

Studio Tecnico
di Geologia



Geologia Territorio
Ambiente

LIVING CERNUSCO S.r.l.

PIANO ATTUATIVO
Campo della Modificazione m2_1
Via Verdi - Via Pasubio ex Kyocera

RELAZIONE GEOLOGICA

DM 17/01/2018 p.to 6.2.1
DGR 2616/2011
DGR 5001/2016

Comune: Cernusco sul Naviglio (MI)
Loc. Via Verdi - Via Pasubio
Novembre 2020

Dott. Geol. Roberto LUONI
Ordine dei Geologi della Lombardia n. 866
Studio: via S. G. Emiliani 1 - 20135 Milano
Tel. - Fax 02/55186655 - E-MAIL: luoni.geo@gmail.com
PEC luoni@epap.sicurezza postale.it

IL TECNICO RESPONSABILE
Dott. Geol. LUONI ROBERTO



COLLABORATORE
Dott. Geol. LUCA MORESCHI





Dr. Geol.
Roberto Luoni

LIVING CERNUSCO S.R.L.

Relazione Geologica – Sismica
Piano Attuativo Campo della Modificazione m2_1
Via Verdi-Via Pasubio_Ex Kyocera – Cernusco sul Naviglio (MI)

INDICE

	Pag.
1. PREMESSA	1
2. RELAZIONE GEOLOGICA	2
2.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE DELL'AREA	2
2.2 INQUADRAMENTO CATASTALE	3
2.3 CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E GEOMORFOLOGICHE	4
2.4 CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE	5
2.5 CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE	6
2.6 FATTIBILITÀ GEOLOGICA DELL'INTERVENTO	8
2.6.1 PRESCRIZIONI GEOLOGICHE PER L'INTERVENTO	8
2.6.2 VERIFICA PROGETTO E MODALITÀ DI SUPERAMENTO CRITICITÀ	12
2.6.3 APPROFONDIMENTI D'INDAGINE CONDOTTI	13
3. MODELLO GEOLOGICO	14
4. LIQUEFAZIONE DELLE SABBIE	16
4.1 VALUTAZIONE ACCELERAZIONE MASSIMA	17
4.2 PROFONDITÀ FALDA ACQUIFERA	18
4.3 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE E GRANULOMETRICHE	18
5. INDAGINE SISMICA	20
5.1 PROSPEZIONE SISMICA ATTIVA	21
5.2 MODALITÀ D'INDAGINE	23
5.3 RISULTATI PROVA MASW	24
6. VERIFICA FATTORI DI AMPLIFICAZIONE	27
6.1 1° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO SISMICO	28

AOO CERNUSCO SUL NAVIGLIO
Protocollo Arrivo N. 42354/2021 del 06-08-2021
Allegato 4 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente



Dr. Geol.
Roberto Luoni

LIVING CERNUSCO S.R.L.

*Relazione Geologica – Sismica
Piano Attuativo Campo della Modificazione m2_1
Via Verdi-Via Pasubio_Ex Kyocera – Cernusco sul Naviglio (MI)*

6.2 2° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO SISMICO	29
7. CONCLUSIONI	32

ALLEGATI

Allegato A Documentazione Fotografica

AOO CERNUSCO SUL NAVIGLIO
Protocollo Arrivo N. 42354/2021 del 06-08-2021
Allegato 4 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente



Dr. Geol.
Roberto Luoni

LIVING CERNUSCO S.R.L.

Relazione Geologica – Sismica
Piano Attuativo Campo della Modificazione m2_1
Via Verdi-Via Pasubio_Ex Kyocera – Cernusco sul Naviglio (MI)

1. PREMESSA

La presente relazione è volta ad illustrare gli esiti di una indagine geologica – geofisica eseguita a supporto della proposta di Piano Attuativo – Campo della Modificazione m2_1: via Verdi - via Pasubio, che la società LIVING CERNUSCO S.r.l. intende attuare presso l'area ex Kyocera in comune di Cernusco sul Naviglio (MI).

In particolare la presente relazione costituisce l'elemento di riferimento per inquadrare le criticità di carattere geologico presenti in sito e definire la necessità di eseguire o meno interventi specifici di mitigazione del rischio preventivamente o contestualmente alla realizzazione dell'opera.

Il presente lavoro è stato realizzato secondo quanto previsto dalle normative di settore di seguito elencate:

- ⇒ D.M. 17/01/2018 – Norme Tecniche per le Costruzioni (N.T.C. p.to 6.2.1.);
- ⇒ D.G.R. n. 2616 del 30/12/2011 – “Aggiornamento dei Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio ...”;
- ⇒ D.G.R. n. 2129/2014 “Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia”.

A supporto della documentazione tecnica disponibile, con particolare riferimento allo Studio Geologico Comunale di Cernusco sul Naviglio, è stata eseguita una prova sismica MASW idonea a definire il grado di sismicità dell'area, mentre la caratterizzazione stratigrafica generale del sito è stata effettuata sulla base di n. 6 prove penetrometriche realizzate dallo scrivente in data 14 ottobre 2020.

Nello specifico la prova sismica ha permesso di valutare la corretta categoria di sottosuolo del sito definita al par. 3.2.2 - tab. 3.2.II delle N.T.C. 2018 e di valutare quale sia lo spettro di progetto più idoneo da utilizzare in fase di progettazione.

Tale valutazione è stata effettuata mediante l'applicazione dell'approfondimento di 2° livello sismico previsto dall'allegato 5 della D.G.R. n.2616 del 2011, il quale attraverso la definizione dei coefficienti di amplificazione sismica sito-specifici e il successivo confronto con le soglie previste dalla normativa vigente permette di individuare lo spettro di progetto idoneo a tenere in considerazione tutti i possibili effetti di amplificazione litologica.



Dr. Geol.
Roberto Luoni

LIVING CERNUSCO S.R.L.

Relazione Geologica – Sismica
Piano Attuativo Campo della Modificazione m2_1
Via Verdi-Via Pasubio_Ex Kyocera – Cernusco sul Naviglio (MI)

2. RELAZIONE GEOLOGICA

2.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE DELL'AREA

L'area interessata dalla presente indagine è ubicata nel settore settentrionale del comune di Cernusco sul Naviglio (MI), in via Verdi/via Pasubio, e viene individuata dal punto di vista topografico nella Sezione B6d1 della Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000 di cui stralcio viene visualizzato nella successiva Figura 1.

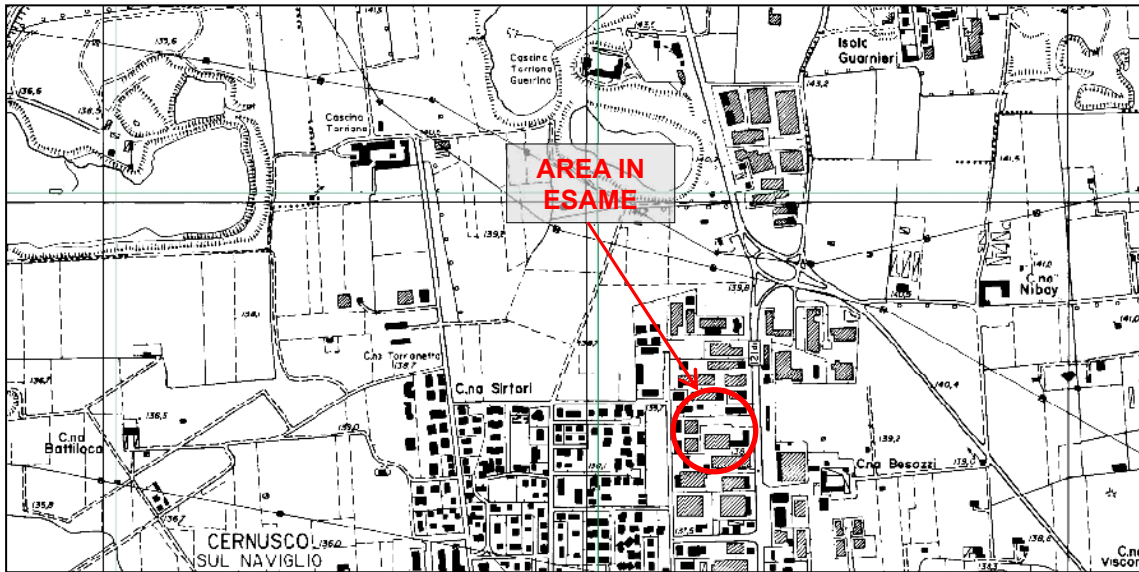


Figura 1: Stralcio C.T..R B6d1 con individuazione dell'area in esame

La successiva Figura 2 mostra invece una foto aerea tratta da Google Earth, che consente di osservare con maggior dettaglio l'assetto dell'area in esame:

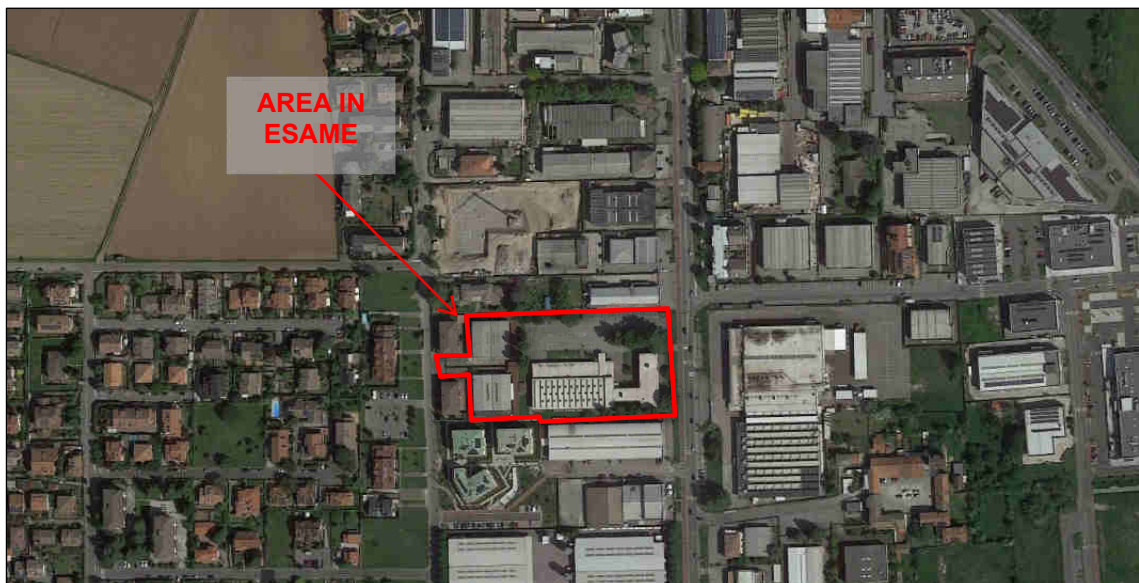


Figura 2: Foto aerea tratta dal Geoportale della Regione Lombardia.



Dr. Geol.
Roberto Luoni

LIVING CERNUSCO S.R.L.

Relazione Geologica – Sismica
Piano Attuativo Campo della Modificazione m2_1
Via Verdi-Via Pasubio_Ex Kyocera – Cernusco sul Naviglio (MI)

2.2 INQUADRAMENTO CATASTALE

L'inquadrimento catastale dell'area interessata dal nuovo progetto è stato rilevato dal Geoportale di Regione Lombardia di cui stralcio viene mostrato nella successiva Figura 3.

