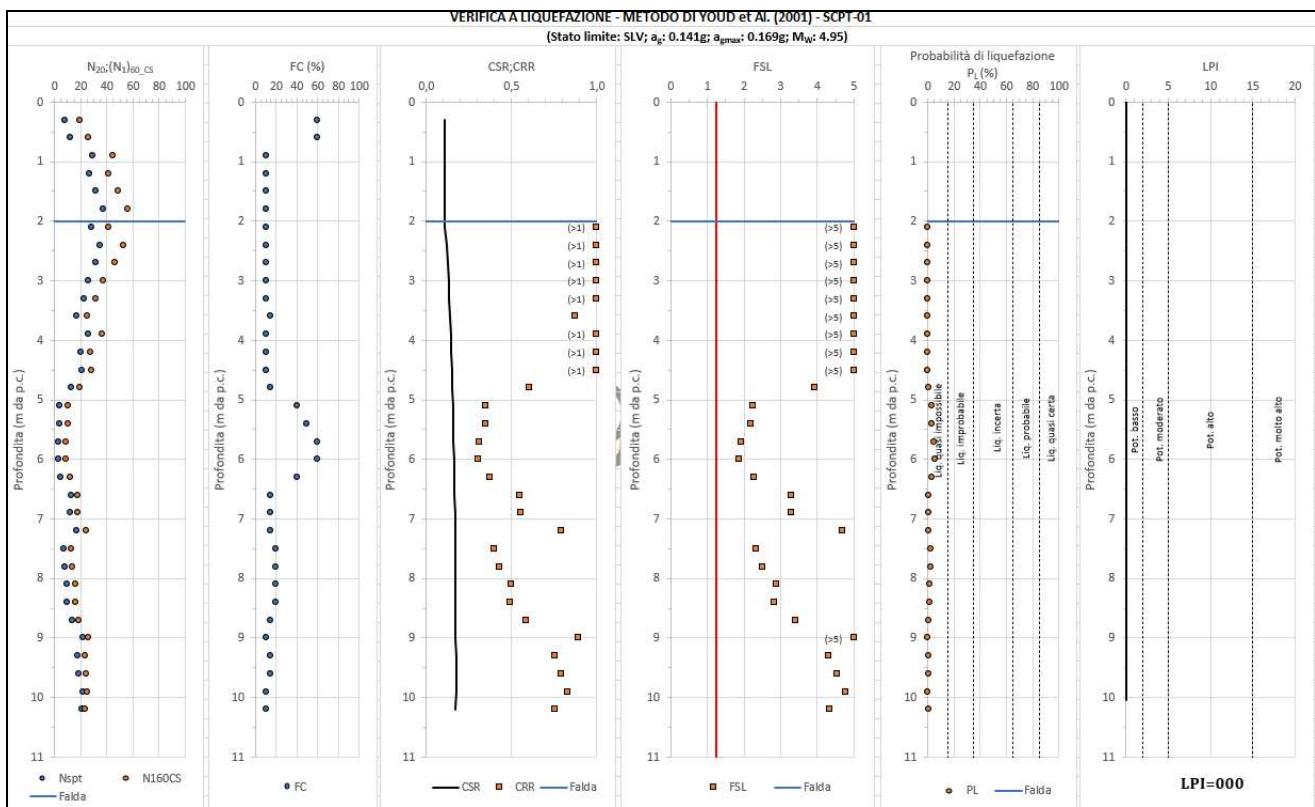


Figura 33- Grafici prova SCPT1

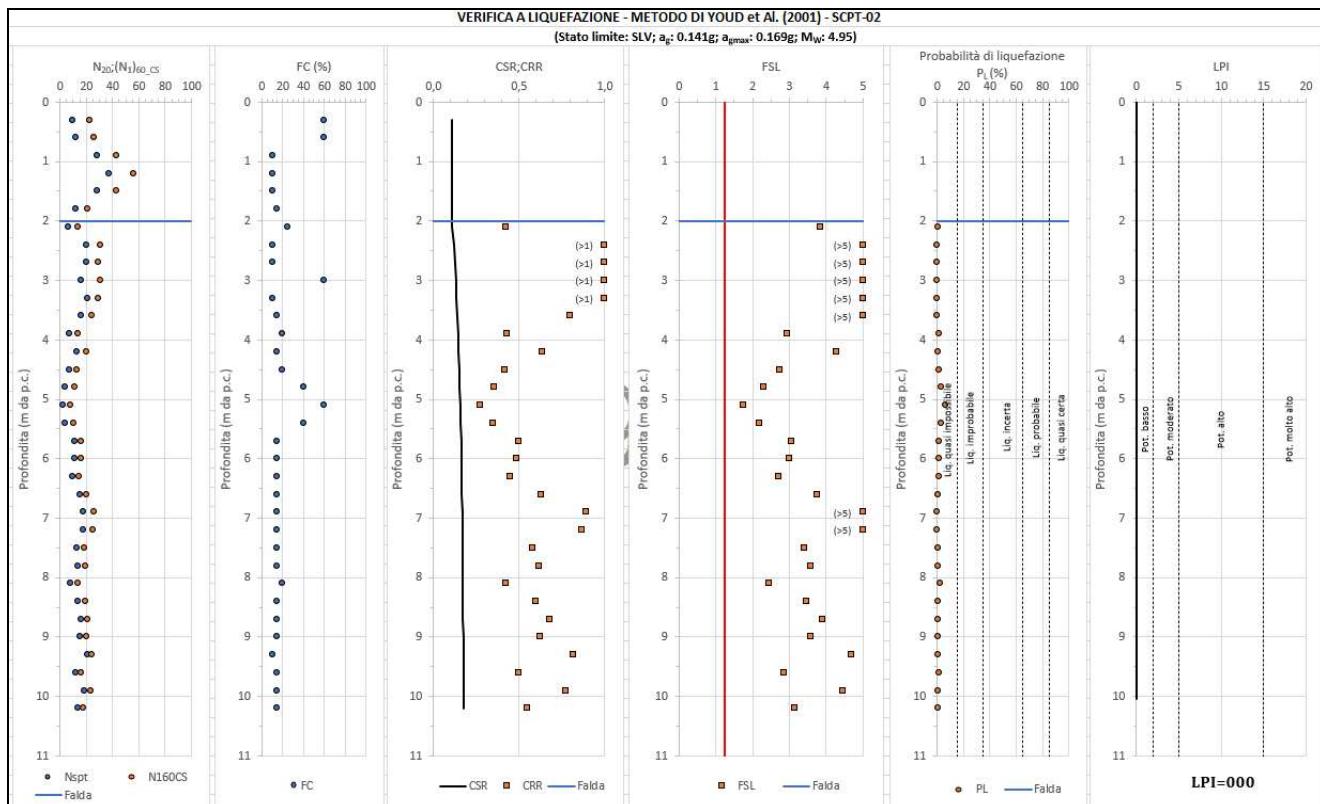


Figura 34- Grafici prova SCPT2

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|--------------------------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 54 di 65 |
| N. COPIE: | Autore: Studio Gea Engineering | | |

Dai diagrammi di cui sopra si osserva che i terreni di sottofondazione non sono soggetti al fenomeno della liquefazione e che risultano caratterizzati da fattori di sicurezza sempre superiori a 1,25; si ritiene quindi il fenomeno della liquefazione improbabile agli inputi sismici attesi (indice del potenziale di liquefazione LPI=0,00).

CONCLUSIONI

La presente relazione è stata redatta al fine di valutare le caratteristiche geologiche, idrogeologiche, geotecniche e sismiche di un'area posta nel territorio comunale di Carpenedolo (BS) – via 8 Marzo angolo via C. Colombo, a corredo del progetto di nuova realizzazione di un nuovo capannone prefabbricato in ampliamento alle strutture esistenti.

A tal fine, per verificare la natura dei terreni presenti nei primi metri di sottosuolo, sono state eseguite n° 2 prove penetrometriche dinamiche SCPT, spinte fino ad una profondità massima di 10,20 m dall'attuale piano campagna ed uno scavo esplorativo con pala meccanica della profondità di circa 3 m, mentre per la definizione della categoria sismica di sottosuolo è stata eseguita una prospezione sismica MASW.

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

- La carta della Fattibilità Geologica del PGT del comune di Carpenedolo inquadra l'area in oggetto prevalentemente nella classe 2: *classe di fattibilità geologica con modeste limitazioni*, mentre il 1° livello di PSL attribuisce uno scenario di pericolosità Z4a (*zona di fondovalle o di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi - Amplificazioni litologiche e geometriche*).
- Si ritiene che le opere di progetto siano compatibili con l'assetto geologico, geomorfologico ed idrogeologico dei luoghi. Pertanto, l'intervento, se eseguito in ottemperanza a quanto prescritto nella presente relazione, è compatibile con le Classi di Fattibilità Geologica in cui ricade.