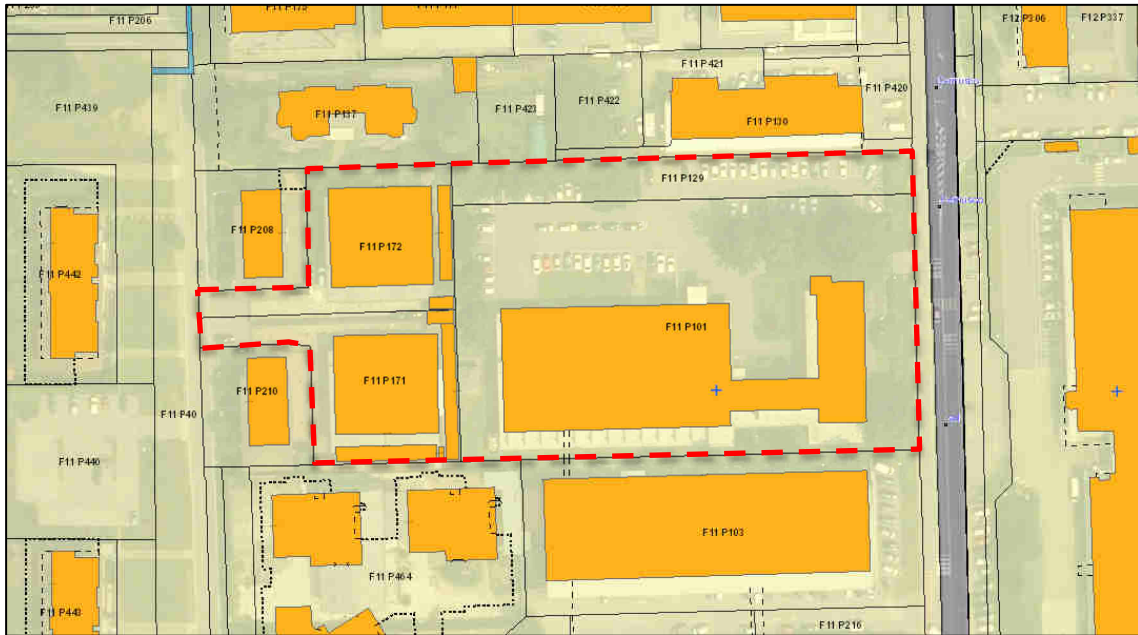


Figura 3: Stralcio Catasto – Geoportale Regione Lombardia

Dalla Figura 3 si evince che l'area oggetto della presente relazione è inquadrata catastalmente come segue:

⇒ Foglio 11 - mappali 101, 129, 171 e 172.



Dr. Geol.
Roberto Luoni

LIVING CERNUSCO S.R.L.

Relazione Geologica – Sismica
Piano Attuativo Campo della Modificazione m2_1
Via Verdi-Via Pasubio_Ex Kyocera – Cernusco sul Naviglio (MI)

2.3 CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E GEOMORFOLOGICHE

L'area in esame trova collocazione nella porzione settentrionale della media pianura terrazzata lombarda, le cui peculiarità morfologiche sono dovute alla complessa azione dei fenomeni morfoclimatici Pleistocenici, che nel corso degli anni ne hanno regolato l'evoluzione dei corsi d'acqua responsabili della formazione della pianura, attraverso lo smantellamento dei depositi alluvionali - fluvioglaciali generatisi durante le fasi glaciali.

La media pianura terrazzata, rappresenta l'elemento morfologico più uniforme del colmamento post-glaciale della pianura Padana e risulta compresa tra: una fascia settentrionale, dove risulta più evidente l'azione dei fenomeni morfogenetici che hanno lasciato dei lembi di terreni più antichi ed allungati in senso nord-sud, di aspetto tabulare e altimetricamente più elevati rispetto ai depositi wurmiani, dando origine a quel andamento ondulato tipico della zona pedemontana e la fascia meridionale risulta essere quella maggiormente interessata dall'attuale azione morfogenetica dei corsi d'acqua, la quale movimentata il paesaggio con la generazione di scarpate, meandri ed altri elementi di carattere morfologico.

L'area d'indagine risulta a larga scala ubicata in un contesto morfologico che vede l'uniformità come elemento caratterizzante del territorio. L'assetto tabulare, è tipico della pianura irrigua dove l'attività antropica si manifesta come l'elemento modificatore, non permettendo spunti di particolare riflessione.

Dal punto di vista geologico l'intero territorio comunale è costituito da sedimenti di origine fluvioglaciale e fluviale attribuibili alla glaciazione Wurmiana.

I depositi appartenenti a questa unità affiorano su tutta l'area oggetto di studio. Essi costituiscono il cosiddetto "*Livello fondamentale della pianura*". Si tratta di sedimenti di origine fluvioglaciale, provenienti dallo smantellamento delle cerchie moreniche poste a settentrione. Dal punto di vista granulometrico i termini più rappresentativi sono costituiti da ghiaie e sabbie in matrice limosa, con locali lenti di argilla, caratterizzati da una variazione dai termini grossolani a quelli più fini andando da nord verso sud, correlabile con una corrispondente diminuzione dell'energia dell'agente di trasporto e di deposizione. Lo strato di alterazione superficiale ha uno spessore medio di circa 1m (anche se a volte si riscontrano spessori di circa 2m), e generalmente è di colore brunastro. Complessivamente questi depositi presentano una discreta permeabilità, favorendo l'infiltrazione delle acque superficiali.

AOO CERNUSCO SUL NAVIGLIO
Protocollo Arrivo N. 42354/2021 del 06-08-2021
Allegato 4 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente



Dr. Geol.
Roberto Luoni

LIVING CERNUSCO S.R.L.

Relazione Geologica – Sismica
Piano Attuativo Campo della Modificazione m2_1
Via Verdi-Via Pasubio_Ex Kyocera – Cernusco sul Naviglio (MI)

2.4 CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE

Dal punto di vista idrografico l'area in esame non risulta direttamente interessata da nessuna tipologia di corso d'acqua come mostrato nella successiva Figura 4, la quale mostra uno stralcio della Tavola 1A del Reticolo Idrico Minore.

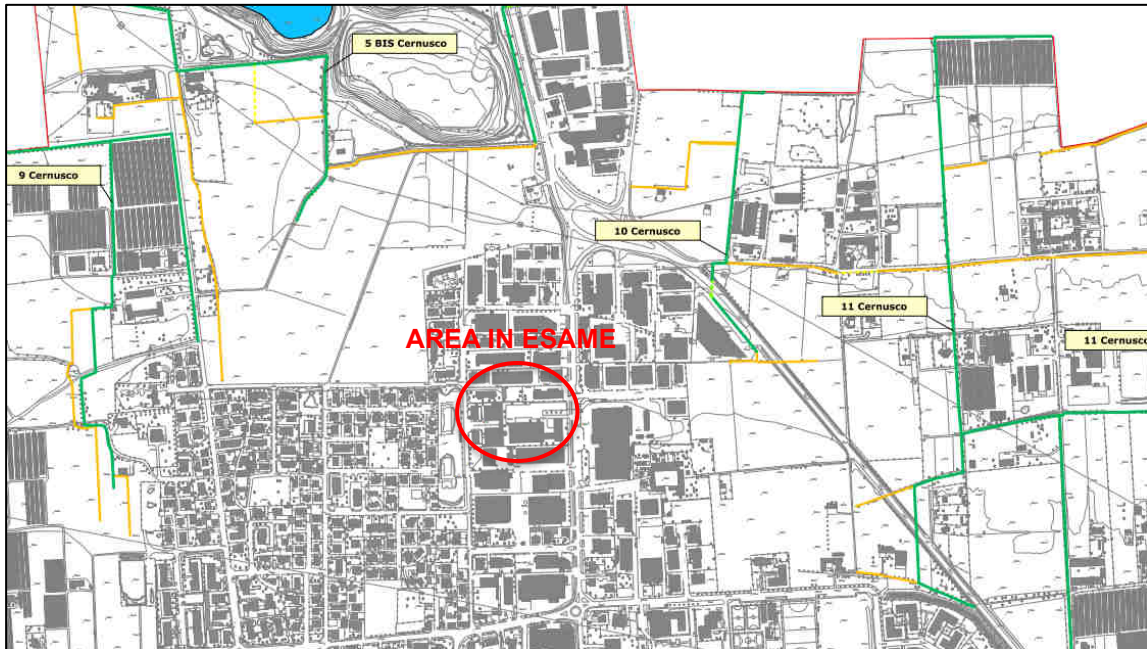


Figura 4: Stralcio Tav. 1A del Reticolo Idrico Minore – Cernusco sul Naviglio

AOO CERNUSCO SUL NAVIGLIO
Protocollo Arrivo N. 42354/2021 del 06-08-2021
Allegato 4 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente



Dr. Geol.
Roberto Luoni

LIVING CERNUSCO S.R.L.

Relazione Geologica – Sismica
Piano Attuativo Campo della Modificazione m2_1
Via Verdi-Via Pasubio_Ex Kyocera – Cernusco sul Naviglio (MI)

2.5 CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

Ad una generale uniformità della geologia di superficie, testimoniata dalla presenza di una sola unità arealmente estesa, si contrappone, man mano che ci si spinge in profondità, una graduale differenziazione, sia all'interno delle stesse unità che al passaggio verso le unità più antiche sottostanti.

Tali caratteristiche geologiche, strettamente connesse alla particolare struttura idrogeologica, condizionano largamente la circolazione idrica sotterranea.

Gli studi effettuati sull'idrogeologia del settore, sia a livello di inquadramento generale che di dettaglio, permettono di confermare una struttura rappresentata da tre acquiferi principali:

- ⇒ uno superficiale (I), corrispondente al Gruppo Acquifero A della classificazione regionale. Esso è caratterizzato dalla presenza di sabbie e ghiaie a cui si intercalano orizzonti conglomeratici talora notevoli. Esso è sede della falda freatica;
- ⇒ uno intermedio (II), corrispondente al Gruppo Acquifero B, comprende le falde semi-artesiane, detto anche “acquifero tradizionale” in quanto sede delle falde tradizionalmente captate dai pozzi pubblici o “acquifero intermedio”, in parziale comunicazione con l'acquifero superficiale, si estende da circa 40 m di profondità fin verso i 100 metri;
- ⇒ uno profondo (III), corrispondente al Gruppo Acquifero C, contenuto nell'Unità Villafranchiana. Le falde in essa ospitate vengono distinte come “falde profonde” e sono dotate di notevole protezione a causa degli spessi orizzonti argillosi che le sovrastano.

La falda del I acquifero (superficiale) trae la sua alimentazione in modo diretto dall'infiltrazione efficace delle acque meteoriche nonché delle acque di irrigazione.

Le falde contenute nel II acquifero (intermedio) traggono, invece, la propria alimentazione prevalentemente da aree poste a maggiore distanza, mentre sono sensibili alle infiltrazioni locali in modo meno apprezzabile.

Le falde del III acquifero (profonde) traggono alimentazione principalmente in corrispondenza delle aree pedemontane, parecchi chilometri più a nord del polo estrattivo, laddove l'Unità Villafranchiana si eleva in prossimità della superficie topografica ed è in grado di ricevere le acque di infiltrazione superficiale.

Per quanto attinente alla falda freatica, si è fatto riferimento alla cartografia elaborata dalla Città Metropolitana di Milano, la quale risulta più aggiornata rispetto al PGT comunale.

Stralcio di tale elaborato grafico, risalente al settembre 2013, viene mostra nella successiva Figura 5:



Dr. Geol.
Roberto Luoni

LIVING CERNUSCO S.R.L.

Relazione Geologica – Sismica
Piano Attuativo Campo della Modificazione m2_1
Via Verdi-Via Pasubio_Ex Kyocera – Cernusco sul Naviglio (MI)

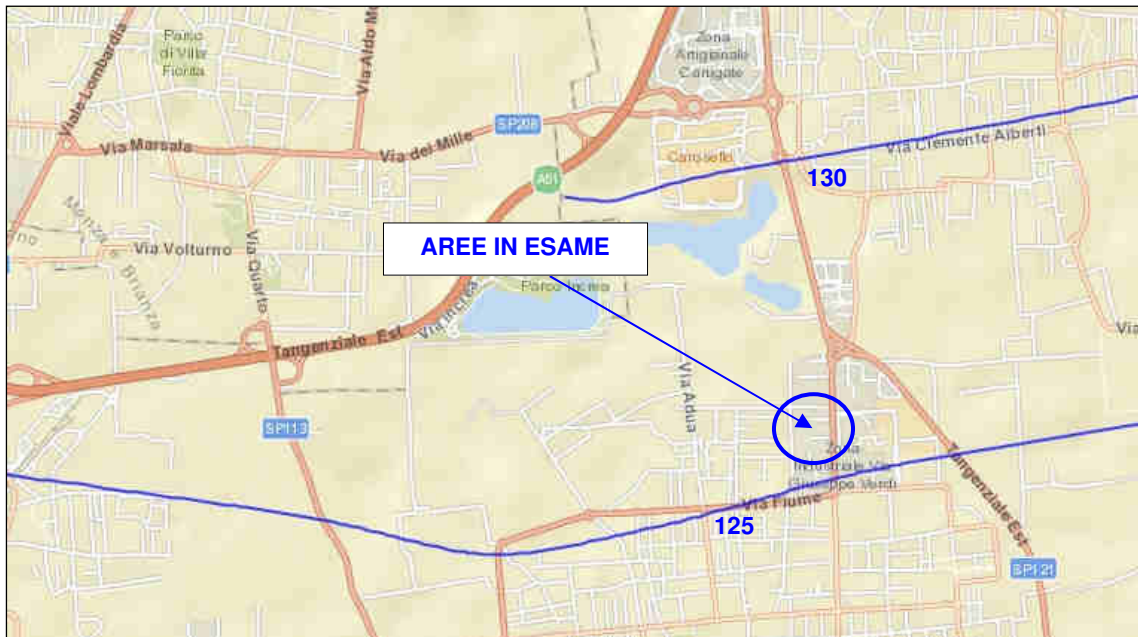


Figura 5: Stralcio Carta Piezometrica settembre 2013 – Città Metropolitana di Milano

Dall'esame della Figura 5 è possibile osservare come la direzione della falda freatica sia all'incirca nord-sud e che l'ambito in esame è attraversato dalla linea isopiezometrica 126,0m s.l.m.

Considerando una quota di circa 138,6m s.l.m. dell'attuale piano campagna (rilevato dal Geoportale di Regione Lombardia), è possibile valutare alla data di redazione della carta, una soggiacenza di circa -12,6m.

AOO CERNUSCO SUL NAVIGLIO
Protocollo Arrivo N. 42354/2021 del 06-08-2021
Allegato 4 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente



Dr. Geol.
Roberto Luoni

LIVING CERNUSCO S.R.L.

Relazione Geologica – Sismica
Piano Attuativo Campo della Modificazione m2_1
Via Verdi-Via Pasubio_Ex Kyocera – Cernusco sul Naviglio (MI)

2.6 FATTIBILITÀ GEOLOGICA DELL'INTERVENTO

La fattibilità geologica dell'intervento è riportata in Tavola 10B in scala 1:5.000 dello Studio Geologico Comunale attualmente vigente, di cui stralcio è mostrato nella successiva Figura 6.

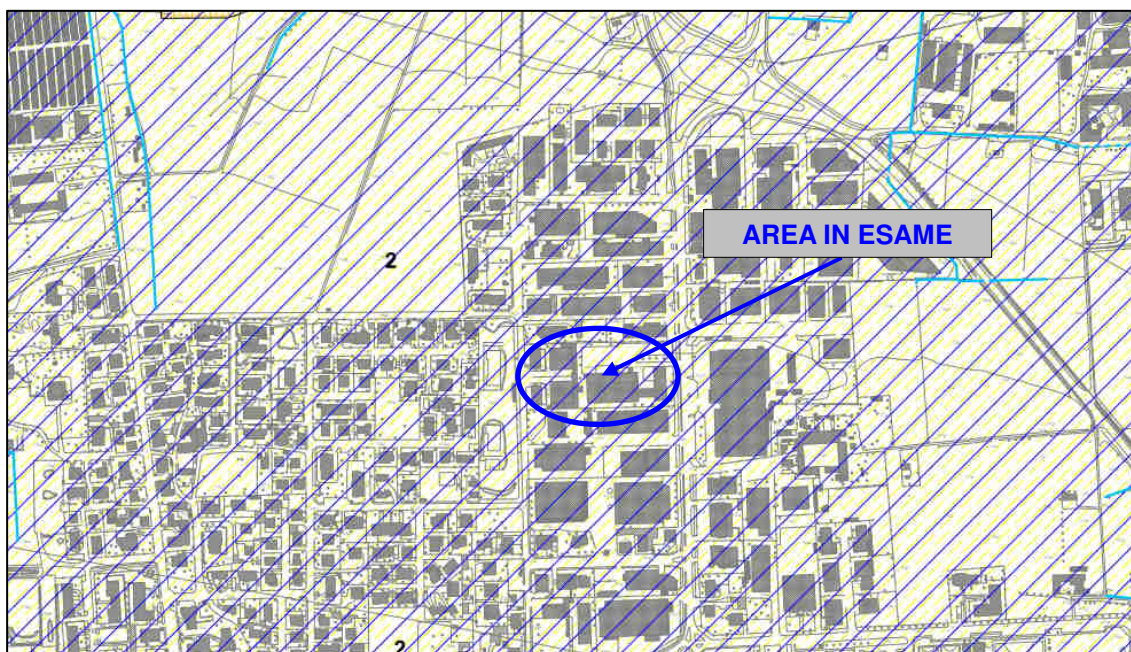


Figura 6: Stralcio Tavola 10B: Carta di Fattibilità Geologica per le Azioni di Piano – PGT Comunale

L'esame della Figura 6 mostra come l'intera area in esame ricade in Classe di Fattibilità 2, equivalente ad una classe di Fattibilità Geologica con modeste limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso, dove tali limitazioni possono essere superate mediante approfondimenti ed accorgimenti tecnico-costruttivi senza la necessità di realizzare particolari opere di difesa.

2.6.1 PRESCRIZIONI GEOLOGICHE PER L'INTERVENTO

Con l'entrata in vigore della D.G.R. n.2129/2014 in materia di nuova classificazione sismica in Regione Lombardia e delle Linee di Indirizzo approvate con D.G.R. 30/03/2016 n. X/5001 in attuazione della L.R. n. 33/2015, viene richiesta al fine del rilascio del titolo abilitativo per le zone sismiche 3 e 4 il deposito dell'istanza di Autorizzazione Sismica e la redazione di relazione geologica ai sensi della D.G.R. n.2616/2011.

Nello specifico è richiesta la descrizione di tutte le problematiche geologiche ed ambientali individuate nello Studio Geologico Comunale sulla quale l'area ricade, nonché la trascrittura delle prescrizioni riportate nelle Norme Geologiche e la proposta di soluzioni tecniche e/o accorgimenti costruttivi atti a superare tali problematiche.



Dr. Geol.
Roberto Luoni

LIVING CERNUSCO S.R.L.

Relazione Geologica – Sismica
Piano Attuativo Campo della Modificazione m2_1
Via Verdi-Via Pasubio_Ex Kyocera – Cernusco sul Naviglio (MI)

Di seguito vengono quindi evidenziate le prescrizioni di carattere geologico riportate nello Studio Geologico del Comune di Cernusco sul Naviglio che interessano il tipo di intervento previsto nell'area in esame, gli approfondimenti riportati nella presente relazione e gli accorgimenti progettuali volti a corrispondere alle criticità evidenziate.

CLASSE DI FATTIBILITA' 2:

- ⇒ **DESCRIZIONE:** Aree caratterizzate da media vulnerabilità dell'acquifero freatico: soggiacenza di falda compresa tra i 6 e i 18m da p.c. (Agosto 2008). Suoli molto profondi nella porzione meridionale del territorio comunale, da profondi a mediamente profondi nella porzione settentrionale del territorio comunale. Permeabilità elevata: $10 \cdot E^{-3} \div 10 \cdot E^{-4}$ m/s.
- ⇒ **PRESCRIZIONI:** per le nuove opere edificatorie e/o di ampliamento, le opere in sotterraneo potranno essere eseguite con particolari cautele di impermeabilizzazione, in quanto l'intero territorio comunale è soggetto a fluttuazioni anche metriche dell'acquifero libero.

ULTERIORI PRESCRIZIONI E LIMITAZIONI D'USO:

Aree di salvaguardia delle captazioni idropotabili

A)

- ⇒ **DESCRIZIONE:** Fascia di tutela assoluta dei pozzi ad uso idropotabile, raggio 10m. (come da perimetrazioni riportate all'interno della Carta dei Vincoli).
- ⇒ **PRESCRIZIONI:** le zone di tutela assoluta, previste dal D.Lgs. 258/2000 art. 5 comma 4 e D.G.R. 10 aprile 2003, così come ripreso dall'art. 94 del D.Lgs. 3 aprile 2006, n. 152, aventi un'estensione di almeno 10m di raggio, devono essere adeguatamente protette ed adibite esclusivamente alle opere di captazione ed infrastrutture di servizio.

B)

- ⇒ **DESCRIZIONE:** Aree comprese entro le fasce di rispetto dei pozzi pubblici, individuate secondo i criteri stabiliti dalla D.G.R. 6/15137 del 27/06/1996, così come ripreso dal D.Lgs. 11 maggio 1999 n. 152, D.Lgs. 18 agosto 2000 n. 258, D.G.R. 10 aprile 2003 e dall'art. 94 del D.Lgs. 3 aprile 2006, n. 152 (come da perimetrazioni riportate all'interno della Carta dei Vincoli).
- ⇒ **PRESCRIZIONI** in prossimità dei pozzi ad uso pubblico deve essere mantenuta una zona di rispetto di raggio pari a metri 200,00 oppure un'area di salvaguardia individuata tramite criterio temporale ai sensi della D.G.R. 27 giugno 1996, n. 6/15137. All'interno di tale area è vietato l'insediamento dei centri di pericolo e lo svolgimento delle attività riportate all'interno normative sopraelencate. Eventuali insediamenti residenziali dovranno presentare un'adeguata opera di protezione per eventuali dispersioni di liquami nel sottosuolo, soprattutto con la protezione a "doppia camicia" delle opere di allacciamento all'impianto fognario.



Dr. Geol.
Roberto Luoni

LIVING CERNUSCO S.R.L.

Relazione Geologica – Sismica
Piano Attuativo Campo della Modificazione m2_1
Via Verdi-Via Pasubio_Ex Kyocera – Cernusco sul Naviglio (MI)

Vincoli di Polizia Idraulica

- ⇒ **DESCRIZIONE:** Aree adiacenti ai corsi d'acqua superficiali da mantenere a disposizione per consentire l'accessibilità per interventi di manutenzione e per la realizzazione di interventi di difesa. (come da perimetrazioni riportate all'interno della Carta di Sintesi).
- ⇒ **PRESCRIZIONI:** Aree di inedificabilità assoluta: lungo l'asta del Fontanile Lodi e i corsi d'acqua di competenza del Consorzio di Bonifica Est Ticino Villoresi la distanza minima dei fabbricati di nuova costruzione, misurata orizzontalmente dagli argini del corso d'acqua, è di 10, 6 o 5m in funzione della valenza idraulica del corso d'acqua stesso (cfr. Tavola 8 – Carta dei vincoli). Entro questo limite sono consentite esclusivamente le opere di manutenzione e difesa dei corsi d'acqua e le opere pubbliche atte a garantire la messa in sicurezza della viabilità ordinaria. Per le rogge private derivanti dal Naviglio Martesana tale distanza di inedificabilità è ridotta a m. 5 per i tratti incubati e per le sponde prossime ad aree edificate, come da cartografia (cfr. Tavola 9 – Carta di Sintesi), per i rimanenti tratti tale distanza è pari a 10,0m. La distanza minima per le recinzioni rimane di 4,0 metri per tutti i corsi d'acqua. All'interno delle fasce di rispetto del Fontanile Lodi sono inoltre vietate le attività di cui all'art. 96 del R.D. 523/1094 e R.D. 368/1094. Ai sensi dell'art. 41 del D. Lgs. n.152/99 è vietata la tombinatura di qualsiasi corso d'acqua, che non sia imposta da ragioni di tutela di pubblica incolumità.

PRESCRIZIONI AGGIUNTIVE PER TUTTE LE CLASSI:

- ⇒ **Prescrizioni di carattere sismico:**
- ✓ **Descrizione:** Aree interessate da edificazione di edifici strategici e/o sensibili.
 - ✓ **Prescrizioni:** Nell'area in esame, individuata come zona sismica di quarta categoria, nel caso di nuovi insediamenti di edifici strategici e rilevanti (secondo l'elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 199904/03) ci si dovrà orientare nel seguente modo:
 - Per l'intervallo di periodo (T) 0.1-0.5s, e cioè per edifici fino a 5 piani, risulta F_a uguale o superiore, anche se non di molto, al valore di soglia corrispondente (1,5). In questo caso la normativa è da considerarsi insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica. Si dovrà pertanto procedere alle indagini e approfondimenti previsti dal 3° livello in fase di progettazione per gli edifici strategici o rilevanti ricadenti nell'elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03; in alternativa, è possibile utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore. In questo caso anziché lo spettro della categoria di suolo B si potrà utilizzare quello della categoria di suolo C e nel caso in cui la soglia non sia ancora sufficiente si potrà utilizzare lo spettro della cat. di suolo D.



Dr. Geol.
Roberto Luoni

LIVING CERNUSCO S.R.L.

Relazione Geologica – Sismica
Piano Attuativo Campo della Modificazione m2_1
Via Verdi-Via Pasubio_Ex Kyocera – Cernusco sul Naviglio (MI)

- Per l'intervallo di periodo (T) 0.5-1.5s, e cioè per edifici con più di 5 piani, risulta F_a uguale o superiore al valore di soglia corrispondente (2,0). Anche in questo caso la normativa è da considerarsi insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica. Si dovrà pertanto procedere alle indagini e approfondimenti previsti dal 3° livello in fase di progettazione per gli edifici strategici o rilevanti ricadenti nell'elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03; in alternativa, è possibile utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore. In questo caso anziché lo spettro della categoria di suolo B si potrà utilizzare quello della categoria di suolo C e nel caso in cui la soglia non sia ancora sufficiente si potrà utilizzare lo spettro della cat. di suolo D.