- La morfologia dell'area, pianeggiante, risulta esente da fenomeni in rapida evoluzione geomorfologica in atto o potenziali che pregiudichino la stabilità dei luoghi e la buona riuscita delle opere in progetto.
- Le indagini hanno messo in evidenza, al di sotto di un livello di alterazione superficiale dello spessore inferiore al metro, la presenza di depositi di origine fluvioglaciale di natura prevalentemente ghiaiosa con ciottoli e sabbia, dalle discrete proprietà geotecniche complessive.

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 55 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

Studio Gea Engineering

- Durante le indagini è stata rilevata la presenza della falda freatica ad una profondità di circa -3,00 m da p.c.; tale livello è comunque suscettibile di variazioni stagionali anche importanti in funzione degli apporti meteorici e del regime irriguo.
- Sulla base dell'indagine sismica eseguita il valore della velocità di propagazione delle onde di taglio ($V_{s,eq}$) nei terreni interessati dall'intervento in oggetto è pari a 400 m/sec da quota fondazioni (considerata a -1,50 m circa dal p.c.), pertanto la categoria di appartenenza del litotipo equivalente è la B: “*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*”.
- La verifica sismica di 2° livello eseguita con il metodo Regione Lombardia considerando una categoria di sottosuolo B non supera il valore comunale previsto sia nell'intervallo 0,1-0,5 s, sia nell'intervallo 0,5-1,5; quindi il calcolo dell'azione sismica è stato eseguito considerando una categoria di sottosuolo B.
- L'accelerazione sismica massima attesa nell'area di studio (a_{max}) per lo Stato Limite di Vita (SLV), definita a partire dalla pericolosità sismica di base propria del sito e dai parametri sismici di progetto, risulta, quindi, pari a 1,6598 m/sec² (0,169 g). I corrispondenti coefficienti verticale e orizzontale per le fondazioni sono rispettivamente: $K_h = 0,0406$ e $K_v = \pm 0,0203$.