⇒ **Prescrizioni di carattere ambientale:**

- ✓ **Descrizione:** Ambiti soggetti a future trasformazioni urbanistiche (da commerciale/industriale a residenziale/verde pubblico/privato) e/o zone potenzialmente interessate da degrado qualitativo del suolo o del sottosuolo.
- ✓ **Prescrizioni:** Ogni intervento è subordinato all'esecuzione del Piano di Indagine Ambientale Preliminare e, qualora si rendesse necessario, del Piano di Caratterizzazione ed alle eventuali bonifiche secondo le procedure di cui al D. Lgs. 3 aprile 2006, n. 152 (Norme in materia ambientale).
Pertanto il parere sull'edificabilità risulta favorevole con consistenti limitazioni connesse alla verifica dello stato di salubrità dei suoli (Regolamento Locale di Igiene); la tipologia edificatoria può essere condizionata dai limiti raggiunti al termine degli interventi di bonifica.

⇒ **Prescrizioni di carattere geotecnico:** Per nuovi interventi edificatori, ove consentiti, permane l'obbligo di eseguire indagini geotecniche (ai sensi del D.M. 11/03/88, D.M. 14/09/2005 e D.M. 14/01/2008) al fine di determinare con precisione le caratteristiche geotecniche del suolo e del primo sottosuolo.

AOO CERNUSCO SUL NAVIGLIO
Protocollo Arrivo N. 42354/2021 del 06-08-2021
Allegato 4 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente



Dr. Geol.
Roberto Luoni

LIVING CERNUSCO S.R.L.

Relazione Geologica – Sismica
Piano Attuativo Campo della Modificazione m2_1
Via Verdi-Via Pasubio_Ex Kyocera – Cernusco sul Naviglio (MI)

2.6.2 VERIFICA PROGETTO E MODALITÀ DI SUPERAMENTO CRITICITÀ

Le criticità evidenziate nella Carta di Fattibilità dello Studio Geologico di Cernusco sul Naviglio e nelle Prescrizioni Ulteriori e Comuni a tutte le classi per l'area oggetto della presente relazione, riguardano essenzialmente un elemento che richiede una verifica in funzione del progetto che si intende realizzare.

In particolare la Classe di Fattibilità 2, segnala la possibilità di poter edificare nel sito in esame, ma vista l'elevata vulnerabilità dell'acquifero viene richiesta in fase di progettazione della futura opera edilizia di tenere conto del valore di soggiacenza indicato, al fine di evitare possibili interferenze tra la struttura in progetto e la falda freatica anche relativamente alle fluttuazioni metriche stagionali delle acque sotterranee.

Per il caso in esame, come segnalato nel precedente paragrafo 2.5, il valore di soggiacenza della falda allo stato attuale delle conoscenze risulterebbe pari a circa -12,60m da p.c. Considerato che il progetto prevede la presenza di un piano interrato con profondità non superiore a -4,0m dal p.c., si ritiene che anche in condizioni di massima escursione prevedibile della falda sarà presente un sufficiente franco insaturo tale da garantire l'assenza d'interferenze tra la struttura in progetto e la falda freatica.

Per quanto riguarda le "Ulteriori Prescrizioni e Limitazioni d'Uso - Aree di salvaguardia delle captazioni idropotabili" si segnala che l'area in esame non è interessata dalla fascia di rispetto di un pozzo ad uso idropotabile come illustrato nella successiva Figura 7:

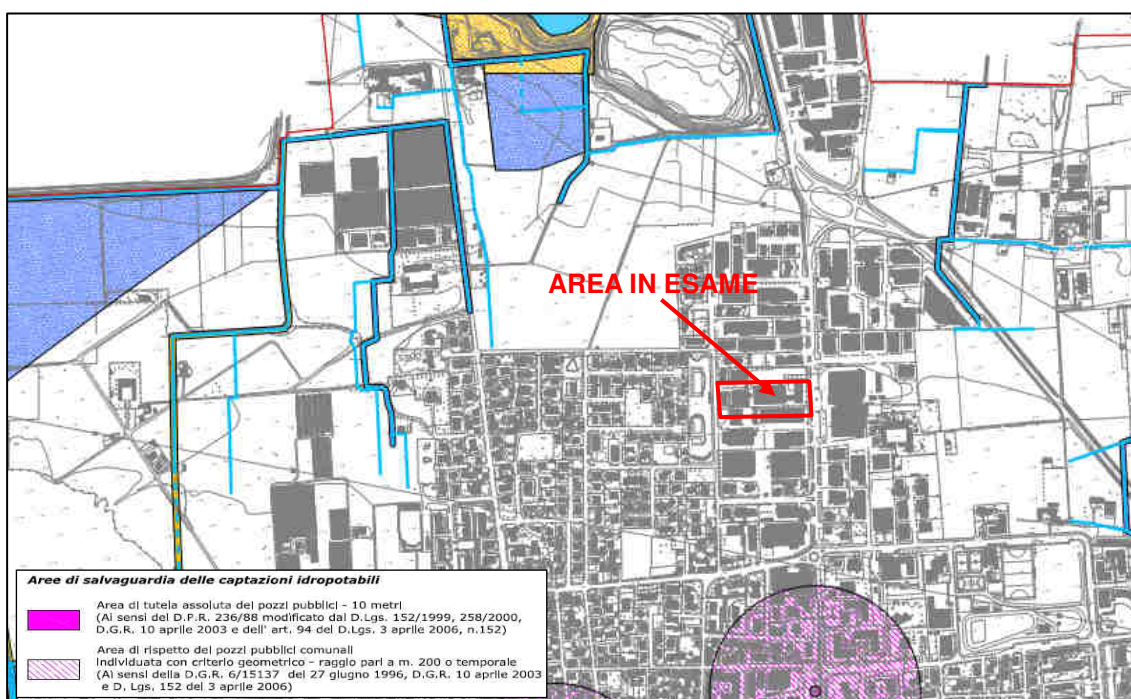


Figura 7: Stralcio Tav. 8b dello Studio Geologico del PGT di Cernusco sul Naviglio



Dr. Geol.
Roberto Luoni

LIVING CERNUSCO S.R.L.

Relazione Geologica – Sismica
Piano Attuativo Campo della Modificazione m2_1
Via Verdi-Via Pasubio_Ex Kyocera – Cernusco sul Naviglio (MI)

Per quanto riguarda invece le “*Ulteriori Prescrizioni e Limitazioni d’Uso – Vincoli di Polizia Idraulica*” si richiama quanto già segnalato nel precedente par. 2.4, ovvero che l’area non è interessata da corsi d’acqua appartenenti al reticolo principale o minore e dalle relative fasce di rispetto.

2.6.3 APPROFONDIMENTI D’INDAGINE CONDOTTI

In merito alle “*Prescrizioni aggiuntive per tutte le classi*” (obbligo di eseguire indagini geotecniche ai sensi del D.M. 11/03/88 e D.M. 14/09/2005 – Prescrizioni di carattere sismico – Prescrizioni di carattere ambientale), nell’ambito del presente lavoro sono stati eseguiti in seguenti approfondimenti di indagine.

- ⇒ **Prescrizioni di carattere sismico:** Regione Lombardia con l’entrata in vigore della D.G.R. n. 2129/2014, ha aggiornato le zone sismiche del territorio regionale. A seguito dell’entrata in vigore di tale norma il territorio Comunale di Cernusco sul Naviglio è stato inserito in Zona Sismica 3. La nuova classificazione sismica, secondo quanto previsto dalla D.G.R. 2616/2011, in materia di PGT, al paragrafo 1.4.4, prevede per le zone sismiche 2-3 l’approfondimento di 2° livello per le tutte le aree soggette ad amplificazione topografica e litologica (PSL Z3 e Z4) come quella in esame. La prescrizione fornita dal PGT vigente, superata nei fatti, è stata ugualmente tenuta in considerazione, in quanto come previsto dalla D.G.R. n. 2616/2011 si è proceduto alla valutazione sito-specifica dei coefficienti di amplificazione (Fa) il cui calcolo è riportato dettagliatamente nei paragrafi 6 e 7 della presente relazione.
- ⇒ **Prescrizioni di carattere ambientale:** l’attuale lotto interessato dal nuovo Piano Attuativo Campo della modificazione m2_1 è costituito dai mappali 101, 129, 171 e 172, i quali in passato erano di tre proprietà distinte. I mappali 101 e 129, interessati dalla ex Kyocera, sono stati oggetto nell’Aprile 2019 di un’indagine ambientale preliminare condotta dallo scrivente finalizzata alla verifica dello stato di salubrità dei terreni presenti. I restanti mappali 171 e 172 sono stati investigati, sempre dallo scrivente, nell’ottobre 2020. Gli esiti ottenuti da entrambi le indagini ambientali, hanno permesso di confermare il rispetto dei limiti di concentrazione dei contaminanti per aree ad uso verde-residenziale (Col. A D. Lgs. 152/2006). Si rimanda alle relazioni Ambientali allegato al P.A. per i dettagli.
- ⇒ **Prescrizioni di carattere geotecnico:** tale approfondimento è stato condotto mediante l’esecuzione di n. 6 prove penetrometriche dinamiche di tipo SCPT, che hanno permesso di ricavare i principali parametri geotecnici dell’area in esame. La caratterizzazione geotecnica sito-specifica in termini di capacità portante sarà condotta in fase esecutiva ed i risultati saranno illustrati in apposita relazione geotecnica ai sensi delle N.T.C vigenti.

AOO CERNUSCO SUL NAVIGLIO
Protocollo Arrivo N. 42354/2021 del 06-08-2021
Allegato 4 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente



Dr. Geol.
Roberto Luoni

LIVING CERNUSCO S.R.L.

Relazione Geologica – Sismica
Piano Attuativo Campo della Modificazione m2_1
Via Verdi-Via Pasubio_Ex Kyocera – Cernusco sul Naviglio (MI)

3. MODELLO GEOLOGICO

La caratterizzazione dei terreni costituenti il sottosuolo dell'area in esame, è stata compiuta sulla base di un sondaggio a carotaggio continuo eseguito in data 16 ottobre 2020.

Tale indagine ha permesso di dettagliare la situazione litostratigrafica del sottosuolo dell'area oggetto di intervento. Il sondaggio realizzato è stato ubicato come mostrato nella seguente Figura 8:

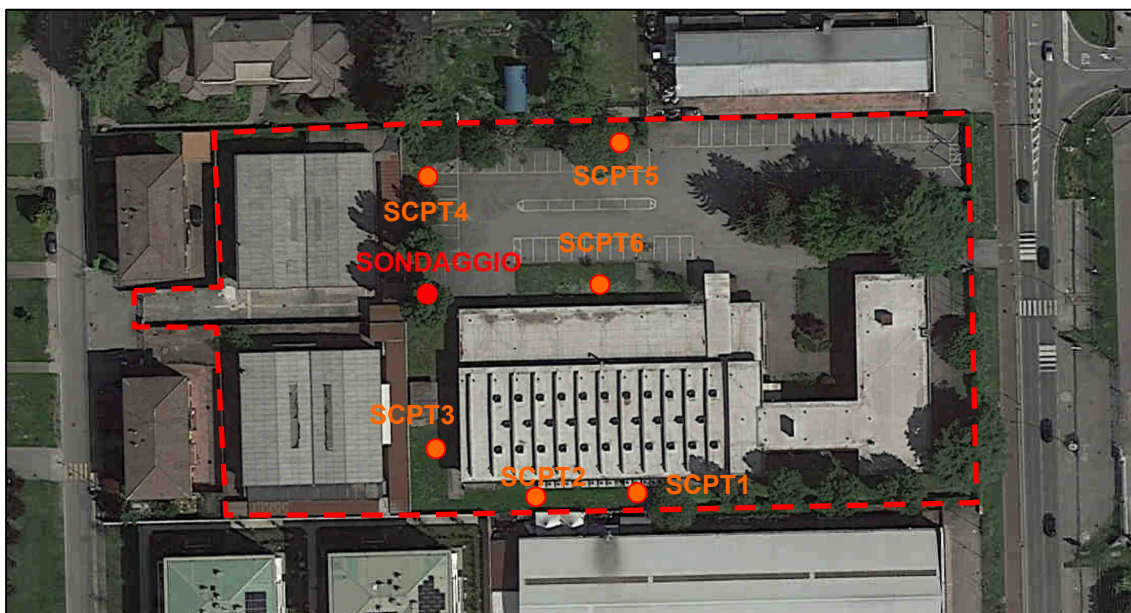


Figura 8: Ubicazione Sondaggio stratigrafico

Il modello stratigrafico del sottosuolo rilevato è il seguente:

- ⇒ da 0,00 a -0,40m da p.c: coltivo;
- ⇒ da -0,40 a -1,00m da p.c: limi argillosi marroni;
- ⇒ da -1,00 a -1,70m da p.c: limi e rari ciottoli;
- ⇒ da -1,70 a -2,80m da p.c: sabbie debolmente limose;
- ⇒ da -2,80 a -3,50m da p.c: sabbie debolmente limose con ghiaia e ciottoli;
- ⇒ da -3,50 a -5,00m da p.c: sabbie e ghiaie debolmente limose;
- ⇒ da -5,00 a -6,00m da p.c: sabbie e ghiaie pulite con ciottoli.



Dr. Geol.
Roberto Luoni

LIVING CERNUSCO S.R.L.

Relazione Geologica – Sismica
Piano Attuativo Campo della Modificazione m2_1
Via Verdi-Via Pasubio_Ex Kyocera – Cernusco sul Naviglio (MI)



Figura 9: Stratigrafia rilevata nel sondaggio

Dalla stratigrafia rilevata e dalle prove SCPT condotte nell'ottobre 2020, è stato possibile discretizzare tre livelli litologici: livello limoso, livello sabbioso deb. limoso e livello ghiaioso sabbioso). Dai medesimi dati è stato possibile ricavare i principali parametri geotecnici che vengono riportati nella successiva tabella:

MODELLO GEOLOGICO	Spessore Strato	Base Strato da p.c.	Nspt eq. colpi/avanzamento	Angolo d'Attrito (°)	Peso di Volume		Densità relativa (Dr) (%)	Coesione non drenata (Cu) (kg/cmq)	Modulo di Young (E) (kg/cmq)	Modulo Edometrico (M) (kg/cmq)
	(m)	(m)			(kg/mc)	KN/mc				
STRATO 1	1.7	1.7	6.0	26	1610	15.78	39	0.27	94	37
STRATO 2	1.8	3.5	31.0	35	2079	20.39	59	0.00	249	127
STRATO 3	2.6	6.1	69.0	42	2256	22.12	80	0.00	479	262

Figura 10: Principali parametri Geotecnici

Si rimanda alla specifica Relazione Geotecnica che sarà emessa in fase esecutiva dell'intervento edilizio per gli approfondimenti necessari. I valori sopra riportati sono allo stato attuale puramente indicativi delle caratteristiche geotecniche del sottosuolo dell'area in studio.

AOO CERNUSCO SUL NAVIGLIO
Protocollo Arrivo N. 42354/2021 del 06-08-2021
Allegato 4 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente



Dr. Geol.
Roberto Luoni

LIVING CERNUSCO S.R.L.

Relazione Geologica – Sismica
Piano Attuativo Campo della Modificazione m2_1
Via Verdi-Via Pasubio_Ex Kyocera – Cernusco sul Naviglio (MI)

4. LIQUEFAZIONE DELLE SABBIE

Ai sensi della Legge 64/74, del D.M. 19/6/1984 e dell'attuale D.M. 17/01/2018, in aree classificate sismiche deve essere valutata la possibilità che insorgano fenomeni di liquefazione del terreno di fondazione in seguito alle vibrazioni prodotte dalle scosse telluriche.

I fenomeni di liquefazione consistono in un aumento repentino delle sovrappressioni interstiziali all'interno di un volume di terreno sciolto e saturo. Questo aumento di pressione, generato dall'acqua circolante nei pori, ha come conseguenza una riduzione drastica della resistenza al taglio, portando il deposito ad assumere un comportamento meccanico simile a quello di un fluido.

Questo fenomeno può generarsi all'occorrenza di particolari condizioni ambientali, come ad esempio in presenza di terreni caratterizzati da una granulometria medio-fine (sabbiosi) e/o in presenza, entro primi 15m da p.c., della falda acquifera.

Nello specifico al paragrafo 7.11.3.4.2 del D.M. 17.01.2018 è indicato che tale analisi può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- ⇒ Accelerazione massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizione di free-field) inferiore a $0,1g$ ($a < m/sec^2$);
- ⇒ Profondità media stagionale della falda superiore a 15 metri dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- ⇒ Depositi costituiti da sabbie e ghiaie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $N_{1(60)} > 30$;
- ⇒ Elevata presenza, nel fuso granulometrico, di terreni a componente fine (limi e argille) o di ghiaie e ciottoli.

In particolare nel caso in esame, come dimostrato nei successivi paragrafi, risulta verificata la prima e la terza delle condizioni sopra esposte, pertanto non risulta necessario procedere alla verifica del coefficiente di sicurezza alla liquefazione come stabilito nel par. 7.11.3.4.3 delle N.T.C. 2018.



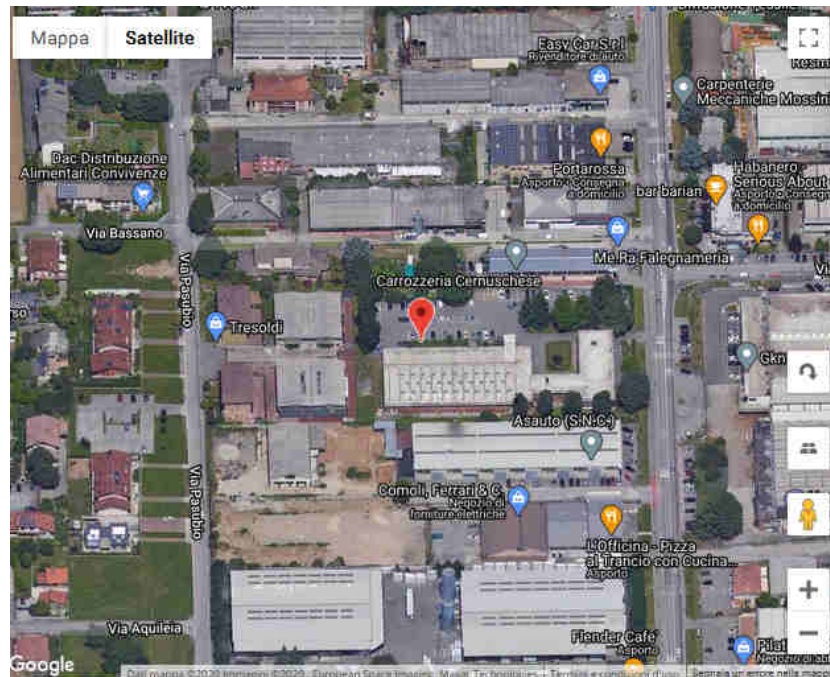
Dr. Geol.
Roberto Luoni

LIVING CERNUSCO S.R.L.

Relazione Geologica – Sismica
Piano Attuativo Campo della Modificazione m2_1
Via Verdi-Via Pasubio_Ex Kyocera – Cernusco sul Naviglio (MI)

4.1 VALUTAZIONE ACCELERAZIONE MASSIMA

Il primo punto del paragrafo 7.11.3.4.2 richiede la verifica dell'accelerazione massima attesa al piano campagna $a(g)$. A tale scopo si è utilizzato l'app GeoStru PS della società GeoStru, la quale permette, mediate collocazione di un punto su mappa, di ricavare tutti i parametri sismici del sito d'indagine.



Stati limite

Classe Edificio: II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...

Vita Nominale: 50

Interpolazione: Media ponderata

CU = 1

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	F_0	T_c [s]
Operatività (SLO)	30	0.021	2.546	0.177
Danno (SLD)	50	0.027	2.533	0.200
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.060	2.620	0.283
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.074	2.637	0.294
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

Coefficienti sismici

Tipo: Stabilità dei pendii e fondazioni

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m): 1 us (m): 0.1

Cat. Sottosuolo: B

Cat. Topografica: T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,20
CC Coeff. funz categoria	1,55	1,52	1,42	1,40
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]: 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.005	0.007	0.014	0.018
kv	0.003	0.003	0.007	0.009
Amax [m/s²]	0.248	0.320	0.701	0.876
Beta	0.200	0.200	0.200	0.200

Figura 11: Parametri sismici - App GeoStru

AOO CERNUSCO SUL NAVIGLIO
 Protocollo Arrivo N. 42354/2021 del 06-08-2021
 Allegato 4 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente



Dr. Geol.
Roberto Luoni

LIVING CERNUSCO S.R.L.

Relazione Geologica – Sismica
Piano Attuativo Campo della Modificazione m2_1
Via Verdi-Via Pasubio_Ex Kyocera – Cernusco sul Naviglio (MI)

Per il calcolo dell'accelerazione orizzontale massima attesa in superficie (a_{gmax}) risulta necessario applicare formula "7.11.5" proposta nelle N.T.C. vigenti che è uguale a:

$$a_{gmax} = S_s \times S_t \times a_g$$

dove:

- ⇒ a_{gmax} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;
- ⇒ S_s = amplificazione stratigrafica;
- ⇒ S_t = amplificazione topografica;
- ⇒ A_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

Applicando la formula appena proposta si ottiene per l'area in esame, considerando una categoria di sottosuolo "B", un'accelerazione orizzontale massima a piano campagna pari a 0,072g ($a_{gh max}$) per lo stato limite di salvaguardia della vita (S.L.V.) e un tempo di ritorno di 475anni.

Il valore appena indicato non risulta superiore a 0,1g previsto dalla normativa vigente e pertanto tale punto del paragrafo 7.11.3.4.2 D.M. 17/01/2018 – N.T.C. risulta verificato.

4.2 PROFONDITÀ FALDA ACQUIFERA

Come descritto nel paragrafo 2.5 della presente relazione tecnica, la soggiacenza della falda freatica registrata nell'area in esame è stata valutata mediante la cartografia online di Città Metropolitana di Milano pari a circa -12,6m dal piano campagna.

Pertanto il punto 2 del paragrafo 7.11.3.4.2 delle N.T.C. 2018 non risulta verificato.

4.3 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE E GRANULOMETRICHE

I punti 3 e 4 del paragrafo 7.11.3.4.2 delle N.T.C, prendono in considerazione la granulometria dei sedimenti che caratterizzano il sottosuolo del sito e la resistenza del terreno valutata mediante prove penetrometriche.

In particolare il punto 3 è stato valutato con il software Corr-GeoTab rilasciato da EPC Editore, il quale ha permesso di ricavare un valore del parametro $N1(60)$ normalizzato ad una pressione litostatica efficace di 100kPa.

Il modello utilizzato è quello descritto nel precedente paragrafo e dedotto dalle prove SCPT eseguite in sito.

La formula applicata è quella proposta da Liao and Whitman [1986] ed i risultati ottenuti sono mostrati nella successiva Figura 12:



Dr. Geol.
Roberto Luoni

LIVING CERNUSCO S.R.L.