Relativamente a quanto in progetto, ovvero la realizzazione di un nuovo capannone prefabbricato, non si evidenziano, per questa classe di Fattibilità Geologica e per le corrispondenti limitazioni previste, situazioni e fenomeni in atto in grado di modificare le caratteristiche idrogeologiche e idrografiche dell'area; dalle considerazioni esposte in questa sede e dall'esame delle condizioni geomorfologiche, geologiche ed idrogeologiche dell'area e dei depositi indagati si può affermare che le caratteristiche dell'area risultano compatibili con la destinazione d'uso prevista e con quanto in progetto, facendo riferimento a quanto sin qui esposto.

Pieve d'Olmi (CR), 11/11/2024

Il Tecnico

Dott. Geol. Luca Donato Piazza

Ordine dei Geologi della Lombardia n° 1380AP



| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 56 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

RELAZIONE GEOTECNICA

1. CONSIDERAZIONI GEOTECNICHE

Fondazioni superficiali

La presente relazione, sintesi e compendio dello studio geologico eseguito per la determinazione delle caratteristiche stratigrafiche, litologiche, idrogeologiche e geotecniche dei terreni costituenti il sottosuolo, contiene le considerazioni e le stime a carattere geologico-geotecnico riguardanti i terreni interessati dalle fondazioni dell'opera in progetto.

Sulla base di quanto riportato nella relazione geologica e sismica (alla quale si rimanda), considerando come riferimento per la caratterizzazione geotecnica i dati riportati nel paragrafo relativo alla Relazione Geologica e Sismica “Indagini geognostiche” è stato possibile costruire il modello geotecnico utilizzando i valori mediamente più bassi dei principali parametri geotecnici relativi alle unità individuate.

Sulla scorta dei risultati ottenuti dall'indagine geognostica viene determinata la resistenza di progetto del sistema terreno-fondazione (R_d) seguendo la procedura indicata dalle “Norme Tecniche per le Costruzioni”, che prevede un approccio agli stati limite.

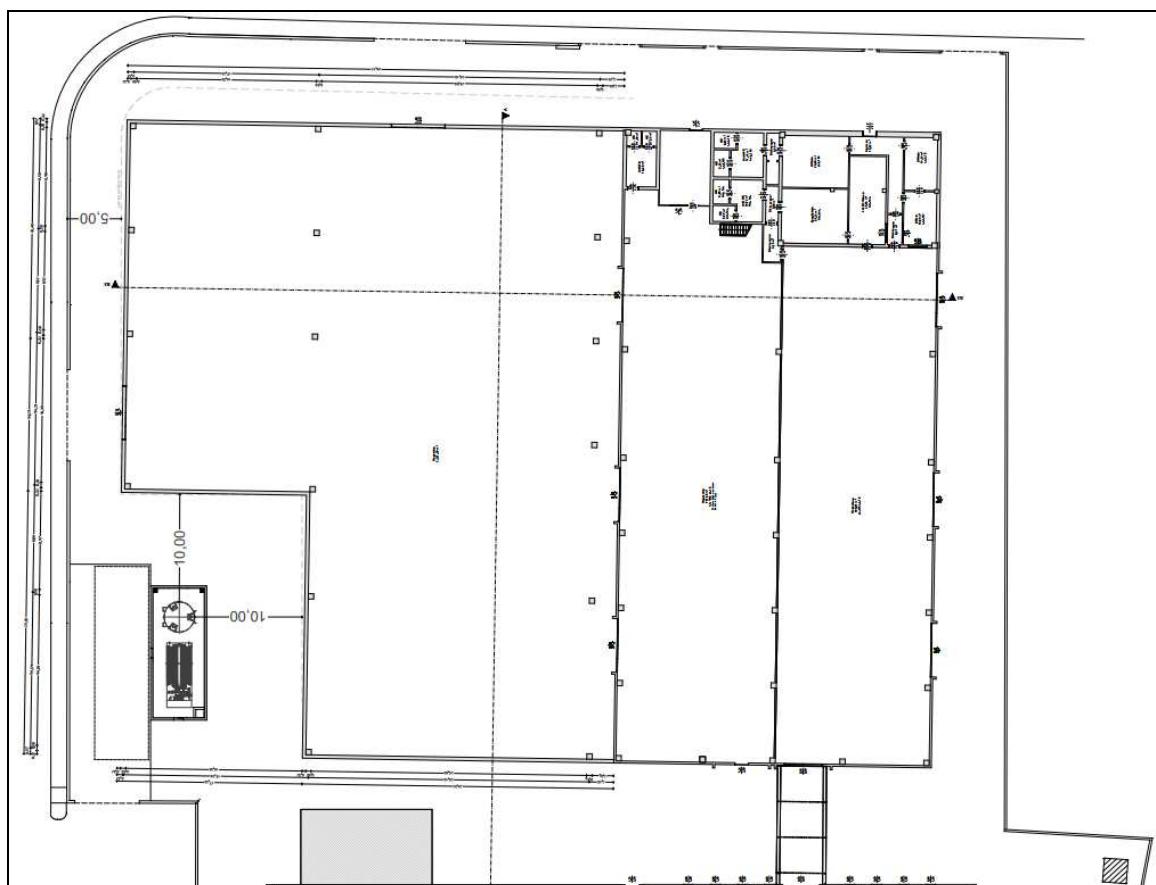


Figura 1 – Pianta di massima capannone in progetto fuori scala-a cura di geom. Mauro Vitali

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|--------------------------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 57 di 65 |
| N. COPIE: | Autore: Studio Gea Engineering | | |

Per quanto in progetto vengono ipotizzati i seguenti tipologici fondazionali:

- Tipologico T1: a plinto isolato di lato $B=L=2,50$ m, con quota di imposta a circa -1,50 m circa dal piano campagna (zero penetrometrico).
- Tipologico T2: a plinto isolato di lato $B=L=3,00$ m, con quota di imposta a circa -1,50 m circa dal piano campagna (zero penetrometrico).
- Tipologico T3: a plinto isolato di lato $B=L=3,50$ m, con quota di imposta a circa -1,50 m circa dal piano campagna (zero penetrometrico).

1.1 Verifica della sicurezza e delle prestazioni

Verifica agli Stati Limiti Ultimi (SLU) e di Esercizio (SLE) - (N.T.C. 2018)

La norma in oggetto prevede la definizione del grado di sicurezza di una struttura relativamente alla possibilità di rottura o deformazione del terreno di fondazione, con un approccio di tipo semiprobabilistico, adottando il concetto di “*stato limite ultimo (SLU)*”. Mentre nel caso si esamini una situazione in cui la deformazione o il danno siano reversibili o cessino con l'estinguersi della causa che ha determinato il superamento dello stato limite si utilizza il concetto di “*stato limite di esercizio (SLE)*”.

La misura del grado di sicurezza si ottiene con il “*metodo semiprobabilistico dei coefficienti parziali*” nel quale deve essere soddisfatta la seguente condizione:

$$E_d \leq R_d$$

Dove E_d è valore di progetto dell’azione o degli effetti delle azioni e R_d è valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico:

$$E_d = E \left[\gamma_F \times F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$
$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} \times R \left[\gamma_F \times F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right]$$

Nelle formulazioni di cui sopra, il valore degli effetti delle azioni (E) e della resistenza (R) dipendono dai seguenti fattori:

- Azioni di progetto ($\gamma_F \times F_k$): dove F_k rappresenta il valore della generica azione caratteristica e γ_F il relativo coefficiente amplificativo (tabella 6.2.I NTC2018);

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 58 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

- Parametri di progetto (X_k/γ_M): dove X_k rappresenta il generico parametro meccanico caratteristico del terreno/roccia e γ_M il relativo coefficiente riduttivo (tabella 6.2.II NTC2018);
- Geometria di progetto (a_d).

Inoltre nella formulazione delle resistenze di progetto (R_d), compare il coefficiente riduttivo della resistenza del sistema geotecnico (γ_R , per opere di fondazione tabella 6.4.I NTC2018), da applicare alla resistenza (R). Conseguentemente il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico si calcola:

- applicando ai parametri geotecnici del terreno i coefficienti parziali γ_M (Tabella 6.2.II).

| Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno | | | | |
|---|--|--|-------------|-------------|
| Parametro | Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale | Coefficiente parziale γ_M | (M1) | (M2) |
| Tangente dell'angolo di resistenza al taglio | $\tan \varphi'_k$ | $\gamma_{\varphi'}$ | 1,0 | 1,25 |
| Coesione efficace | c'_k | $\gamma_{c'}$ | 1,0 | 1,25 |
| Resistenza non drenata | c_{uk} | γ_{cu} | 1,0 | 1,4 |
| Peso dell'unità di volume | γ_Y | γ_Y | 1,0 | 1,0 |

- considerando i coefficienti parziali γ_R (Tabella 6.4.I di seguito riportata) per le verifiche di fondazioni superficiali.

| Tab. 6.4.I – Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali | |
|--|---------------------------------------|
| Verifica | Coefficiente parziale (R3) |
| Carico limite | $\gamma_R = 2,3$ |
| Scorrimento | $\gamma_R = 1,1$ |

In modo analogo anche i valori di progetto delle azioni dovranno essere modificati dai progettisti secondo specifici coefficienti parziali γ_F (γ_E) (Tabella 6.2.I):

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 59 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

| | | Effetto | Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E) | EQU | (A1) | (A2) |
|--|-------------|----------------|--|------------|-------------|-------------|
| Carichi permanenti G ₁ | Favorevole | γ_{G1} | 0,9 | 1,0 | 1,0 | |
| | Sfavorevole | | 1,1 | 1,3 | 1,0 | |
| Carichi permanenti G ₂ ⁽¹⁾ | Favorevole | γ_{G2} | 0,8 | 0,8 | 0,8 | |
| | Sfavorevole | | 1,5 | 1,5 | 1,3 | |
| Azioni variabili Q | Favorevole | γ_{Qi} | 0,0 | 0,0 | 0,0 | |
| | Sfavorevole | | 1,5 | 1,5 | 1,3 | |