Relazione Geologica – Sismica
Piano Attuativo Campo della Modificazione m2_1
Via Verdi-Via Pasubio_Ex Kyocera – Cernusco sul Naviglio (MI)

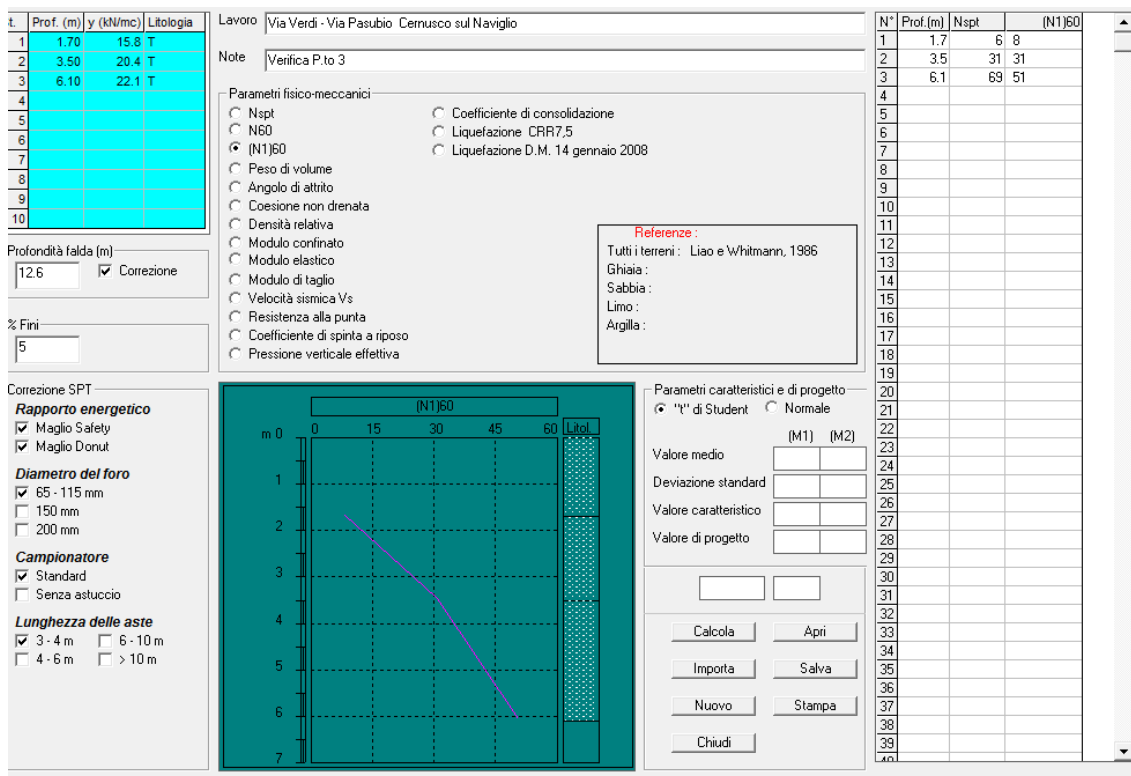


Figura 12: Calcolo valori N1(60) - Corr-GeoTab EPC

Dall'esame della Figura 12, risulta evidente come, fatta eccezione per il primo strato il quale non sarà interessato dalla posa delle future fondazioni, il valore N1(60) risulta superiore a 30 e pertanto il punto 3 del paragrafo 7.11.3.4.2. delle N.T.C. 2018 è può essere considerato verificato.

Per quanto riguarda la granulometria dei sedimenti (punto 4 delle N.T.C 2018), facendo riferimento alle prove eseguite, ma anche alle conoscenze di carattere bibliografico, è possibile affermare che il sottosuolo è caratterizzato da una granulometria sabbiosa-limosa in superficie e sabbiosa ghiaiosa in profondità.

Non disponendo di prove granulometriche specifiche, si ritiene cautelativo considerare il punto 4 del paragrafo 7.11.3.4.2 delle N.T.C. 2018 non verificato.

AOO CERNUSCO SUL NAVIGLIO
 Protocollo Arrivo N. 42354/2021 del 06-08-2021
 Allegato 4 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente



Dr. Geol.
Roberto Luoni

LIVING CERNUSCO S.R.L.

Relazione Geologica – Sismica
Piano Attuativo Campo della Modificazione m2_1
Via Verdi-Via Pasubio_Ex Kyocera – Cernusco sul Naviglio (MI)

5. INDAGINE SISMICA

L'indagine geofisica svolta, è stata realizzata a seguito dell'entrata in vigore della nuova classificazione sismica del territorio lombardo stabilita dalla D.G.R. n. 2129/2014.

Nello specifico il comune di Cernusco sul Naviglio era classificato come zona sismica 4, ma con l'entrata in vigore della nuova normativa è stato riclassificato come zona 3, comportando così per tutti i nuovi progetti o varianti strutturali la necessità di procedere con degli approfondimenti d'indagine che saranno descritti nei paragrafi successivi.

Al fine di procedere con la raccolta dei dati necessari ai nuovi approfondimenti, si è provveduto ad eseguire all'interno del sito d'indagine una prova MASW (Multichannel Analysis Surface Waves) con onde di Rayleigh al fine di verificare la sismicità locale.

La tecnica utilizzata viene definita comunemente di tipo "attivo", in quanto la sua esecuzione è possibile solo a seguito di un'energizzazione effettuata manualmente da un qualsiasi punto definito "sorgente" del piano campagna.

L'indagine nel suo insieme, in accordo con le linee guida fornite dal D.M. 14 gennaio 2008 – Norme Tecniche per le Costruzioni, ha permesso di ricostruire il profilo delle velocità delle onde di taglio (V_s) per il sito d'indagine e inquadrare i terreni interessati dalle opere in progetto secondo la normativa nazionale, vale a dire in funzione delle V_{s30} valutate nei primi 30 metri di profondità a partire dal piano d'imposta delle fondazioni.

La formula di seguito riportata permette, mediante l'utilizzo di una media armonica, di valutare il parametro di V_{s30} necessario all'attribuzione della categoria sismica per il suolo indagato:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

Nei paragrafi successivi vengono quindi descritte le metodologie di studio adottate e le conclusioni ottenute.



Dr. Geol.
Roberto Luoni

LIVING CERNUSCO S.R.L.

Relazione Geologica – Sismica
Piano Attuativo Campo della Modificazione m2_1
Via Verdi-Via Pasubio_Ex Kyocera – Cernusco sul Naviglio (MI)

5.1 PROSPEZIONE SISMICA ATTIVA

Con il termine MASW si indica uno studio della propagazione delle onde di superficie mediante una energizzazione del terreno. Tale pratica viene comunemente svolta mediante l'impiego di una mazza battente.

Tale analisi viene condotta analizzando la componente delle onde di Rayleigh (R) o in alternativa le onde di Love (L), la cui generazione avviene nel primo caso mediante un'energizzazione verticale del sito (ZVF), mentre nel secondo caso è necessario generare una sorgente di taglio trasversale allo stendimento (THF).

Le onde di Rayleigh e di Love sono definite onde di superficie, in quanto la loro ampiezza decresce con la profondità di propagazione, pertanto il loro sviluppo interessa quasi esclusivamente le porzioni più superficiali di terreno.

Le due tipologie di onde si differenziano a seconda di come si propagano nel mezzo attraversato: le onde di Rayleigh hanno un moto radiale di tipo retrogrado, mentre quelle di Love si muovono esclusivamente sul piano orizzontale con una oscillazione che si presenta perpendicolare alla direzione di propagazione.

A prescindere dalla loro tipologia, un'onda sismica è costituita dalla sommatoria di diverse componenti (frequenza e lunghezza d'onda) con differenti valori di ampiezza e di fase che, una volta sommate, danno luogo all'onda di propagazione.

$$\lambda = \frac{V}{f}$$

Dove:

- ⇒ λ = lunghezza d'onda
- ⇒ V = velocità di propagazione
- ⇒ f = frequenza.

In particolare la velocità di propagazione di una specifica componente (frequenza) dipende dalle caratteristiche del mezzo attraversato, e interessa indicativamente una profondità pari a circa $\lambda/2$ o $\lambda/3$, secondo una approssimazione che viene spesso definita "Steady state approximation".

Analizzando così la velocità di propagazione di ciascuna componente, si è in grado di quantificare le caratteristiche del mezzo attraversato in funzione della profondità di osservazione. Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga. Tale proprietà si chiama dispersione.

Sebbene le onde superficiali siano considerate "rumore", per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà



Dr. Geol.
Roberto Luoni

LIVING CERNUSCO S.R.L.

Relazione Geologica – Sismica
Piano Attuativo Campo della Modificazione m2_1
Via Verdi-Via Pasubio_Ex Kyocera – Cernusco sul Naviglio (MI)

dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali.

L'intero processo avviene seguendo tre passi fondamentali:

- ⇒ Acquisizione delle onde superficiali (Ground Roll);
- ⇒ Costruzione della curva di dispersione (Velocità di fase - Frequenza);
- ⇒ Inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs.

Al fine di ottenere un profilo di velocità (Vs), è obbligatorio generare un treno d'onde superficiali a banda larga, cercando per quanto possibile di ridurre al minimo la registrazione del cosiddetto "rumore ambientale". A tal fine sono presenti molteplici tecniche attuabili nella fase d'acquisizione che variano principalmente in funzione della strumentazione utilizzata, della geologia del sito, dalla possibilità o meno di effettuare una stesa sismica sufficientemente sviluppata e del livello di disturbo antropico "rumori accidentali".

Nel caso si voglia effettuare un'analisi del rapporto spettrale delle onde di Rayleigh, sarà buona norma energizzare il terreno mediante un colpo verticale, in modo da massimizzare la risposta radiale nel terreno. Al contrario se si vuole eseguire un'analisi del rapporto spettrale delle onde di Love, la migliore energizzazione sarà quella fornita da un colpo di taglio, ortogonale rispetto alla direzione dello stendimento.

L'interpretazione della curva di dispersione ottenuta dalla combinazione dei dati di campagna, viene svolta mediante un procedimento iterativo, finalizzato all'interpretazione dello spettro delle velocità di fase, tramite confronto con un modello teorico del sito formulato dall'operatore sulla base delle proprie conoscenze stratigrafiche e geologiche.

Questo approccio è talvolta preferito alla classica procedura di *picking*, in quanto evita l'insorgere di errori dovuti alla presenza di modi superiori che potrebbero concentrarsi all'interno dello stesso dataset. Questa metodologia risulta quindi molto efficace, sia in condizioni "ordinarie" sia in condizioni geologiche relativamente complesse (spettri di risposta particolarmente difficili o disturbati).

Di conseguenza, partendo da una stratigrafia desunta da eventuali indagini geotecniche svolte in sito, è possibile attribuire dei valori di velocità e relativi spessori ai singoli strati seguendo un processo iterativo che riguarda sia il modo fondamentale che quelli superiori fino al raggiungimento del "fitting" ottimale con la curva di dispersione.



Dr. Geol.
Roberto Luoni

LIVING CERNUSCO S.R.L.

Relazione Geologica – Sismica
Piano Attuativo Campo della Modificazione m2_1
Via Verdi-Via Pasubio_Ex Kyocera – Cernusco sul Naviglio (MI)

5.2 MODALITA' D'INDAGINE

La fase di indagine ha visto l'utilizzo di un Sismografo PASI a 24 canali, modello GEA24, costituito da una scheda di acquisizione 24 bit e interfaccia USB per PC esterno, al quale sono stati collegati n.24 geofoni con massa oscillante verticali caratterizzata da una frequenza di 4,5Hz. Tale strumento permette di registrare:

- ⇒ Sismica a Rifrazione;
- ⇒ Riflessione superficiale;
- ⇒ MASW, Re.Mi., MAAM, ESAC;
- ⇒ DOWNHOLE;
- ⇒ CROSSHOLE.

L'energizzazione necessaria per la fase di acquisizione dei dati MASW è stata eseguita con mazza battente da 8 kg, mentre i parametri delle stese sismiche sono i seguenti:

Lunghezza	N° Shot	Offset Geofoni	Offset Minimo	Tipologia di acquisizione
48m	24	2m	4m	Rayleigh (Verticali)

La Figura 13 che segue mostra l'ubicazione dello stendimento MASW:



Figura 13: Ubicazione stendimento MASW

AOO CERNUSCO SUL NAVIGLIO
Protocollo Arrivo N. 42354/2021 del 06-08-2021
Allegato 4 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente



Dr. Geol.
Roberto Luoni

LIVING CERNUSCO S.R.L.

Relazione Geologica – Sismica
Piano Attuativo Campo della Modificazione m2_1
Via Verdi-Via Pasubio_Ex Kyocera – Cernusco sul Naviglio (MI)

Vista la posizione del sito, si è ritenuto di eseguire un'indagine di tipo "attivo" con energizzazioni verticali (Rayleigh) a 5 stack al fine di ridurre il più possibile il rumore di fondo di origine antropica presente durante la fase di acquisizione.

La geometria dello stendimento è basata sulla metodologia "off-end shooting" vale a dire con le energizzazioni svolte da uno stesso lato rispetto al sistema di acquisizione.

Al fine di ottenere il miglior risultato possibile è stata eseguita un'energizzazione a 2m di distanza dal geofono n.1 (A).

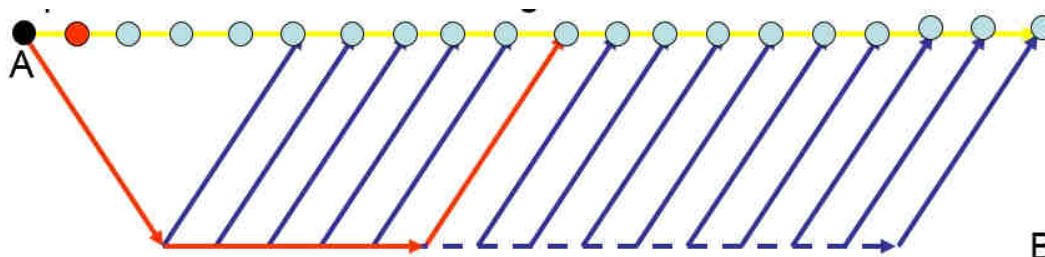


Figura 14: Schema di Acquisizione MASW

Nella fase successiva all'acquisizione, i dati raccolti sono stati elaborati con il software WinMASW-3C ©, prodotto dalla società Eliosoft, che ha permesso di elaborare la prova MASW mediante l'utilizzo delle curve modali.

5.3 RISULTATI PROVA MASW

In considerazione al contesto industriale nella quale è stata svolta la prova sismica MASW, risulta normale riscontrare nel dataset acquisito la presenza di disturbi antropici.

Nella successiva Figura 15 viene mostrato il risultato della prova MASW in onde di Rayleigh condotta presso l'area in esame.

AOO CERNUSCO SUL NAVIGLIO
Protocollo Arrivo N. 42354/2021 del 06-08-2021
Allegato 4 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente



Dr. Geol.
Roberto Luoni

LIVING CERNUSCO S.R.L.

Relazione Geologica – Sismica
Piano Attuativo Campo della Modificazione m2_1
Via Verdi-Via Pasubio_Ex Kyocera – Cernusco sul Naviglio (MI)

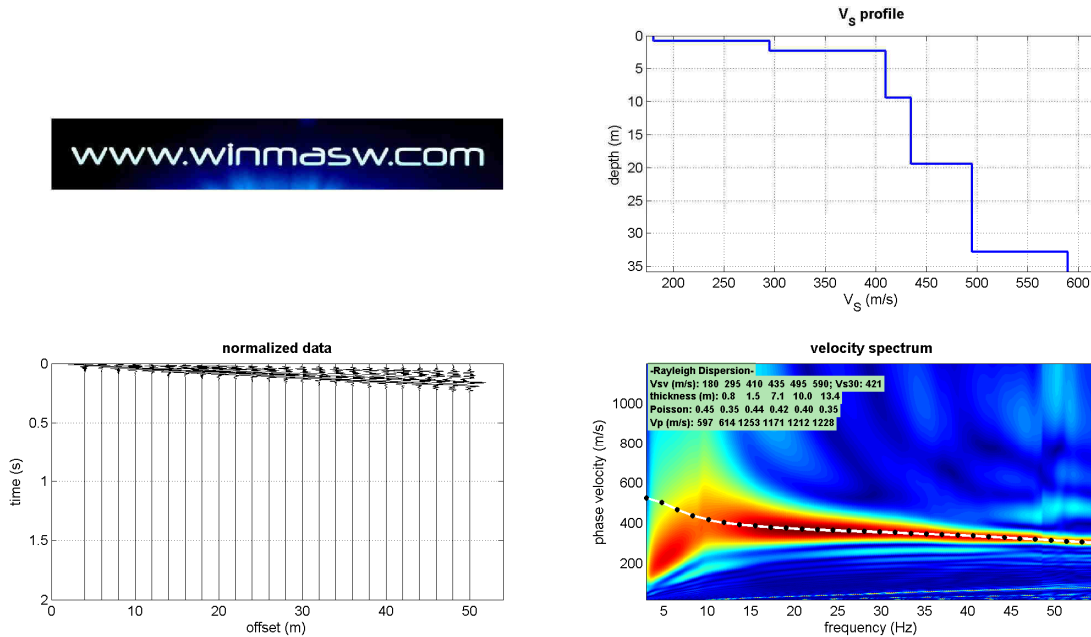


Figura 15: Interpretazione prova MASW con software Winmasw 3C ©

Dall'osservazione dell'analisi della dispersione delle onde di superficie mostrata in Figura 15, si può risalire al parametro delle "Vs" e di conseguenza al parametro di "Vs30" in quanto lo spessore del substrato "H" caratterizzato da velocità delle onde di taglio non inferiori a 800m/s, presenta uno spessore superiore a 30m da p.c. e pertanto secondo quanto stabilito al p.to 3.2.2 la Vs è definita dal parametro "Vs,eq":

$$V_{s30} = 421\text{m/s}$$

Il modello di velocità/profondità sintetico derivante dall'interpretazione è il seguente:

Velocità (m/s)	Spessore presunto strati (m)
180	0,80
295	1,50
410	7,10
435	10,0
495	13,4
590	-

La stratigrafia sismica appena descritta è stata quindi inserita nel software SICodes v.1.2 della società Program Geo, il quale ha permesso di visualizzare la corretta categoria di sottosuolo:



Dr. Geol.
Roberto Luoni

LIVING CERNUSCO S.R.L.

Relazione Geologica – Sismica
Piano Attuativo Campo della Modificazione m2_1
Via Verdi-Via Pasubio_Ex Kyocera – Cernusco sul Naviglio (MI)

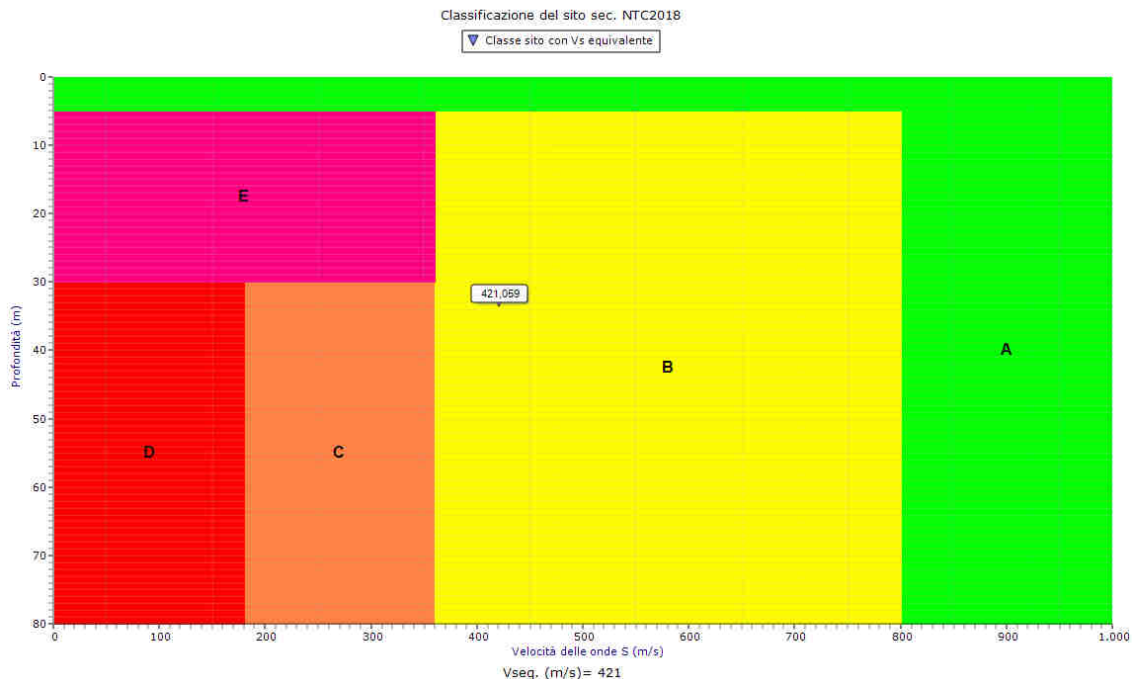


Figura 16: Classificazione del sito secondo il D.M. 17.01.2018 - SICodes Program Geo

In conclusione come stabilito nel D.M. 14 gennaio 2008, il sito in esame risulta classificabile nella seguente categoria di sottosuolo:

- ⇒ **Categoria 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.



Dr. Geol.
Roberto Luoni

LIVING CERNUSCO S.R.L.

Relazione Geologica – Sismica
Piano Attuativo Campo della Modificazione m2_1
Via Verdi-Via Pasubio_Ex Kyocera – Cernusco sul Naviglio (MI)

6. VERIFICA FATTORI DI AMPLIFICAZIONE

Come già descritto nel paragrafo precedente, Regione Lombardia con l'entrata in vigore della D.G.R. n. 2129/2014, ha aggiornato le zone sismiche del territorio regionale. A seguito dell'entrata in vigore di tale norma il territorio Comunale di Cernusco sul Naviglio è stato inserito in Zona Sismica 3.

Per le zone sismiche 2-3 la D.G.R. 2616/2011 par. 1.4.4, prevede l'esecuzione dell'approfondimento di 2° livello per le aree soggette ad amplificazione topografica e litologica (PSL Z3 e Z4).

La successiva tabella 6, riporta uno stralcio del paragrafo 1.4.4 sopra richiamato:

	LIVELLI DI APPROFONDIMENTO E FASI DI APPLICAZIONE		
	1° livello Fase Pianificatoria	2° livello Fase Pianificatoria	3° livello Fase Progettuale
Zona Sismica 2 - 3	Obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 se interferenti con urbanizzato e urbanizzabile, ad esclusione delle aree già inedificabili	-Nelle aree indagate con il 2° livello quando Fa calcolato > valore di soglia comunale; -Nelle zone PSL Z1 e Z2
Zona Sismica 4	Obbligatorio	Nelle zone PSL Z3 e Z4 solo per edifici strategici e rilevanti di nuova previsione (elenco tipologico di cui al d.d.u.o. n. 19904/03)	-Nelle aree indagate con il 2° livello quando Fa calcolato > valore di soglia comunale; -Nelle zone PSL Z1 e Z2 per edifici strategici e rilevanti

Tabella 1: Stralcio tabella Livelli di Approfondimento sismico – D.G.R. 2616/2011

Di seguito si riporta quanto elaborato.

AOO CERNUSCO SUL NAVIGLIO
Protocollo Arrivo N. 42354/2021 del 06-08-2021
Allegato 4 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente



Dr. Geol.
Roberto Luoni

LIVING CERNUSCO S.R.L.

Relazione Geologica – Sismica
Piano Attuativo Campo della Modificazione m2_1
Via Verdi-Via Pasubio_Ex Kyocera – Cernusco sul Naviglio (MI)

6.1 1° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO SISMICO

Secondo quanto stabilito dalla D.G.R. 2616/2011 par. 1.4.3, il 1° livello di approfondimento, obbligatorio per tutti i comuni lombardi, prevede nell'ambito del Piano di Governo del Territorio (PGT), la redazione della Carta di Pericolosità Sismica Locale (PSL), che è la base di partenza per tutti i successivi livelli di approfondimento sismico.

Il 1° livello d'analisi consiste nel riconoscimento delle aree passibili di amplificazione sismica sulla base sia di osservazioni geologiche (cartografia di inquadramento), sia di dati esistenti.

Dalle informazioni riportate nella Tavola 6 “Carta di pericolosità sismica locale” dello Studio Geologico del PGT, di cui stralcio viene mostrato nella successiva Figura 17, si evince come l'area oggetto di studio sia stata classificata con il seguente scenario di pericolosità sismica:

⇒ Z4A: Zone di fondovalle e pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi.

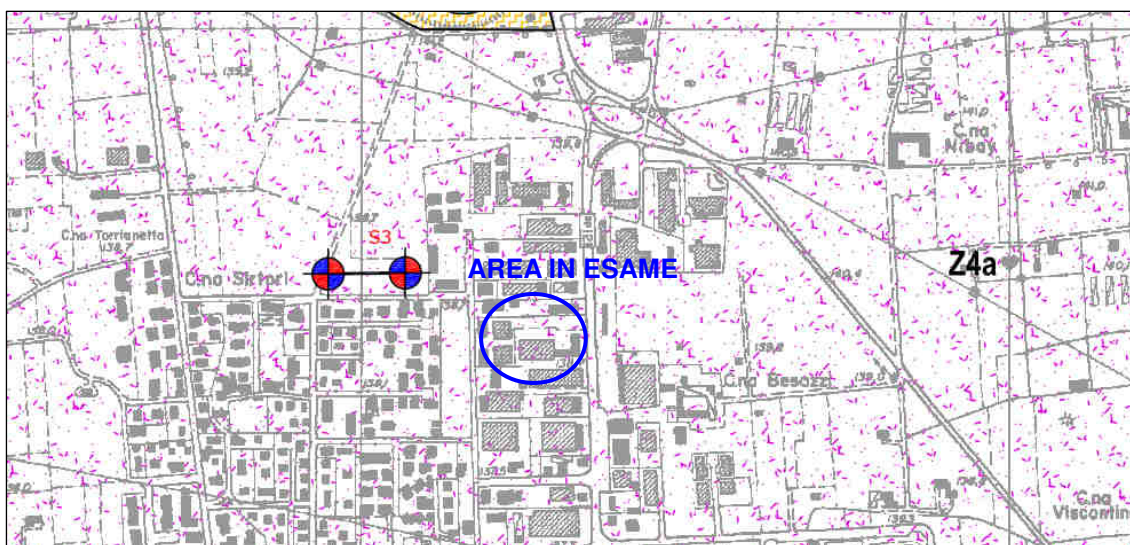


Figura 17: Stralcio Tavola 6 – Carta della Pericolosità Sismica Locale (PSL)

Inoltre, sempre nella Tavola 6 del PGT comunale, viene indicato che i fattori di amplificazione (F_a) calcolati nello Studio Geologico Comunale, sono in alcuni casi superiori alla soglia stabilita per il fattore di amplificazione (F_a) per il periodo compreso tra 0,1 – 0,5s e considerando una categoria di suolo di tipo “B”.