⁽¹⁾ Per i carichi permanenti G₂ si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{GI}

Facendo riferimento a quanto esposto in precedenza, la normativa prescrive che per le fondazioni superficiali, le verifiche debbano essere effettuate almeno nei confronti dei seguenti stati limite:

- SLU di tipo geotecnico (GEO)
 - collasso per carico limite dell'insieme fondazione – terreno
 - collasso per scorrimento sul piano di posa
 - stabilità globale
- SLU di tipo strutturale (STR)
 - raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali

Le verifiche di tipo geotecnico per fondazioni superficiali devono essere effettuate secondo l'Approccio 2 (N.T.C. 2018 6.4.2.1):

- Approccio2: combinazione unica (A1+M1+R3)

In questa fase, non conoscendo i valori di progetto delle azioni Ed (permanenti e variabili) imposte dalla struttura al terreno, non è possibile eseguire tutte le verifiche sopra descritte.

Ci si limita pertanto, a determinare i valori di Rd_(SLU) (con la combinazione M1+R3), e quelli di Rd_(SLE) in modo da fornire al progettista i dati relativi al prevedibile comportamento del terreno (e alla verifica per carico limite dell'insieme fondazione – terreno).

Le verifiche sotto riportate sono state eseguite utilizzando le formule di Hansen (1970), Terzaghi (1955), Meyerhof (1963), Vesic (1975) e Brinch e Hansen (1970); si è poi fatto riferimento a quella più restrittiva.

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 60 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

TIPOLOGICO T1 -PLINTO ISOLATO DI LATO B=L=2,50 M

- La verifica per il carico limite dell'insieme fondazione – terreno secondo l'Approccio 2 (combinazione unica M1+R₃) con coefficienti parziali γR della tabella 6.4.I) considerando una fondazione a plinto isolato quadrata di lato B=L=2,50 m, posata a -1,50 m circa dal p.c. (zero penetrometrico), ha dato come valore di resistenza **3,12 kg/cm²** (Terzaghi).

TIPOLOGICO T2 -PLINTO ISOLATO DI LATO B=L=3,00 M

- La verifica per il carico limite dell'insieme fondazione – terreno secondo l'Approccio 2 (combinazione unica M1+R₃) con coefficienti parziali γR della tabella 6.4.I) considerando una fondazione a plinto isolato quadrata di lato B=L=3,00 m, posata a -1,50 m circa dal p.c. (zero penetrometrico), ha dato come valore di resistenza **3,07 kg/cm²** (Terzaghi).

TIPOLOGICO T3 -PLINTO ISOLATO DI LATO B=L=3,50 M

- La verifica per il carico limite dell'insieme fondazione – terreno secondo l'Approccio 2 (combinazione unica M1+R₃) con coefficienti parziali γR della tabella 6.4.I) considerando una fondazione a plinto isolato quadrata di lato B=L=3,50 m, posata a -1,50 m circa dal p.c. (zero penetrometrico), ha dato come valore di resistenza **3,08 kg/cm²** (Terzaghi).

I valori di $R_d_{(SLE)}$ saranno espressi correlandoli con le valutazioni dei sedimenti indotti dalle resistenze in corrispondenza dei livelli individuati al di sotto del piano di posa; in tal modo verranno calcolati i valori degli spostamenti e delle distorsioni del terreno al di sotto del piano di posa, per verificarne la compatibilità con i requisiti prestazionali della struttura in elevazione, nel rispetto della condizione:

$$Ed \leq Cd$$

dove: Ed: valore di progetto dell'effetto delle azioni.

Cd: valore limite dell'effetto delle azioni

L'applicazione di un sovraccarico produce una variazione dello stato tensionale del terreno; il carico applicato tende a diffondersi in profondità fino al suo completo assorbimento.

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|--------------------------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 61 di 65 |
| N. COPIE: | Autore: Studio Gea Engineering | | |

I cedimenti sono causati dalla deformazione elastica e plastica dei terreni di fondazione: tale deformazione nei terreni a tessitura fine (argille e limi) si realizza in tempi molto lunghi con l'espulsione dell'acqua contenuta tra grano e grano (consolidamento).

Il metodo utilizzato è quello di Schmertmann (1970).

Il cedimento stimato è quello assoluto riferito al centro della fondazione considerata rigida.

Alla luce di quanto sopra esposto e dei risultati ottenuti le ipotesi perseguitibili saranno:

TIPOLOGICO T1 -PLINTO ISOLATO DI LATO B=L=2,50 M

- Profondità di posa a -1,50 m circa da p.c. (zero penetrometrico), fondazione a plinto isolato quadrata di lato $B=L=2,50$ m, con Resistenza di Progetto in condizioni di esercizio ($Rd_{(SLE)}$) di **1,50 kg/cm²**; i cedimenti totali teorici saranno nell'ordine di 14-16 mm.

TIPOLOGICO T2 -PLINTO ISOLATO DI LATO B=L=3,00 M

- Profondità di posa a -1,50 m circa da p.c. (zero penetrometrico), fondazione a plinto isolato quadrata di lato $B=L=3,00$ m, con Resistenza di Progetto in condizioni di esercizio ($Rd_{(SLE)}$) di **1,50 kg/cm²**; i cedimenti totali teorici saranno nell'ordine di 18-20 mm.

TIPOLOGICO T3 -PLINTO ISOLATO DI LATO B=L=3,50 M

- Profondità di posa a -1,50 m circa da p.c. (zero penetrometrico), fondazione a plinto isolato quadrata di lato $B=L=3,50$ m, con Resistenza di Progetto in condizioni di esercizio ($Rd_{(SLE)}$) di **1,50 kg/cm²**; i cedimenti totali teorici saranno nell'ordine di 21-23 mm.

Trattandosi di terreni di natura prevalentemente granulare tali cedimenti si esauriranno entro breve tempo dall'applicazione del carico.

I valori di resistenze di progetto del sistema geotecnico in condizioni di esercizio ($Rd_{(SLE)}$) indicati sono inferiori o uguali alla resistenza di progetto del sistema geotecnico calcolata con i coefficienti parziali $M1+R3$ più restrittivi. Sarà cura del progettista verificare se tali valori risultano essere anche inferiori (o uguali) al valore di progetto dell'azione (Ed) imposta dalla struttura al terreno.

Resta inteso che l'entità dei cedimenti qui stimati dovrà essere confrontata con quella che il progettista ritiene essere compatibile con la durabilità e l'esercizio dell'opera nelle diverse condizioni.

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 62 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

Soluzioni o valutazioni per ipotesi di geometrie differenti, potranno essere predisposte su richiesta del progettista strutturale.

È opportuno sottolineare come i cedimenti sopra ipotizzati vengano calcolati in base a parametri geotecnici dedotti dalla resistenza alla punta delle prove penetrometriche eseguite; tali valori, seppur indicativi, dovrebbero essere confrontati con moduli di deformazione ricavati da specifiche prove in situ per avere garanzia di maggiore validità.

CONCLUSIONI E PRESCRIZIONI

- Le verifiche della sicurezza e delle prestazioni eseguite ipotizzando, per quanto in progetto, una fondazione a plinto isolato quadrata di lato $B=L=2,50$ m, posata a -1,50 m circa dal p.c. (zero penetrometrico), hanno fornito i seguenti risultati: $Rd_{(SLU)}$, effettuata secondo l'Approccio 2 (combinazione unica M1+R3), di 3,12 kg/cm². La Resistenza di Progetto in condizioni di esercizio ($Rd_{(SLE)}$), con cedimenti totali teorici nell'ordine di 14-16 mm, è di 1,50 kg/cm².
- Le verifiche della sicurezza e delle prestazioni eseguite ipotizzando, per quanto in progetto, una fondazione a plinto isolato quadrata di lato $B=L=3,00$ m, posata a -1,50 m circa dal p.c. (zero penetrometrico), hanno fornito i seguenti risultati: $Rd_{(SLU)}$, effettuata secondo l'Approccio 2 (combinazione unica M1+R3), di 3,07 kg/cm². La Resistenza di Progetto in condizioni di esercizio ($Rd_{(SLE)}$), con cedimenti totali teorici nell'ordine di 18-20 mm, è di 1,50 kg/cm².
- Le verifiche della sicurezza e delle prestazioni eseguite ipotizzando, per quanto in progetto, una fondazione a plinto isolato quadrata di lato $B=L=3,50$ m, posata a -1,50 m circa dal p.c. (zero penetrometrico), hanno fornito i seguenti risultati: $Rd_{(SLU)}$, effettuata secondo l'Approccio 2 (combinazione unica M1+R3), di 3,08 kg/cm². La Resistenza di Progetto in condizioni di esercizio ($Rd_{(SLE)}$), con cedimenti totali teorici nell'ordine di 21-23 mm, è di 1,50 kg/cm².
- Le fondazioni andranno comunque dimensionate e realizzate in funzione delle effettive tensioni applicate dalle nuove strutture ai terreni e dalle tipologie di azioni agenti (carichi verticali, entità carichi eccentrici etc...).
- Si ribadisce comunque che la valutazione dell'entità dei cedimenti in relazione alle caratteristiche della struttura, resta di esclusiva competenza del tecnico calcolatore che dovrà valutare l'incidenza e la compatibilità degli stessi con le caratteristiche tecnico-costruttive dell'opera.

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 63 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

- Particolare attenzione dovrà essere riposta nel limitare al massimo l'interferenza tra le nuove fondazioni e quelle della struttura esistente.
- Le fasi di scavo e successiva realizzazione della nuova struttura dovranno procedere senza soluzione di continuità e nel più breve tempo possibile in quanto un'azione prolungata di dilavamento da parte delle acque piovane può comportare uno scadimento delle caratteristiche geotecniche dei terreni in oggetto ed un comportamento diverso da quello previsto, soprattutto in corrispondenza della coltre più superficiale.
- Si consiglia inoltre, durante le fasi di scavo, di verificare la successione lito-stratigrafica: nel caso siano presenti “lenti” litologiche di materiale con cattiva qualità geotecnica è opportuno approfondire il piano di posa delle fondazioni fino a raggiungere il sottostante orizzonte portante. Andrà inoltre verificata, plinto per plinto, la presenza di locali rimaneggiamenti del primissimo sottosuolo.
- Si raccomanda poi di evitare rimaneggiamenti o deterioramento del terreno di fondazione prima della messa in opera delle fondazioni, al fine di evitare cedimenti o assestamenti non prevedibili.
- In nessun caso i valori stimati di cui sopra (sia per le resistenze che per i cedimenti) potranno essere utilizzati per strutture fondazionali poggiante su materiali di riporto o su livelli o lenti di materiali con proprietà geotecniche particolarmente scadenti o in presenza di terreno rimaneggiato dalle operazioni di scavo e/o di fenomeni di ristagno d'acqua al piano di posa.
- La posa in opera delle suddette tipologie fondali superficiali dovrà comunque avvenire previa regolarizzazione e protezione del piano di posa con getto di conglomerato magro, così da evitare un decadimento delle caratteristiche geomecaniche per rilassamento.

Si ricorda, infine, che i valori della resistenza del terreno per carico unitario non sono da assumere come capacità portante in senso stretto dei terreni indagati, in quanto essa modifica il proprio valore in relazione alle caratteristiche progettuali, riferite soprattutto alla geometria, alle dimensioni delle fondazioni stesse ed alla loro profondità di imposta.

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

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 64 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

In ogni caso occorrerà l'assistenza di un tecnico per la verifica in corso d'opera delle condizioni geologiche e geotecniche assunte in questa sede.

Pieve d'Olmi (CR), 11/11/2024

Il Tecnico

Dott. Geol. Luca Donato Piazza

Ordine dei Geologi della Lombardia n° 1380AP



ALLEGATI

TABELLE E GRAFICI PROVE PENETROMETRICHE SCPT1-2

| REV. | DATA | TITOLO | PAG. |
|-----------|---------------|---|-----------------|
| 0 | Novembre 2024 | Provincia di BRESCIA - Comune di CARPENEDOLO REALIZZAZIONE NUOVO CAPANNONE PREFABBRICATO IN AMPLIAMENTO ALL'ESISTENTE Relazione geologica e sismica – Relazione geotecnica | Pagina 65 di 65 |
| N. COPIE: | | Autore: Studio Gea Engineering | |

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Committente: Mak S.p.A.

Cantiere: Realizzazione nuovo capannone prefabbricato in ampliamento all'esistente

Località: Carpenedolo (BS)-via 8 Marzo angolo via C. Colombo

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: SCPT (Standard Cone Penetration Test)

| | |
|---------------------------------|--------------------|
| Rif. Norme | DIN 4094 |
| Peso Massa battente | 73 Kg |
| Altezza di caduta libera | 0,75 m |
| Peso sistema di battuta | 6 Kg |
| Diametro punta conica | 50,46 mm |
| Area di base punta | 20 cm ² |
| Lunghezza delle aste | 1 m |
| Peso asta a metro | 7 Kg/m |
| Profondità giunzione prima asta | 0,80 m |
| Avanzamento punta | 0,30 m |
| Numero colpi per punta | N(30) |
| Coeff. Correlazione | 1,15 |
| Angolo di apertura punta | 60 ° |

PROVA 1

Strumento utilizzato SCPT (Standard Cone Penetration Test)

Prova eseguita in data

21/05/2021

Profondità prova

10,20 mt

Falda

foro chiuso a -3,00 mt; acqua all'interno del foro non rilevata

| Profondità (m) | Nr. Colpi |
|----------------|-----------|
| 0,3 | 8 |
| 0,6 | 12 |
| 0,9 | 29 |
| 1,2 | 27 |
| 1,5 | 32 |
| 1,8 | 37 |
| 2,1 | 28 |
| 2,4 | 35 |
| 2,7 | 32 |
| 3 | 26 |
| 3,3 | 23 |
| 3,6 | 17 |
| 3,9 | 26 |
| 4,2 | 20 |
| 4,5 | 21 |
| 4,8 | 13 |
| 5,1 | 4 |
| 5,4 | 4 |
| 5,7 | 3 |
| 6 | 3 |
| 6,3 | 5 |
| 6,6 | 13 |
| 6,9 | 12 |
| 7,2 | 17 |
| 7,5 | 7 |
| 7,8 | 8 |
| 8,1 | 10 |
| 8,4 | 10 |
| 8,7 | 14 |
| 9 | 22 |
| 9,3 | 18 |
| 9,6 | 19 |
| 9,9 | 22 |
| 10,2 | 21 |

PROVA 2

Strumento utilizzato SCPT (Standard Cone Penetration Test)

Prova eseguita in data

21/05/2021

Profondità prova

10,20 mt

Falda

foro chiuso a -2,80 mt; acqua all'interno del foro non rilevata

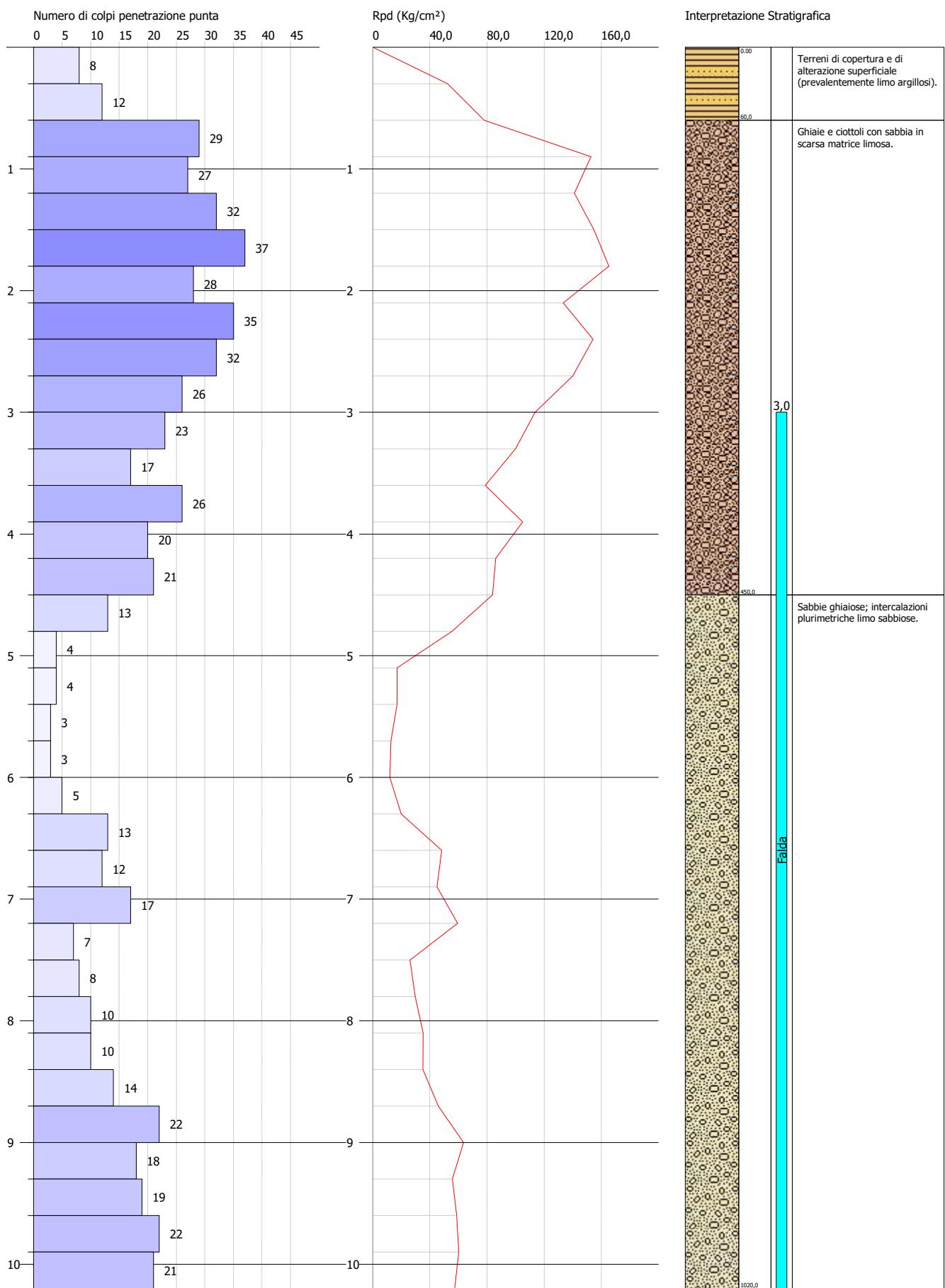
| Profondità (m) | Nr. Colpi |
|----------------|-----------|
| 0,3 | 10 |
| 0,6 | 12 |
| 0,9 | 28 |
| 1,2 | 37 |
| 1,5 | 28 |
| 1,8 | 12 |
| 2,1 | 6 |
| 2,4 | 20 |
| 2,7 | 20 |
| 3 | 16 |
| 3,3 | 21 |
| 3,6 | 16 |
| 3,9 | 7 |
| 4,2 | 13 |
| 4,5 | 7 |
| 4,8 | 4 |
| 5,1 | 2 |
| 5,4 | 4 |
| 5,7 | 11 |
| 6 | 11 |
| 6,3 | 10 |
| 6,6 | 15 |
| 6,9 | 18 |
| 7,2 | 18 |
| 7,5 | 13 |
| 7,8 | 14 |
| 8,1 | 8 |
| 8,4 | 14 |
| 8,7 | 16 |
| 9 | 15 |
| 9,3 | 21 |
| 9,6 | 12 |
| 9,9 | 19 |
| 10,2 | 14 |

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1
Strumento utilizzato... SCPT (Standard Cone Penetration Test)

Committente: MAK S.p.A.
 Cantiere: Realizzazione nuovo capannone prefabbricato in ampliamento all'esistente
 Località: Carpenedolo (BS)-via 8 Marzo angolo via C. Colombo

Data: 21/05/2021

Scala 1:44



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.2
Strumento utilizzato... SCPT (Standard Cone Penetration Test)

Committente: MAK S.p.A.
 Cantiere: Realizzazione nuovo capannone prefabbricato in ampliamento all'esistente
 Località: Carpenedolo (BS)-via 8 Marzo angolo via C. Colombo

Data: 21/05/2021

Scala 1:44