Pertanto vista la variabilità di “ F_a ” nel territorio comunale, risulta necessario procedere con l'analisi di 2° livello sismico al fine di caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi per gli ambiti classificati con degli scenari qualitativi suscettibili di amplificazione (Z3 e Z4), di aree in cui la normativa nazionale risulta sufficiente o insufficiente a tenere in considerazione gli effetti sismici per l'area di diretto interesse.



Dr. Geol.
Roberto Luoni

LIVING CERNUSCO S.R.L.

Relazione Geologica – Sismica
Piano Attuativo Campo della Modificazione m2_1
Via Verdi-Via Pasubio_Ex Kyocera – Cernusco sul Naviglio (MI)

6.2 2° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO SISMICO

La procedura dell'analisi di 2° livello consiste in un approccio di tipo semi-quantitativo e fornisce una stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di amplificazione (F_a).

Gli studi vengono condotti con metodi quantitativi semplificati, validi per la valutazione delle amplificazioni litologiche e morfologiche e sono utilizzati per zonare l'area di studio in funzione del valore di F_a . Il valore di F_a si riferisce agli intervalli di periodo tra 0,1-0,5s e 0,5-1,5s.

I due intervalli nei quali " F_a " sono stati valutati in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie presenti nel territorio regionale sono in particolare:

- ⇒ L'intervallo tra 0,1-0,5 sec si riferisce a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide;
- ⇒ L'intervallo tra 0,5-1,5 sec si riferisce invece a strutture più alte e più flessibili.

La procedura di 2° livello fornisce, per gli effetti litologici, valori di F_a per entrambi gli intervalli di periodo considerati, mentre per gli effetti morfologici solo per l'intervallo 0,1-0,5s.

Questa limitazione è causata dall'impiego, per la messa a punto della scheda di valutazione, di codici di calcolo di tipo bidimensionale a elementi di contorno, che sono risultati più sensibili all'influenza del moto di input nell'intervallo di periodo 0,5-1,5s.

La procedura semplificata per la valutazione degli effetti di amplificazione litologica, richiede la conoscenza dei seguenti parametri ricavati dalla linea sismica eseguita e sono:

- ⇒ Litologia prevalente dei materiali presenti nel sito;
- ⇒ Stratigrafia del sito;
- ⇒ Andamento delle V_s con la profondità fino a valori pari o superiore a 800 m/s.

La valutazione degli effetti di amplificazione litologica, è stata eseguita con l'ausilio di un foglio Excel dove sono stati calcolati i seguenti parametri: V_{s30} o $V_{s,eq}$, il periodo T, la velocità dello strato equivalente (necessaria quando il primo strato ha spessore <4,0m).

La scelta dell'abaco più idoneo, vista la fase progettuale, è stata effettuata verificando il rispetto delle curve di validità con la prova sismica effettuata e attribuendo un maggior peso alla descrizione litologica.

I due vincoli imposti per la scelta dell'abaco più appropriato, hanno portato all'utilizzo della scheda relativa alla **litologia sabbiosa**.



Dr. Geol.
Roberto Luoni

LIVING CERNUSCO S.R.L.

Relazione Geologica – Sismica
Piano Attuativo Campo della Modificazione m2_1
Via Verdi-Via Pasubio_Ex Kyocera – Cernusco sul Naviglio (MI)

L'analisi di 2° livello sismico effettuata, ha permesso di accertare che per l'area in esame i fattori di amplificazione (F_a) calcolati per la categoria di suolo "B" valutata a termine dell'indagine sismica sopra descritta, risultano:

- ⇒ superiore alla soglia (F_a s) per l'intervallo 0,1-0,5s;
- ⇒ superiore alla soglia (F_a s) per l'intervallo 0,5-1,5s.

DATI GENERALI			
NOME		Via Verdi - Via Pasubio (CdM m2_1)	
COMMITTENTE		LIVING CERNUSCO S.R.L.	
DATA ELABORAZIONE		27/10/2020	
NORMATIVA		D.G.R. n.2616 del 30/12/2011	
COMUNE		CERNUSCO SUL NAVIGLIO	
SCHEDA UTILIZZATA		SCHEDA LITOLOGIA SABBIOSA	
RISULTATO PROVA SISMICA			
Profondità [m da p.c.]		V_s [m/s]	
0.80		180	
2.30		295	
9.40		410	
19.40		435	
32.80		495	
54.00		800	
0.00		0	
0.00		0	
0.00		0	
0.00		0	
DATI ELABORAZIONE			
V_{s30} [m/s]		421	
Periodo Proprio del Sito		0.37	
V_s Strato Eq. [m/s]		400	
Categoria iniziale		B	
Profondità Substrato Rigido		54.0	
SOGLIE F_a 0,1-0,5s			
B	C	D	E
1.4	1.9	2.2	2.0
SOGLIE F_a 0,5-1,5s			
B	C	D	E
1.7	2.4	4.2	3.1
FATTORE DI AMPLIFICAZIONE			
Soglie	F_a Calcolato	+0,1	Esito
F_a 0,1-0,5	1.3	1.4	NORMATIVA NON SUFFICIENTE
F_a 0,5-1,5	1.6	1.7	NORMATIVA NON SUFFICIENTE
Categoria di suolo da utilizzare per strutture basse, regolari e piuttosto rigide (F_a 0,1-0,5s)			C
Categoria di suolo da utilizzare per strutture alte e più flessibili (F_a 0,1-1,5s)			C
<p>NORMATIVA SUFFICIENTE: a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa;</p> <p>NORMATIVA NON SUFFICIENTE: a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica e quindi in fase di progettazione sarà necessario eseguire l'analisi di 3° livello o utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore.</p> <p>N.B. I valori di F_a calcolati sono stati confrontati con i valori di soglia tenendo in considerazione una variabilità di +0,1 come stabilito dalla normativa vigente.</p>			

Figura 18: 2° Livello di Approfondimento Sismico

AOO CERNUSCO SUL NAVIGLIO
 Protocollo Arrivo N. 42354/2021 del 06-08-2021
 Allegato 4 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente



Dr. Geol.
Roberto Luoni

LIVING CERNUSCO S.R.L.

Relazione Geologica – Sismica
Piano Attuativo Campo della Modificazione m2_1
Via Verdi-Via Pasubio_Ex Kyocera – Cernusco sul Naviglio (MI)

Pertanto la normativa nazionale risulta:

- ⇒ insufficiente per tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione morfologica e litologica sia per l'intervallo di periodo 0,1-0,5s che per 0,5-1,5s, pertanto la normativa di riferimento prevede i seguenti casi alternativi in fase di progettazione edilizia:
- ⇒ esecuzione dell'analisi di 3° livello;
- ⇒ utilizzo dello spettro caratteristico della categoria di suolo superiore, con il seguente schema:
 - ✓ anziché lo spettro di categoria di suolo B si utilizzerà quello di categoria di suolo C; nel caso in cui la soglia non fosse ancora sufficiente si utilizzerà lo spettro della categoria di suolo D;
 - ✓ anziché lo spettro della categoria di suolo C si utilizzerà quello di categoria di suolo D;
 - ✓ anziché lo spettro di categoria di suolo E si utilizzerà quello della categoria di suolo E.

Vista la tipologia edilizia in progetto che prevede 1 piano interrato e 2 piani fuori terra si ritiene che la struttura ricada nell'intervallo di periodo 0,1-0,5s (strutture basse, regolari e piuttosto rigide), e pertanto, visti i risultati emersi dall'analisi di 2° livello, in fase di progettazione dovrà essere utilizzato lo spettro caratteristico per la categoria di suolo "C".



Dr. Geol.
Roberto Luoni

LIVING CERNUSCO S.R.L.

Relazione Geologica – Sismica
Piano Attuativo Campo della Modificazione m2_1
Via Verdi-Via Pasubio_Ex Kyocera – Cernusco sul Naviglio (MI)

7. CONCLUSIONI

La presente relazione tecnica è stata volta a definire l'assetto geologico e sismico dell'area ubicata in via Verdi - Via Pasubio in Comune di Cernusco sul Naviglio (MI) interessata dal nuovo Piano Attuativo Campo della Modificazione m2_1.

Come descritto nei precedenti paragrafi non sono state riscontrate criticità significative dal punto di vista geologico ed idrogeologico alla realizzazione delle strutture in progetto.

Nel corso dell'elaborazione dei dati, è stata valutata la possibilità di esclusione a verifica di liquefazione dei terreni di fondazione, in quanto il Punto 1 e il Punto 3 del paragrafo 7.11.3.4.2 delle N.T.C. 2018 risultano verificati.

L'indagine sismica condotta, ha permesso di classificare il sottosuolo in esame come categoria "B" e di verificare, mediante analisi di 2° livello, che il fattore di amplificazione per l'intervallo 0,1-0,5s è superiore alla soglia limite stabilita dalla normativa regionale vigente.

Considerato pertanto la tipologia edilizia in progetto che prevede 1 piano interrato e 2 piani fuori terra si ritiene che la struttura ricada nell'intervallo di periodo 0,1-0,5s (strutture basse, regolari e piuttosto rigide), e pertanto, visti i risultati emersi dall'analisi di 2° livello, in fase di progettazione dovrà essere utilizzato lo spettro caratteristico per la categoria di suolo "C".

AOO CERNUSCO SUL NAVIGLIO
Protocollo Arrivo N. 42354/2021 del 06-08-2021
Allegato 4 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente



Dr. Geol.
Roberto Luoni

LIVING CERNUSCO S.R.L.

Relazione Geologica – Sismica
Piano Attuativo Campo della Modificazione m2_1
Via Verdi-Via Pasubio_Ex Kyocera – Cernusco sul Naviglio (MI)

ALLEGATO A

Documentazione Fotografica

AOO CERNUSCO SUL NAVIGLIO
Protocollo Arrivo N. 42354/2021 del 06-08-2021
Allegato 4 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente



Dr. Geol.
Roberto Luoni

LIVING CERNUSCO S.R.L.

Relazione Geologica – Sismica
Piano Attuativo Campo della Modificazione m2_1
Via Verdi-Via Pasubio_Ex Kyocera – Cernusco sul Naviglio (MI)



Foto 1: Prova SCPT1



Foto 2: Prova SCPT2

AOO CERNUSCO SUL NAVIGLIO
Protocollo Arrivo N. 42354/2021 del 06-08-2021
Allegato 4 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente



Dr. Geol.
Roberto Luoni

LIVING CERNUSCO S.R.L.

Relazione Geologica – Sismica
Piano Attuativo Campo della Modificazione m2_1
Via Verdi-Via Pasubio_Ex Kyocera – Cernusco sul Naviglio (MI)



Foto 3: Prova SCPT3



Foto 4: Prova SCPT 4

AOO CERNUSCO SUL NAVIGLIO
Protocollo Arrivo N. 42354/2021 del 06-08-2021
Allegato 4 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente



Dr. Geol.
Roberto Luoni

LIVING CERNUSCO S.R.L.

Relazione Geologica – Sismica
Piano Attuativo Campo della Modificazione m2_1
Via Verdi-Via Pasubio_Ex Kyocera – Cernusco sul Naviglio (MI)



Foto 5: Prova SCPT5



Foto 6: Prova SCPT 6

AOO CERNUSCO SUL NAVIGLIO
Protocollo Arrivo N. 42354/2021 del 06-08-2021
Allegato 4 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente



Dr. Geol.
Roberto Luoni

LIVING CERNUSCO S.R.L.

Relazione Geologica – Sismica
Piano Attuativo Campo della Modificazione m2_1
Via Verdi-Via Pasubio_Ex Kyocera – Cernusco sul Naviglio (MI)



Foto 7: Sondaggio



Foto 8: Prova Sismica MASW

AOO CERNUSCO SUL NAVIGLIO
Protocollo Arrivo N. 42354/2021 del 06-08-2021
Allegato 4 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente