

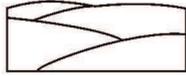
COMUNE DI CERNUSCO SUL NAVIGLIO

PIANO ATTUATIVO
Campo della Modificazione M2_1
Via Pasubio

Allegato F
RELAZIONE GEOLOGICA

APRILE 2017

Studio Tecnico
di Geologia



Geologia Territorio
Ambiente

IMMOBILIARE LE SERRE DUE S.r.l.

**Piano Attuativo
CdM 2_1 - Via Pasubio**

Mappali 135 - 175 - 177 - Foglio 11

RELAZIONE GEOLOGICA

**DM 14/01/2008 p.to 6.2.1
DGR 2616/2011
D.G.R. 5001/2016**

**Cernusco sul Naviglio (MI)
Via Pasubio 16-18/20
Marzo 2017**

**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**





Dr. Geol.
Roberto Luoni

IMMOBILIARE LE SERRE DUE S.R.L.

Relazione Geologica
Piano Attuativo CdM 2_1 Via Pasubio – Cernusco sul Naviglio (MI)

INDICE

	<i>pag.</i>
1. PREMESSA	1
2. RELAZIONE GEOLOGICA	2
2.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE DELL'AREA	2
2.2 INQUADRAMENTO CATASTALE	4
2.3 CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E GEOMORFOLOGICHE	5
2.4 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO	6
2.5 CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE	7
2.6 FATTIBILITÀ GEOLOGICA DELL'INTERVENTO	9
2.6.1 PRESCRIZIONI GEOLOGICHE PER L'INTERVENTO	9
2.6.2 VERIFICA PROGETTO - PRESCRIZIONI GEOLOGICHE CLASSE 2	11
2.6.3 APPROFONDIMENTI D'INDAGINE CONDOTTI	12
3. MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO	13
4. LIQUEFAZIONE DELLE SABBIE	15
4.1 STIMA DELLA MAGNITUDO DI PROGETTO	16
4.2 VALUTAZIONE ACCELERAZIONE MASSIMA	19
4.3 PROFONDITÀ FALDA ACQUIFERA	20
4.4 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE E GRANULOMETRICHE	20
5. POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	22
6. INDAGINE SISMICA	25
6.1 PROSPEZIONE SISMICA ATTIVA	26
6.2 PROSPEZIONE SISMICA PASSIVA – HVSR	28
6.3 MODALITÀ D'INDAGINE	29
6.4 RISULTATI PROVA MASW	31



Dr. Geol.
Roberto Luoni

IMMOBILIARE LE SERRE DUE S.R.L.

Relazione Geologica
Piano Attuativo CdM 2_1 Via Pasubio – Cernusco sul Naviglio (MI)

7. VERIFICA FATTORI DI AMPLIFICAZIONE	36
7.1 1° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO SISMICO	37
7.2 2° LIVELLO DI APPROFONDIMENTO SISMICO	38
8. CONCLUSIONI	41

ALLEGATI

Allegato A Documentazione Fotografica

Allegato B Modulo 9 DGR 5001/2016



Dr. Geol.
Roberto Luoni

IMMOBILIARE LE SERRE DUE S.R.L.

Relazione Geologica
Piano Attuativo CdM 2_1 Via Pasubio – Cernusco sul Naviglio (MI)

1. PREMESSA

La presente relazione è volta ad illustrare l'assetto geologico dell'area ubicata in via Pasubio 16-18/20 in comune di Cernusco sul Naviglio (MI), al fine di fornire gli elementi di carattere geologico necessari alla progettazione delle strutture previste dal Piano Attuativo CdM 2_1 Via Pasubio.

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. 14/01/2008 – 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 di tipo MASW in onde di Rayleigh e cinque prove penetrometriche dinamiche utilizzate per la definizione della stratigrafia generale del sito.

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. 2008 e di valutare quale spettro di risposta elastico risulta più idoneo utilizzare in fase di progettazione.

La valutazione dello spettro di risposta è stato possibile mediante l'applicazione dell'approfondimento di 2° livello sismico previsto dall'allegato 5 della D.G.R. n. 2616 del 2011, il quale consente di definire dapprima i coefficienti di amplificazione sismica sito-specifici dell'area e quindi lo spettro di risposta più idoneo per l'area in esame.



2. RELAZIONE GEOLOGICA

2.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE DELL'AREA

L'area interessata dalla presente indagine è ubicata nella porzione settentrionale del territorio comunale di Cernusco sul Naviglio in via Pasubio 16 e 18/20, 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.

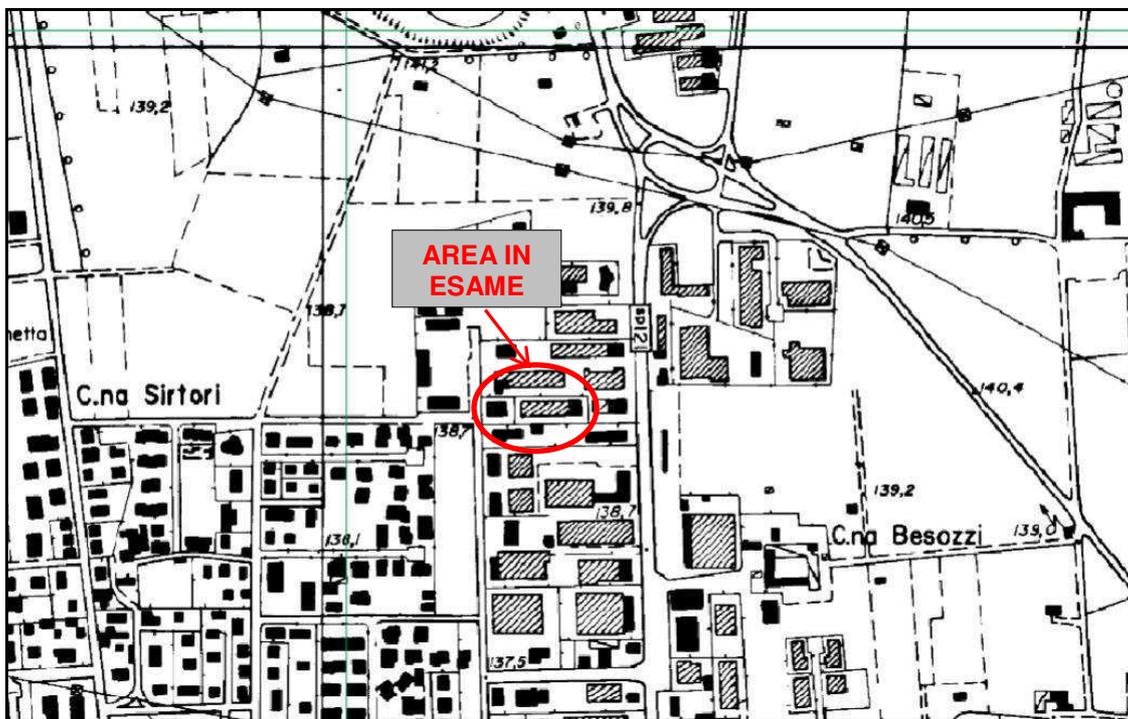


Figura 1: Stralcio CTR B6d1 con individuazione dell'area in esame

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:



Dr. Geol.
Roberto Luoni

IMMOBILIARE LE SERRE DUE S.R.L.

Relazione Geologica
Piano Attuativo CdM 2_1 Via Pasubio – Cernusco sul Naviglio (MI)



Figura 2: Foto aerea tratta da Google Earth.

Come si evince dalle figure 1 e 2, l'area oggetto del futuro Piano Attuativo, presenta attualmente al suo interno tre strutture industriali adiacenti e fisicamente separate.

Dal punto di vista urbanistico l'area ricade in un contesto tipicamente industriale che nell'ultimo decennio ha subito una costante e graduale modificazione d'uso del territorio passando da agricolo-industriale a residenziale.



Dr. Geol.
Roberto Luoni

IMMOBILIARE LE SERRE DUE S.R.L.

Relazione Geologica
Piano Attuativo CdM 2_1 Via Pasubio – Cernusco sul Naviglio (MI)

2.2 INQUADRAMENTO CATASTALE

L'inquadrimento catastale dell'area in esame è stato rilevato dal Geoportale della Regione Lombardia alla sezione "Catasto Regionale", di cui stralcio viene mostrato nella successiva figura 3.

Da tale figura si evince che l'area oggetto della presente relazione è inquadrata da un punto di vista catastale come segue:

⇒ Foglio 11 mappali 136, 175 e 177 del comune censuario di Cernusco sul Naviglio.

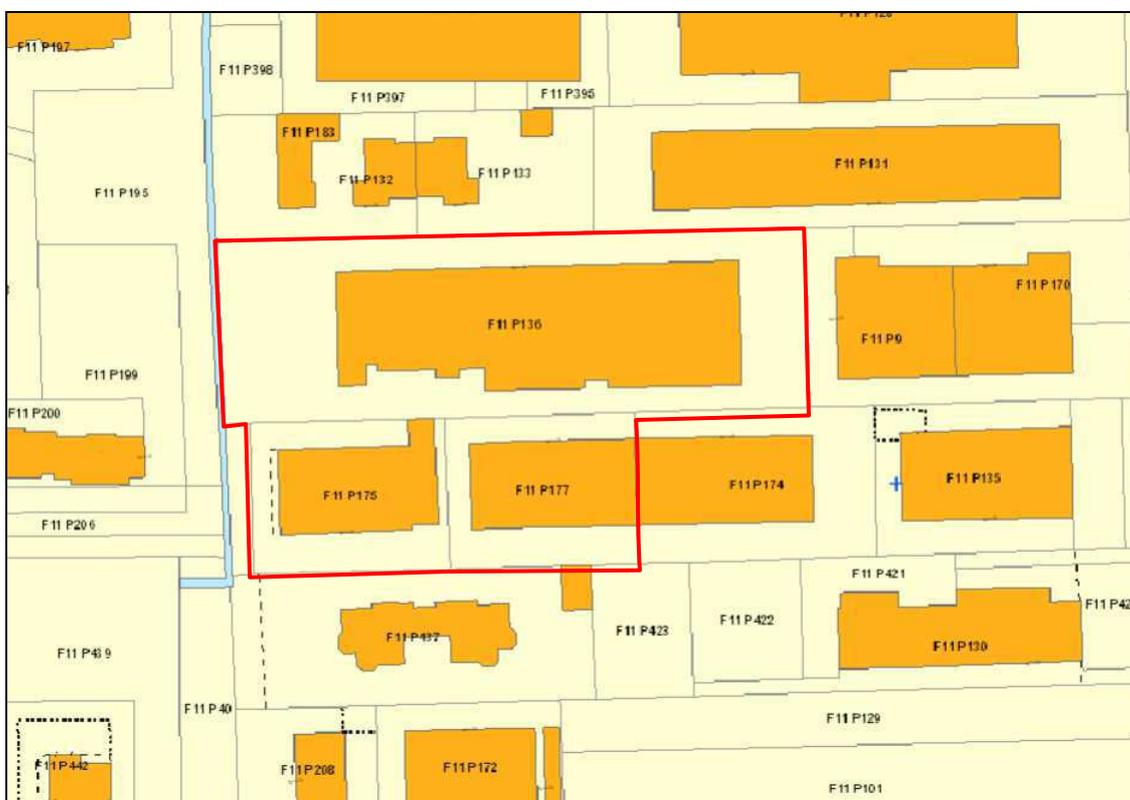


Figura 3: Stralcio Catasto Regionale - Regione Lombardia



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 hanno regolato nel corso degli anni l'evoluzione dei corsi d'acqua responsabili della formazione della pianura, attraverso lo smantellamento dei depositi alluvionali - fluvio-glaciali 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 più evidente risulta l'azione dei fenomeni morfogenetici, che hanno lasciato dei lembi di terreni più antichi allungati in senso nord-sud, di aspetto tabulare ad altipiano altimetricamente più elevati rispetto ai depositi wurmiani, generando quell'andamento ondulato tipico della zona pedemontana, e una fascia meridionale dove maggiormente si risente dell'attuale azione morfogenetica dei corsi d'acqua che movimentano il paesaggio con scarpate, meandri ed altri elementi di carattere morfologico.

L'area d'indagine risulta quindi 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 fluvio-glaciale 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 fluvio-glaciale, 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 questo di circa 2m, e generalmente è di colore brunastro. Complessivamente questi depositi presentano una discreta permeabilità, favorendo l'infiltrazione delle acque superficiali.

Evidenze dell'assetto geologico del sottosuolo dell'area in esame sono rilevabili dalle scarpate generate dall'attività estrattiva condotta negli ambiti presenti poco a nord dell'area in esame: in tali ambiti si osserva una successione stratigrafica che sotto uno strato superficiale organico (suolo) di circa 50cm presenta uno strato di alterazione ciottoloso limoso dello spessore variabile da 1,5 a 2m a cui fa seguito la successione ghiaiosa sabbiosa fino a profondità superiori ai 40m.



Dr. Geol.
Roberto Luoni

IMMOBILIARE LE SERRE DUE S.R.L.

Relazione Geologica
Piano Attuativo CdM_1 Via Pasubio – Cernusco sul Naviglio (MI)

2.4 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO

L'idrografia circostante l'area d'indagine è stata tratta dalla Tavola 1A dello studio del reticolo idrico minore di Cernusco sul Naviglio, che è stato aggiornato nel novembre 2012.

Da tale elaborato si evince come l'area in esame non sia direttamente interessata da corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrico minore e dalle conoscenze geografiche è possibile affermare che nell'intorno del sito non vi sono corsi d'acqua principali.

La successiva figura mostra uno stralcio di tale elaborato tecnico.

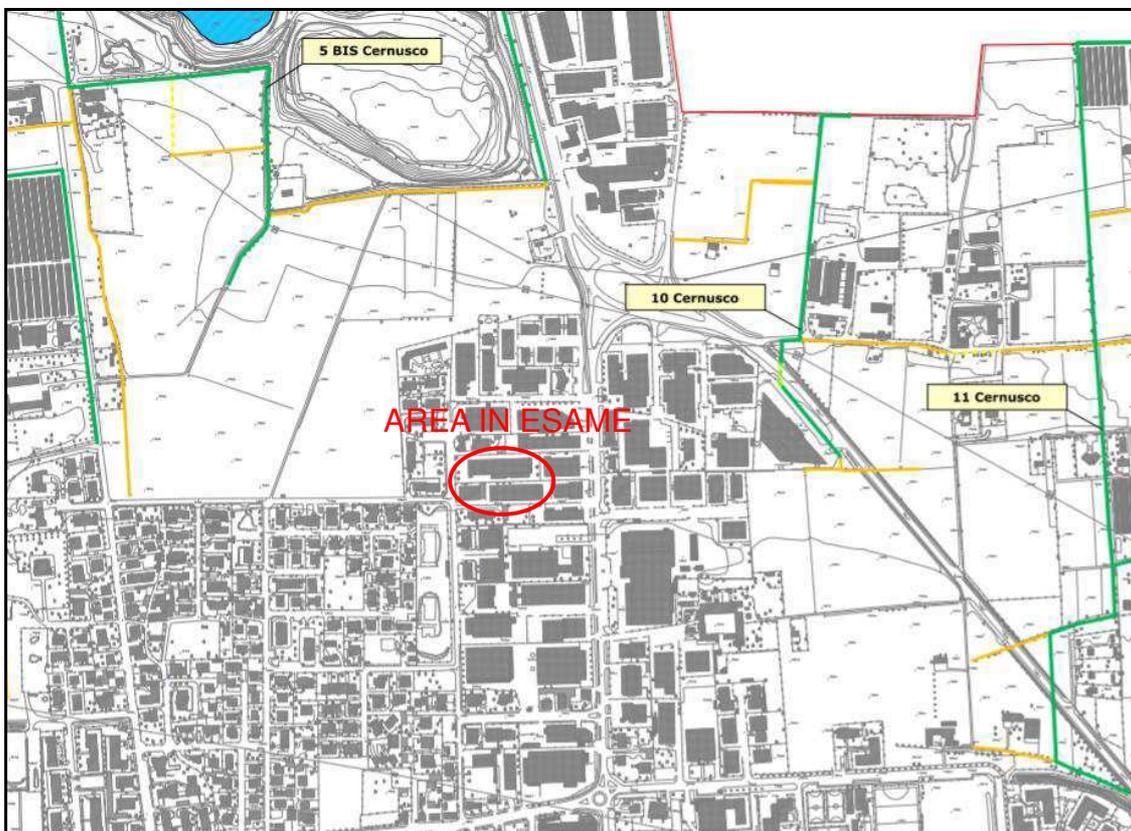


Figura 4: Stralcio Tav. 1A dello Studio del Reticolo Idrografico Minore di Cernusco s/N



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 attiene la piezometria della falda freatica nell'area in esame, si è fatto riferimento alla cartografia riportata nel portale S.I.A. della Città Metropolitana di Milano.



Dr. Geol.
Roberto Luoni

IMMOBILIARE LE SERRE DUE S.R.L.

Relazione Geologica
Piano Attuativo CdM_2_1 Via Pasubio – Cernusco sul Naviglio (MI)

Tale cartografia presenta dati maggiormente aggiornati rispetto alla carta idrogeologica dello Studio Geologico Comunale di Cernusco sul Naviglio (MI) che risale al 2009.

Di seguito si riporta quindi stralcio della piezometria dell'area riferita al settembre 2013 tratta dal portale SIA della Città Metropolitana di Milano.

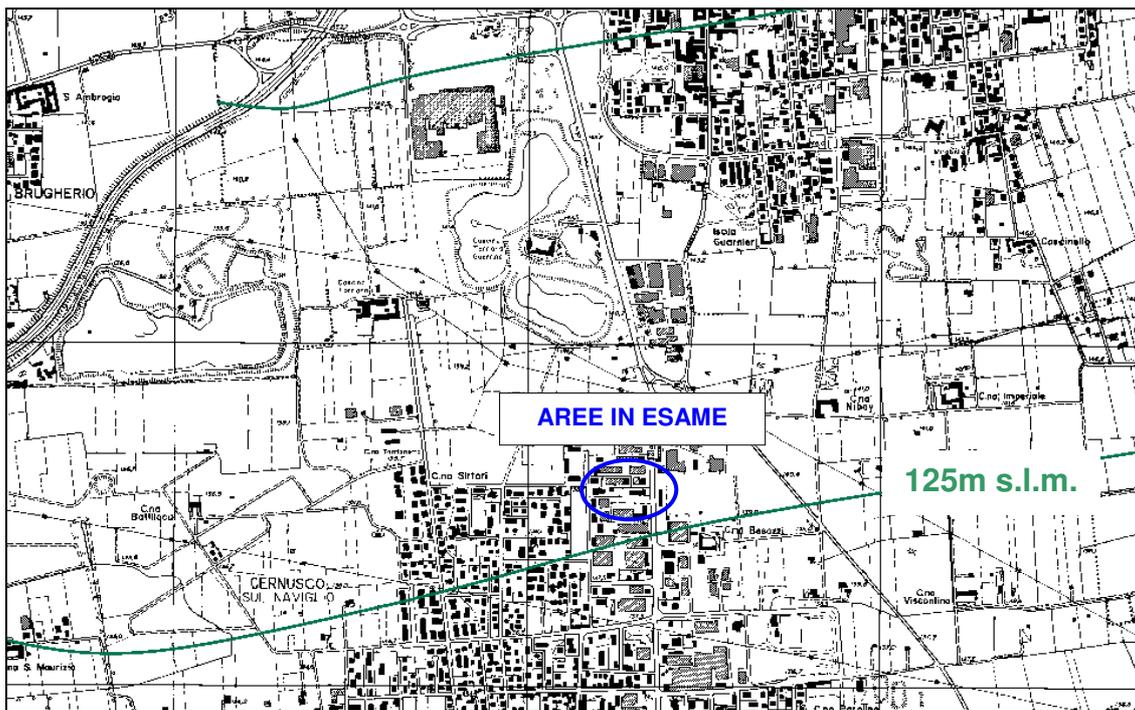


Figura 5: Stralcio Portale SIA – Città Metropolitana di Milano – Settembre 2013

Dall'esame della figura 5 è possibile ricavare come l'ambito in esame ricada in un'area che presenta una quota piezometrica di circa 126,0m s.l.m., e considerando una quota del piano campagna di circa 138,7m s.l.m. (stimata da CTR) si può valutare una soggiacenza, alla data di redazione della carta, pari a -12,7m da p.c.

Si consideri comunque che tradizionalmente la massima escursione stagionale della falda si raggiunge nella tarda estate e quindi la carta sopra riportata rappresenta circa la massima escursione della falda raggiunta nel 2013.

Sempre dallo stralcio mostrato in figura 5, è possibile inoltre definire la direzione di deflusso di falda che per l'area in esame è all'incirca nord-sud.

Ad integrazione dei dati sopra descritti, si riporta quanto stimato nella batteria di aste utilizzata durante le prove penetrometriche dinamiche eseguite nell'area, che hanno mostrato, con le approssimazioni derivante da tale tipo di osservazione, una soggiacenza della falda di circa -10,50m da p.c..



Dr. Geol.
Roberto Luoni

IMMOBILIARE LE SERRE DUE S.R.L.

Relazione Geologica
Piano Attuativo CdM 2_1 Via Pasubio – Cernusco sul Naviglio (MI)

2.6 FATTIBILITÀ GEOLOGICA DELL'INTERVENTO

La fattibilità geologica dell'intervento viene definita nella Tavola 10B in scala 1:5.000 dello Studio Geologico Comunale di cui stralcio viene riportato nella successiva figura 6.

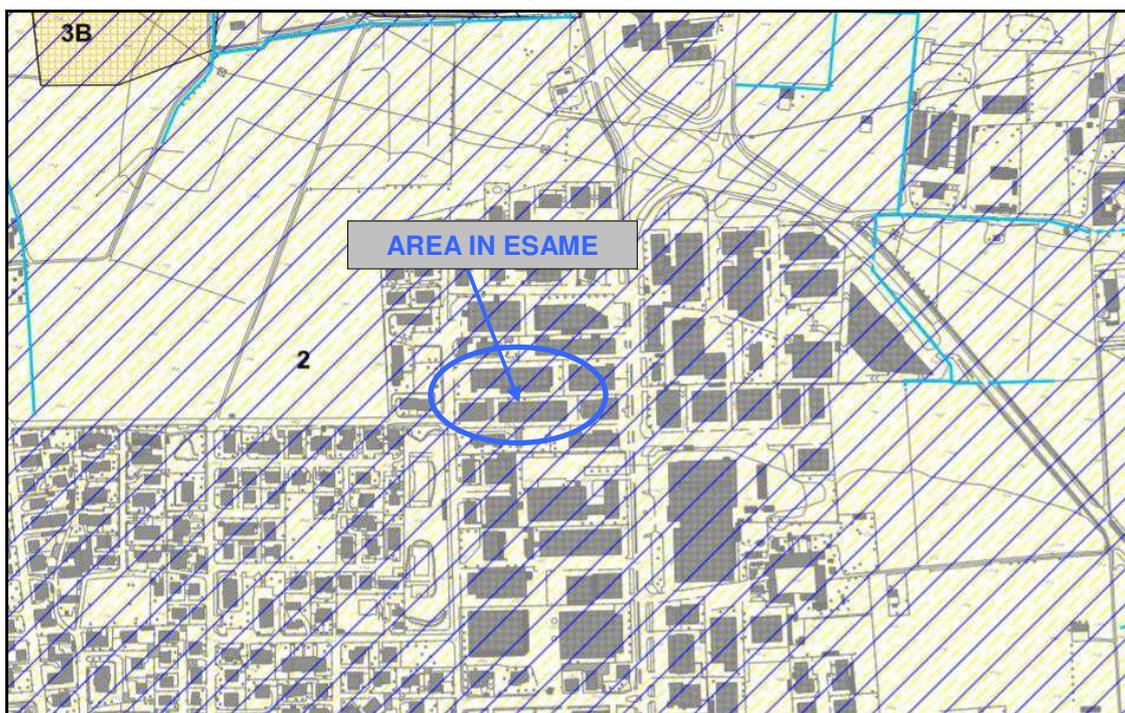


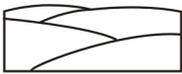
Figura 6: Stralcio Tavola 10B: Fattibilità Geologica – PGT Comunale

L'esame di tale elaborato, mostra come l'area interessata dal futuro Piano Attuativo ricade completamente nella 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

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. 33/2015, richiedono 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 una relazione geologica ai sensi della D.G.R. 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.

In particolare l'area di via Pasubio 16-18/20 in comune di Cernusco sul Naviglio, presenta la seguente classe di fattibilità:

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.

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.
 - 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. L'evidente stato di degrado delle aree in esame comporta la necessità di eseguire una dettagliata campagna di indagini geognostiche al fine di caratterizzare con precisione le proprietà fisiche, chimiche e geomeccaniche degli eventuali orizzonti di suolo alterati dalle attività pregresse.

⇒ **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.*

2.6.2 VERIFICA PROGETTO - PRESCRIZIONI GEOLOGICHE CLASSE 2

Le problematiche evidenziate nella Carta di Fattibilità dello Studio Geologico per l'area in esame, riguardano esclusivamente la valutazione della soggiacenza della falda e alla sua fluttazione metrica in tutto il territorio comunale.

Come descritto nel par. 2.5, la soggiacenza della falda nell'area in esame nel settembre 2013 risultava pari a circa -12,7m da p.c.. Un'ulteriore valutazione della soggiacenza della falda è stata derivata dalle prove penetrometriche eseguite nell'area nel febbraio 2017 dove era stata stimata una soggiacenza pari a -10,5m dal p.c..



Nella progettazione definitiva dell'opera edilizia in previsione nell'area in esame si dovrà quindi tenere conto di tali valori di soggiacenza al fine di evitare interferenze tra le strutture in sotterraneo in progetto con la falda freatica anche relativamente alle fluttuazione metriche stagionali delle acque sotterranee.

2.6.3 APPROFONDIMENTI D'INDAGINE CONDOTTI

In merito alle prescrizioni geologiche di carattere generale (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 Melzo 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. 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:** vista la destinazione d'uso attuale dell'area di tipo industriale e il cambio di destinazione d'uso a residenziale in programma, nelle aree in esame sono state condotte 2 indagini di carattere ambientale i cui esiti sono illustrati nelle relazioni "*Indagine Ambientale preliminare presso aree ubicate in via Pasubio 16 mapp 175 e 18/20 Cernusco sul Naviglio MI*" e "*Indagine Ambientale preliminare presso area ubicata in via Pasubio 16 mapp 177 Cernusco sul Naviglio MI*" redatte dallo scrivente. Come descritto in tali elaborati, a cui si rimanda per i dettagli, nelle aree indagate sono rispettati dei limiti qualitativi di suolo e sottosuolo per una destinazione d'uso di tipo residenziale.
- ⇒ **Prescrizioni di carattere geotecnico:** tale approfondimento è stato condotto mediante l'esecuzione di n.5 prove penetrometriche dinamiche di tipo SCPT, che saranno descritte nei successivi paragrafi. Tale indagine ha permesso di ricostruire il modello stratigrafico dell'area in esame. La caratterizzazione geotecnica in termini di capacità portante e verifica dei cedimenti sarà condotta in fase progettuale escuti e i risultati saranno illustrati in apposita relazione geotecnica ai sensi delle N.T.C vigenti.



3. MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

Al fine di ricostruire la stratigrafia del sottosuolo in esame, è stata condotta in data 30 gennaio 2017 una campagna d'indagine costituita da 5 prove penetrometriche dinamiche di tipo SCPT, ubicate come mostrato in 7.

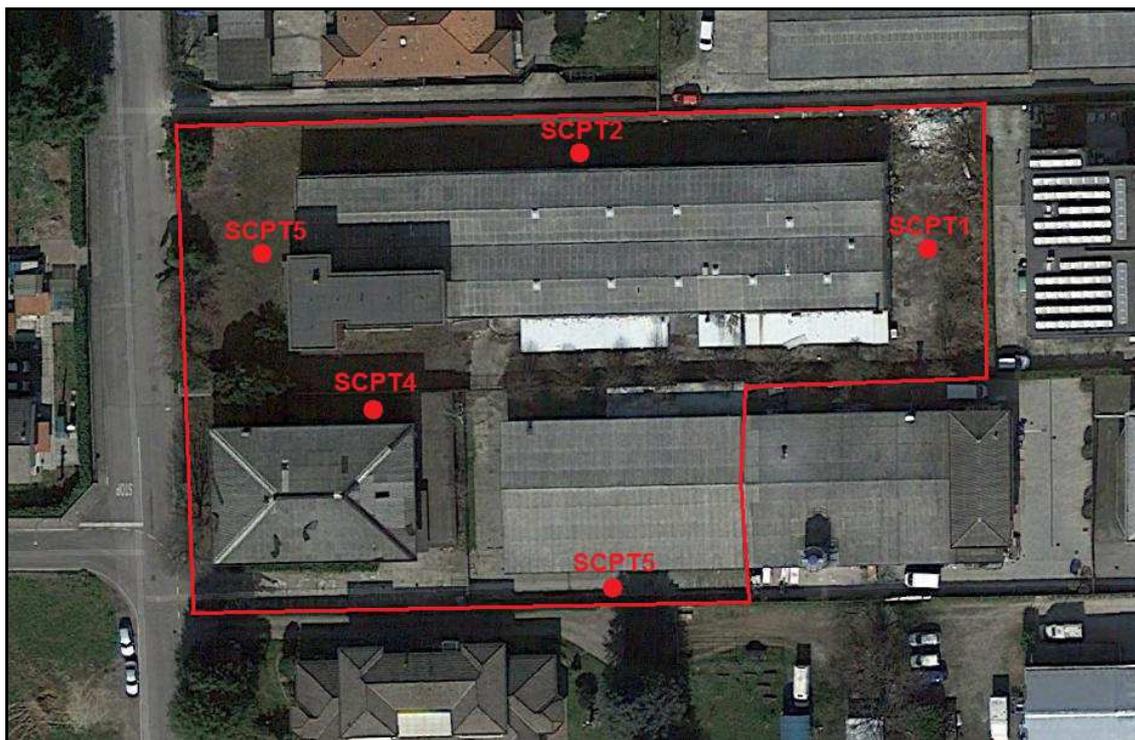


Figura 7: Ubicazione Prove SCPT

Dalla figura 7 è possibile osservare come la disposizione di tali prove consenta un'esaustiva caratterizzazione del sottosuolo dell'area interessata dal Piano Attuativo.

Le prove sopra elencate hanno raggiunto la cosiddetta condizione di rifiuto all'avanzamento, permettendo così di raggiungere una profondità media d'investigazione di -6,90m da p.c..

I risultati delle prove penetrometriche dinamiche, congiuntamente ai dati di carattere generale disponibili in bibliografia, hanno permesso di stimare la successione stratigrafica di seguito descritta:

- ⇒ **STRATO 1** – Orizzonte caratterizzato da ciottoli immersi in matrice limoso-sabbiosa;
- ⇒ **STRATO 2** – Orizzonte costituito da sabbia e ghiaia mediamente addensata;



Dr. Geol.
Roberto Luoni

IMMOBILIARE LE SERRE DUE S.R.L.

Relazione Geologica
Piano Attuativo CdM 2_1 Via Pasubio – Cernusco sul Naviglio (MI)

⇒ **STRATO 3** – Orizzonte costituito da sabbia e ghiaia molto addensata. Tale orizzonte costituisce il noto “Livello Fondamentale della Pianura Padana”, che nella zona di Cernusco s/N raggiunge anche i 40/50m di spessore.

La figura di seguito riportata illustra il modello stratigrafico del sottosuolo desunto dalle prove eseguite:

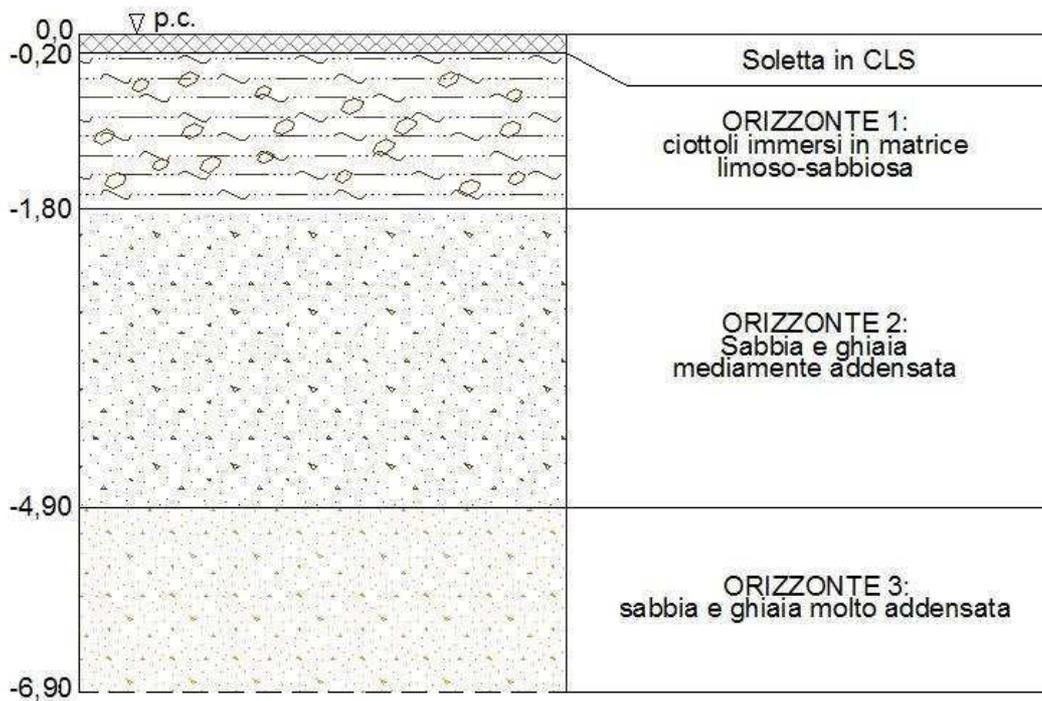


Figura 8: Modello stratigrafico dell'area desunto dalle prove SCPT

Si precisa che la definizione dei principali parametri geotecnici del substrato direttamente interessato dalla struttura in progetto è rimandata alla fase progettuale dell'intervento.



4. LIQUEFAZIONE DELLE SABBIE

Ai sensi della Legge 64/74, del D.M. 19/6/1984 e dell'attuale D.M. 14/01/2008, 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 quelle indotte da un sisma di magnitudo superiore a 5, in terreni caratterizzati da una granulometria medio-fine (sabbioso-limosi) e in presenza, entro primi 15m da p.c., della falda acquifera.

Nello specifico al paragrafo 7.11.3.4.2 del DM 14.01.2008 è indicato che tale analisi può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- ⇒ Eventi sismici di magnitudo inferiore a 5 ($M < 5$);
- ⇒ 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 $N > 30$;
- ⇒ 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, non risultano verificate nessuna delle condizioni sopra esposte, pertanto è necessario procedere alla verifica del coefficiente di sicurezza alla liquefazione come stabilito nel par. 7.11.3.4.3 delle NTC2008.



Dr. Geol.
Roberto Luoni

IMMOBILIARE LE SERRE DUE S.R.L.

Relazione Geologica
Piano Attuativo CdM 2_1 Via Pasubio – Cernusco sul Naviglio (MI)

4.1 STIMA DELLA MAGNITUDO DI PROGETTO

La valutazione della magnitudo caratteristica dall'area in esame, è stata condotta secondo l'impiego di un procedimento complesso e scientificamente approvato che si basa sul concetto di disaggregazione della pericolosità sismica.

L'analisi della disaggregazione dei valori di $a(g)$ consente per ciascun nodo della griglia di calcolo, di valutare il contributo percentuale alla stima di pericolosità fornito da tutte le possibili coppie di valori di magnitudo e distanza.

Al termine dell'analisi viene fornito un valore medio di magnitudo dove in genere, poiché trattasi di magnitudo locale media (M_l) e non di magnitudo momento (M_w), si può considerare tale valore al fine dell'esclusione dalla verifica di liquefazione prevista nelle N.T.C 2008, solo se la somma dei contributi percentuali è superiore al 90% per terremoti di magnitudo inferiore a 5.

Nella situazione di non superamento della soglia, si potrà utilizzare comunque tale valore medio per l'esecuzione della verifica alla liquefazione, nonché per scopi progettuali e di verifica allo SLU e allo SLE come previsto dal D.M. 14/01/2008 (N.T.C 2008).

Nelle pagine successive vengono illustrati i calcoli effettuati per la stima della magnitudo di scenario per l'ambito di via Pasubio 16-18/20 in comune di Cernusco sul Naviglio (MI).

La successiva figura 9, mostra l'elaborazione online effettuata per l'area in esame sul sito dell'INGV (<http://esse1-gis.mi.ingv.it>).



Dr. Geol.
Roberto Luoni

IMMOBILIARE LE SERRE DUE S.R.L.

Relazione Geologica
Piano Attuativo CdM_1 Via Pasubio – Cernusco sul Naviglio (MI)

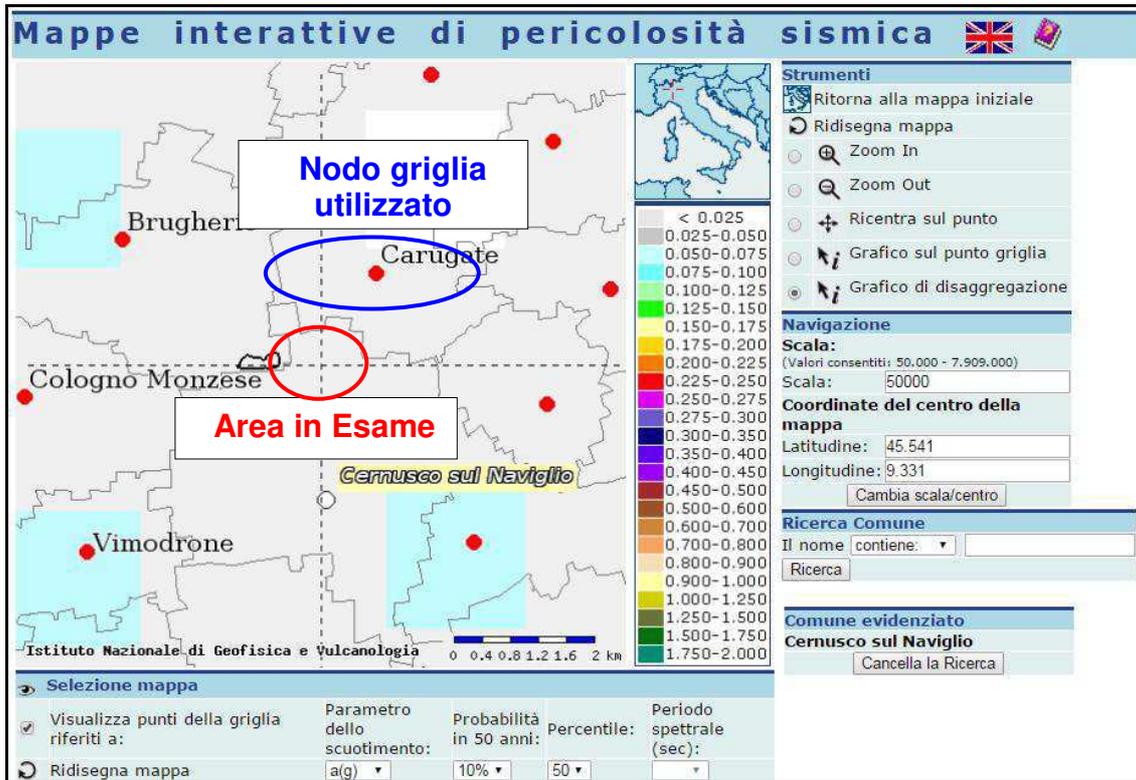


Figura 9: Dati input stima magnitudo di scenario – INGV

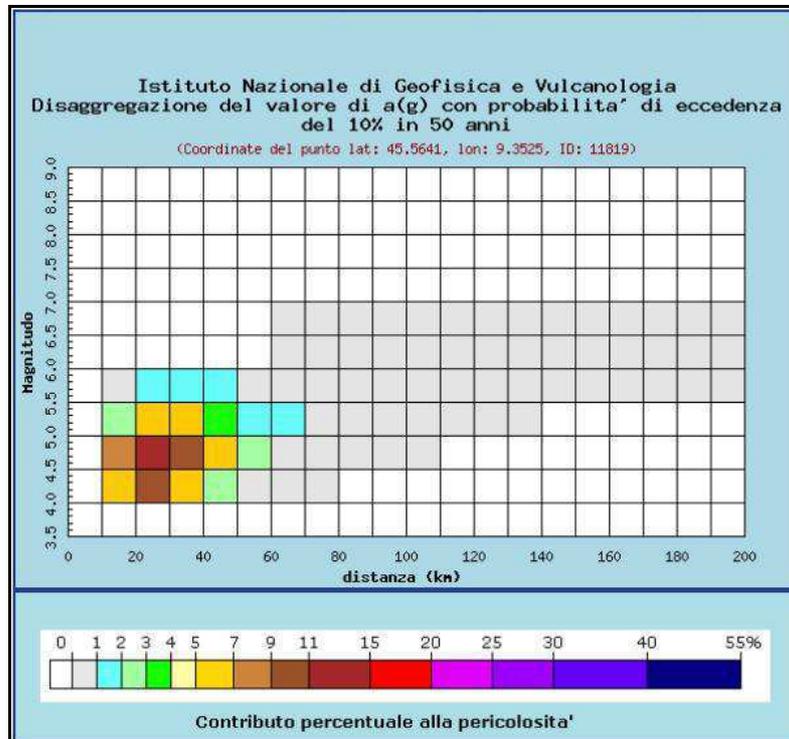


Figura 10: Elaborazione grafica magnitudo di scenario – INGV



Distanza in km	Disaggregazione del valore di a(g) con probabilita' di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto lat: 45.5641, lon: 9.3525, ID: 11819)										
	Magnitudo										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10-20	0.000	6.630	8.700	2.850	0.654	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20-30	0.000	9.510	14.600	6.010	1.640	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
30-40	0.000	5.400	9.910	5.160	1.640	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
40-50	0.000	2.270	5.080	3.310	1.130	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
50-60	0.000	0.759	2.300	1.880	0.702	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
60-70	0.000	0.150	0.933	1.060	0.473	0.058	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000
70-80	0.000	0.003	0.335	0.687	0.489	0.259	0.040	0.000	0.000	0.000	0.000
80-90	0.000	0.000	0.095	0.519	0.539	0.290	0.047	0.000	0.000	0.000	0.000
90-100	0.000	0.000	0.015	0.329	0.497	0.271	0.047	0.000	0.000	0.000	0.000
100-110	0.000	0.000	0.000	0.156	0.388	0.249	0.046	0.000	0.000	0.000	0.000
110-120	0.000	0.000	0.000	0.054	0.280	0.230	0.045	0.000	0.000	0.000	0.000
120-130	0.000	0.000	0.000	0.014	0.215	0.197	0.038	0.000	0.000	0.000	0.000
130-140	0.000	0.000	0.000	0.004	0.143	0.148	0.028	0.000	0.000	0.000	0.000
140-150	0.000	0.000	0.000	0.000	0.069	0.099	0.020	0.000	0.000	0.000	0.000
150-160	0.000	0.000	0.000	0.000	0.029	0.061	0.014	0.000	0.000	0.000	0.000
160-170	0.000	0.000	0.000	0.000	0.012	0.037	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000
170-180	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.025	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000
180-190	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.024	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000
190-200	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.023	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000

Valori medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.880	35.800	1.240

Figura 11: Risultati stima magnitudo di scenario - INGV

Dall'esame delle figure 9, 10 e 11, si evince come per l'area in esame, si sia fatto riferimento alla zona sismogenetica di Carugate (MI) in quanto più prossima all'area d'indagine. In particolare la magnitudo di scenario è stata valutata per un tempo di ritorno di 50 anni e con una probabilità di superamento del 10%.

Dall'elaborazione eseguita si è ricavata per l'area in esame una magnitudo media pari a 4,880 con una deviazione standard di 1,240, e i contributi percentuali dell'analisi sono mostrati dettagliatamente in figura 11 alla quale si rimanda (riquadro rosso).

La seguente tabella 1, mostra un riepilogo dei contributi percentuali ricavati al fine di definire se tale valore medio sia utilizzabile al fine dell'esclusione dalla verifica di liquefazione.



Dr. Geol.
Roberto Luoni

IMMOBILIARE LE SERRE DUE S.R.L.

Relazione Geologica
Piano Attuativo CdM 2_1 Via Pasubio – Cernusco sul Naviglio (MI)

DISTANZA IN KM	MAGNITUDO		
	3,5-4,0	4,0-4,5	4,5-5,0
0-10	0,000	0,000	0,000
10-20	0,000	6,630	8,700
20-30	0,000	9,510	14,600
30-40	0,000	5,400	9,910
40-50	0,000	2,270	5,080
%	0,000	23,810	38,290
CONTRIBUTO M<5	62,100% < 90%		Punto non verificato (7.11.3.4.2 NTC)

Tabella 1: Verifica punto 1 del paragrafo 7.11.3.4.2 delle N.T.C 2008)

Dall'esame della tabella 1, permette di osservare come il punto 1 del paragrafo 7.11.3.4.2 delle N.T.C non sia verificato poiché i contributi percentuali per magnitudo inferiori a 5 non superano il 90%.

La magnitudo momento attesa per l'area in esame è da considerarsi quindi superiore a 5 per un tempo di ritorno di 50 anni e con una probabilità di superamento del 10%.

4.2 VALUTAZIONE ACCELERAZIONE MASSIMA

Il secondo 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 il software online della Geostru il quale permette, mediate collocazione di un punto su una mappa di Google Earth, di ricavare tutti i parametri sismici per il sito d'indagine.

Tali valori sono riportati nella successiva figura 12, dove si evince che per l'area in esame è stata stimata un'accelerazione orizzontale massima in superficie di 0,153g per lo stato limite di salvaguardia della vita (S.L.V.) e un tempo di ritorno di 475anni.

Il valore appena indicato risulta superiore a 0,1g previsto dalla normativa vigente e pertanto tale punto del paragrafo 7.11.3.4.2 D.M. 14/01/2008 - N.T.C non risulta verificato.



II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...

SU = 1

Vita nominale (Opere provvisorie <=10, Opere ordinarie >=50, Grandi opere >=100)

Interpolazione

Stato Limite	Tr [annii]	a _g [g]	F _o	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0,049	2,492	0,259
Danno (SLD)	50	0,064	2,451	0,269
Salvaguardia vita (SLV)	475	0,153	2,596	0,278
Prevenzione collasso (SLC)	975	0,196	2,544	0,282

Periodo di riferimento per l'azione sismica: 50

CALCOLO COEFFICIENTI SISMICI

Muri di sostegno Paratie

Stabilità dei pendii e fondazioni

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

H (m)

us (m)

Categoria sottosuolo

Categoria topografica

	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss *	1,20	1,20	1,20	1,20
Amplificazione stratigrafica				
Cc *	1,44	1,43	1,42	1,42
Coeff. funz. categoria				
St *	1,00	1,00	1,00	1,00
Amplificazione topografica				

Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,012	0,015	0,044	0,056
kv	0,006	0,008	0,022	0,028
Amax [m/s ²]	0,578	0,755	1,795	2,306
Beta	0,200	0,200	0,240	0,240

Figura 12: Screenshot applicazione online Geostru

4.3 PROFONDITÀ FALDA ACQUIFERA

Come descritto nel paragrafo 2.5 della presente relazione tecnica, i dati bibliografici disponibili indicavano al settembre 2013 una soggiacenza della falda pari a -12,7m dal p.c., ed inoltre durante l'esecuzione della prova penetrometrica SCPT1 la soggiacenza della falda era stata stimata a circa -10,50m da piano campagna.

Pertanto anche il punto 3 del paragrafo 7.11.3.4.2 delle N.T.C 2008 non risulta verificato.

4.4 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE E GRANULOMETRICHE

I punti 4 e 5 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 4 è stato valutato con il software Corr-GeoTab rilasciato da EPC Editore, il quale ha permesso di ricavare il valore del parametro N1(60) normalizzato ad una pressione litostatica efficace di 100kPa.



Dr. Geol.
Roberto Luoni

IMMOBILIARE LE SERRE DUE S.R.L.

Relazione Geologica
Piano Attuativo CdM_1 Via Pasubio – Cernusco sul Naviglio (MI)

Il modello geologico utilizzato è quello dedotto dalle prove SCPT condotte in sito e descritto nel paragrafo 3 della presente relazione. La formula applicate è quella proposta da Liao and Whitman [1986].

I risultati ottenuti sono mostrati nella successiva figura 13:

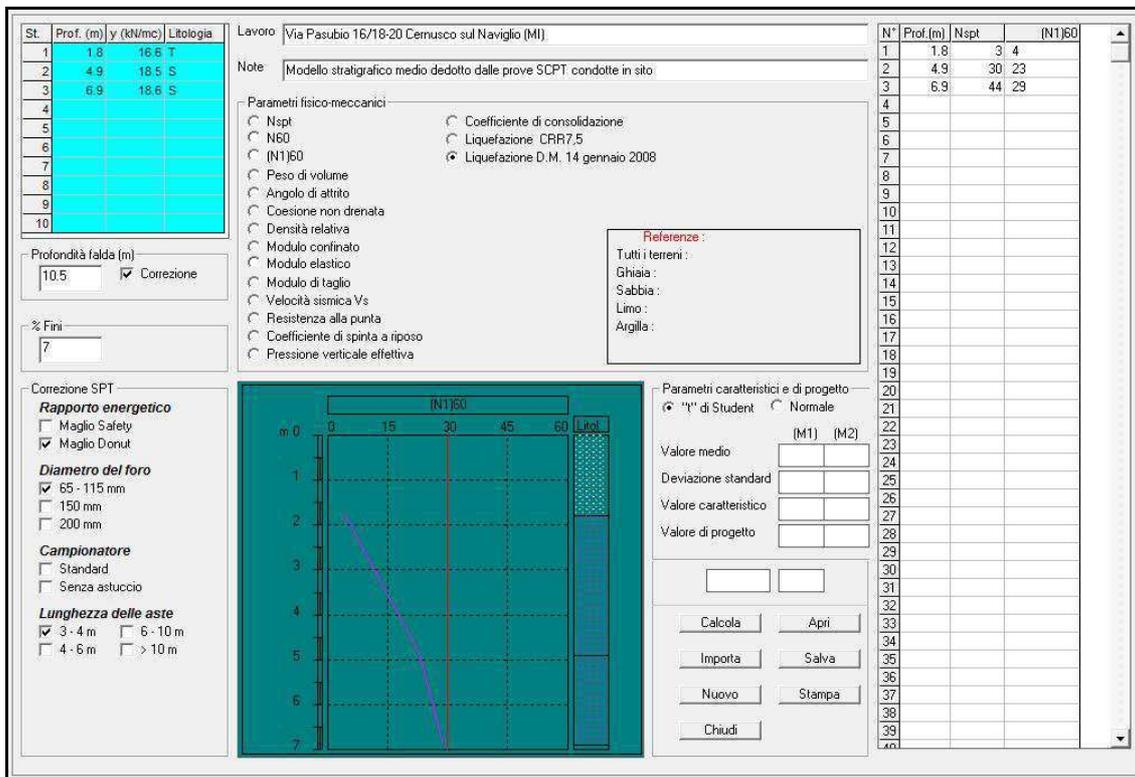


Figura 13: Calcolo valori N1(60) - Corr-GeoTab EPC

Dall'esame della figura 13 risulta evidente come i valori di N1(60) sono inferiori a 30 per una profondità di almeno 7m da p.c., pertanto in relazione a quanto stabilito dalla Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008 al paragrafo 7.11.3.4.2. tale punto non risulta verificato.

Per quanto riguarda la granulometria dei sedimenti (punto 5 delle N.T.C 2008), facendo riferimento alle prove eseguite, ma anche alle conoscenze di carattere bibliografico, è possibile affermare che il sottosuolo è caratterizzato da una granulometria grossolana costituita da ghiaie e sabbie con limo.

Non disponendo di prove granulometriche specifiche, il punto 5 del paragrafo 7.11.3.4.2 delle NTC 2008 risulta non verificato.



5. **POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE**

Qualora nessuna delle cinque condizioni stabilite nel par. 7.11.3.4.3 delle N.T.C 2008 e descritte nei paragrafi precedenti risultino soddisfatte, occorre procedere alla valutazione del coefficiente di sicurezza alla liquefazione.

Tale verifica consiste nella stima, alle varie profondità, di un coefficiente di sicurezza ottenuto confrontando il rapporto di resistenza ciclica (CRR), che rappresenta la capacità del terreno di contrastare l'insorgenza della liquefazione, con il rapporto di tensione ciclica (CSR), funzione dello sforzo di taglio indotto dal sisma.

$$\mathbf{FS = CRR/CSR}$$

In particolare le verifiche di tipo globale, dopo aver valutato l'andamento con la profondità di CRR e CSR, si procede alla stima del potenziale di liquefazione (I_L).

Per quanto riguarda la scelta del coefficiente di sicurezza, il D.M. 14.01.2008 "N.T.C non indica un valore specifico di FS da utilizzare, ma lascia libera scelta al progettista purché il valore sia debitamente motivato.

Il fattore di sicurezza "FS" più idoneo per l'area di via Pasubio 16-18/20 in comune di Cernusco sul Naviglio è quello proposto per correlazioni semi-empiriche dall'Eurocodice 8, il quale ritiene che un terreno possa essere considerato liquefacibile se lo sforzo di taglio indotto dal terremoto supera l'80% della resistenza mobilitata dal terreno. In altre parole deve essere verificata la seguente disequaglianza:

$$\mathbf{CSR \geq 0,80CRR}$$

Questo comporta un coefficiente di sicurezza limite uguale a:

$$\mathbf{FS = CRR/CSR \geq 1,25}$$

pertanto il valore di FS calcolato dovrà essere maggiore o uguale al valore limite per poter escludere la liquefacibilità del terreno.

L'analisi sito-specifica per l'area di via Pasubio, è stata compiuta con il software Liquef 3.1 della società Program Geo di Carpenedolo (BS), il quale richiede come dati di input: il modello geofisico del sito, i pesi di volume dei singoli strati individuati, la stima del contenuto in fini, la profondità della falda, l'accelerazione massima attesa (a_g) e la magnitudo (M) di riferimento attesa in sito.

Vista la ridotta profondità raggiunta dalle prove penetrometriche condotte in sito, si è ritenuto di utilizzare la prova sismica MASW per valutare il parametro di CRR, il quale è stato calcolato con la formula empirica proposta da



Boulangier e Idriss (2004), mentre l'andamento della CSR è stato valutato applicato il metodo di II livello previsto dalla procedura.

I dati richiesti sono quindi elencati nella successiva tabella 2, mentre i risultati finali dell'analisi sono mostrati in tabella 3.

DATI INPUT LIQUEF 3.1				
Accelerazione orizzontale massima a_g [g]			0,153	
Magnitudo di riferimento [M]			4,88	
Contenuto in fini [%]			7	
Profondità falda [m da p.c.]			-10,50	
Strato	da [m]	a [m]	Vs [m/s]	γ [kN/mc]
1	0,0	0,8	115	17,36
2	0,8	2,3	236	18,44
3	2,3	9,3	415	20,69
4	9,3	19,3	445	20,59
5	19,3	23,3	470	20,50
6	23,3	29,3	590	20,59
7	29,3	38,3	670	20,69
8	38,3	44,0	800	20,89

Tabella 2: dati input verifica potenziale di liquefazione

RISULTATI FINALI			
Strato	CSR	CRR	FS
1	0,024	-	-
2	0,024	-	-
3	0,022	-	-
4	0,020	0,253	12,672
5	0,018	0,251	13,929
6	0,018	0,380	21,121
7	0,017	0,450	26,481
8	0,017	0,598	35,177

Tabella 3: FS alla liquefazione



L'esame della tabella 3 sopra riportata, mostra come il coefficiente di Sicurezza, laddove calcolabile, è sempre superiore al limite di 1,25 ritenuto significativo per la presente elaborazione.

Tale dato viene mostrato anche nella successiva figura 14, dove è inoltre possibile osservare come il terreno analizzato presenta un indice di potenziale liquefazione pari a 0,0 quindi con rischio molto basso.

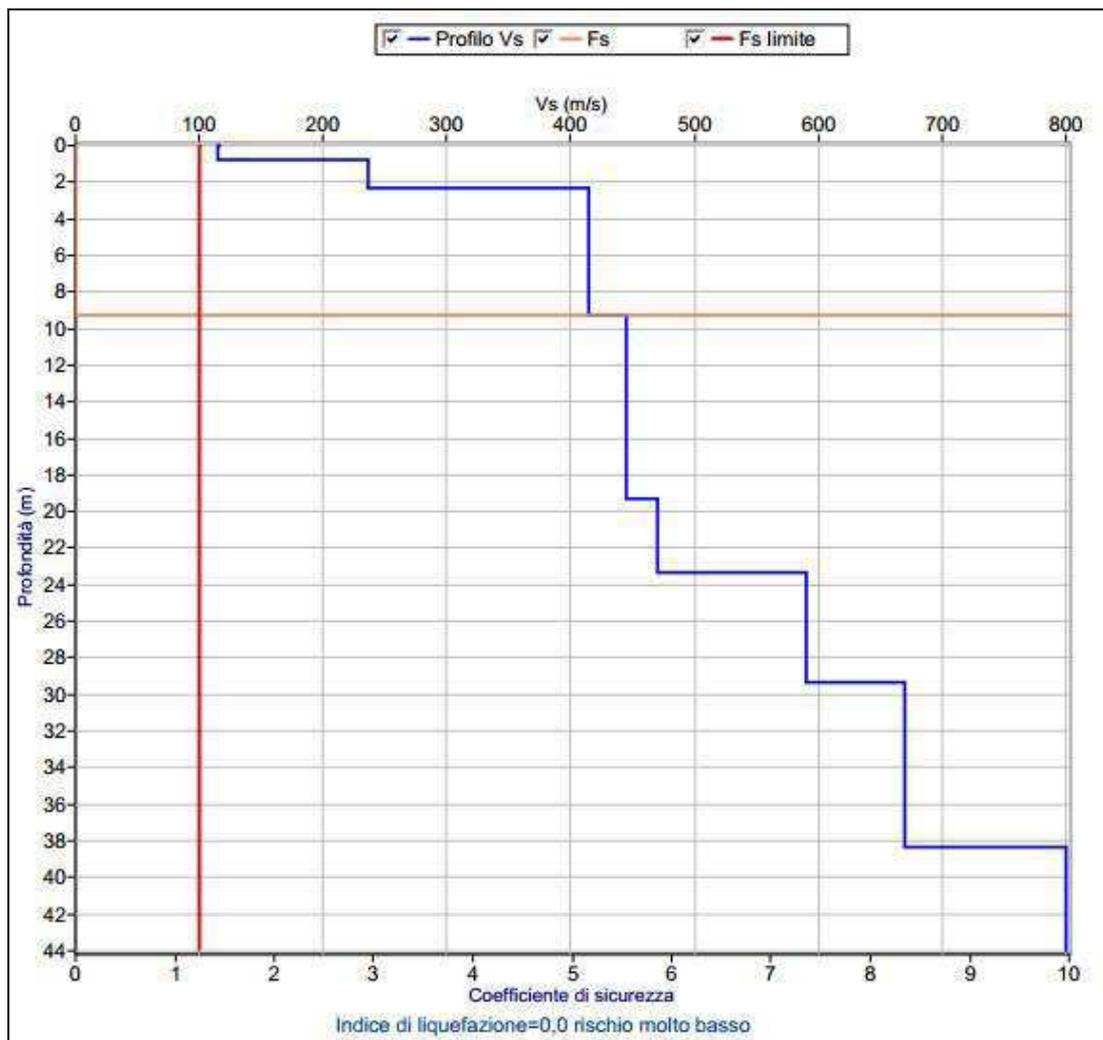


Figura 14: Grafico finale valutazione FS alla liquefazione



6. 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 of Surface Waves) in 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.



6.1 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 del 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 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.



6.2 PROSPEZIONE SISMICA PASSIVA – HVSR

La metodologia sismica HVSR (Horizontal to Vertical Spectrum Ratio) misura il rumore sismico ambientale che è presente in qualsiasi punto della superficie terrestre, in quanto viene generato dai fenomeni naturali come: l'oscillazione delle onde oceaniche, microterremoti, vento, ecc., nonché dall'attività antropica in generale.

In particolare la metodologia HVSR, introdotta da Nakamura (1989), sfrutta tali rumori naturali al fine di determinare le possibili frequenze di risonanza dei terreni e quindi la valutazione dell'amplificazione sismica locale, di grande utilità per l'ingegneria sismica.

La frequenza fondamentale di risonanza (**F**) dello strato di terreno (**n**) è data dalla seguente funzione:

$$F_n = V_s / 4 h$$

Dove:

⇒ "**V_s**" indica la velocità media delle onde di taglio S nello strato n

⇒ "**h**" è lo spessore dello strato indagato.

Nel caso indagato, allo scopo di definire il periodo di risonanza del sito è stata eseguita una misura dei microtremori necessaria a definire il rapporto H/V di Nakamura seguendo i criteri del progetto SESAME.

La curva HVSR costituita dagli spettri medi delle tre componenti (NS, EW e Z), sono state acquisite mediante un campionamento a 200Hz e successivamente ricampionate mediante il software WinMASW-3C © a 64Hz, avendo cura di ripulire tutti i "picchi di segnale" legati ad eventi antropici improvvisi sopraggiunti durante la fase di registrazione.

L'osservazione dello spettro di dispersione permette di individuare i possibili picchi di risonanza all'interno dell'intervallo delle frequenze d'interesse geologico - ingegneristico (0.5 – 20Hz), previa verifica statistica condotta con i criteri SESAME.



6.3 MODALITÀ D'INDAGINE

La fase di indagine ha visto l'utilizzo di un geofono triassiale GEMINI, il quale è formato da una terna di geofoni con masse oscillanti da 2Hz ed un acquisitore hardware da 24bit. Tale strumento permette di registrare:

- ✓ Dati HVSR – sismica passiva;
- ✓ Rilievi MASW – sismica attiva.

I tre geofoni interni sono orientati secondo una terna di assi cartesiani, assumendo la convenzione descritta nelle linee guida del progetto SESAME:

- ✓ Asse Z = geofono verticale = direzione Up-Down;
- ✓ Asse X = geofono orizzontale = direzione E – W;
- ✓ Asse Y = geofono orizzontale = direzione N – S.

L'energizzazione necessaria per la fase di acquisizione dei dati MASW (sismica attiva) è stata eseguita con mazza battente da 8 kg, mentre i parametri della stesa sismica sono i seguenti:

Linea	Lunghezza	N° Shot	Distanza intercanale	Distanza minima canale	Tipologia di acquisizione
MASW	75m	24	3m	6m	Rayleigh (Verticali)

Il geofono è stato posizionato come visibile nella successiva figura 15.



Figura 15: Ubicazione MASW in onde di Rayleigh

Vista la vicinanza del sito a degli stabilimenti industriali attivi, si è ritenuto di eseguire un'indagine di tipo "attivo" con energizzazioni verticale (Rayleigh) a 2 stack al fine di ridurre 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.

Data la tipologia di strumentazione utilizzata (singolo geofono triassiale), gli scoppi sono stati svolti a intervalli di retrocessione regolari di 3m, partendo dal punto più lontano (75m) fino a raggiungere l'ultima energizzazione avvenuta a 6m dal geofono. Complessivamente sono stati realizzati n. 24 shot ottenendo così un dataset sismico a 24 canali.

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.



Dr. Geol.
Roberto Luoni

IMMOBILIARE LE SERRE DUE S.R.L.

Relazione Geologica
Piano Attuativo CdM_2_1 Via Pasubio – Cernusco sul Naviglio (MI)

6.4 RISULTATI PROVA MASW

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

La successiva figura 16 mostra il dataset originale, dove risulta molto evidente il disturbo antropico rilevato dallo strumento..

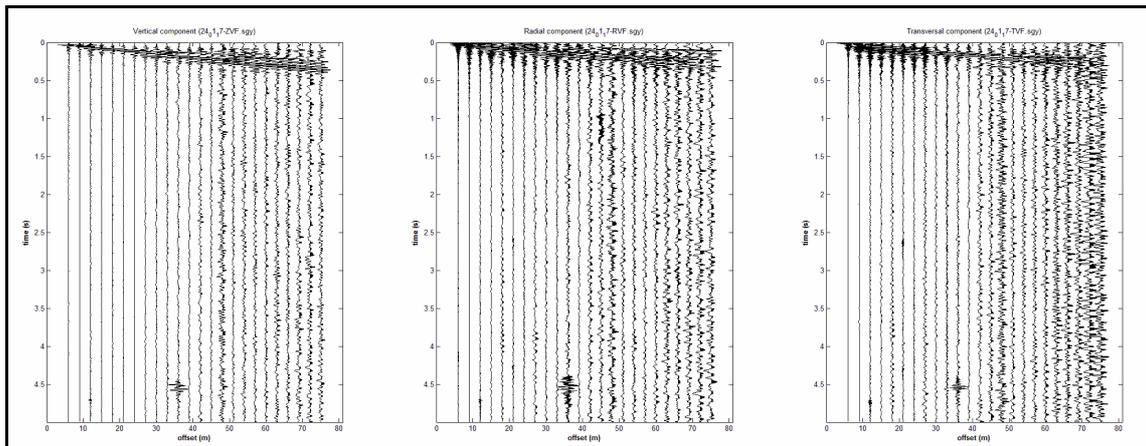


Figura 16: Tracce sismiche di campagna

Nelle successive figure 17 e 18 vengo mostrati i risultati dell'interpretazione del rapporto spettrale della prova HVSR e della prova MASW in onde di Rayleigh eseguita in via Pasubio 16-18/20 in comune di Cernusco sul Naviglio (MI).



Dr. Geol.
Roberto Luoni

IMMOBILIARE LE SERRE DUE S.R.L.

Relazione Geologica
Piano Attuativo CdM 2_1 Via Pasubio – Cernusco sul Naviglio (MI)

step#1 (optional) - decimate
64Hz

step#2 - H/V computation
 both Rad. & Tr.
20 window length (s)
7 tapering (%)
10%
 show particle motion (raw data)
 full output

step#3a (optional) - directivity analysis
 max freq: 32 Hz

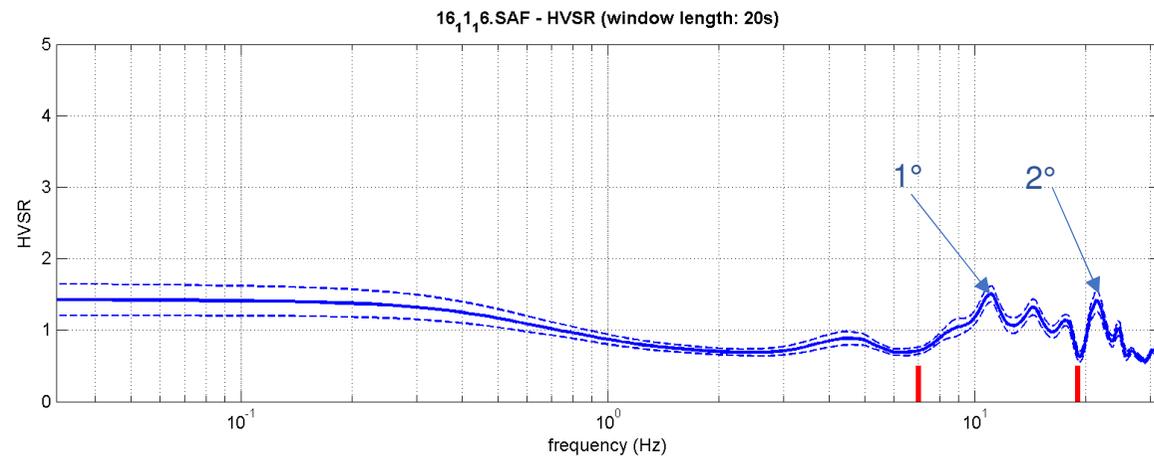
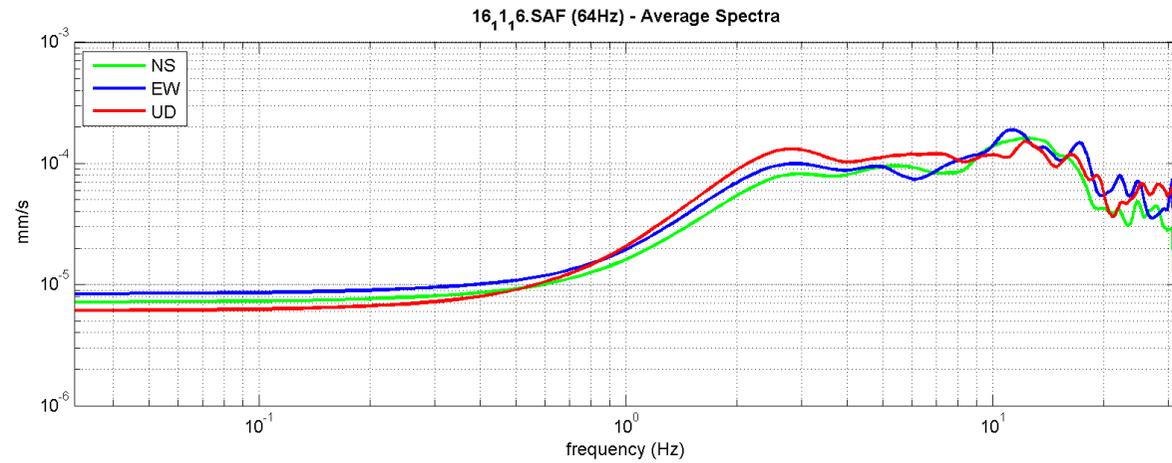
step#3b (optional) - directivity over time
 time step: 60 s

save - option#1: save HVSR as it is
Save HV from 0.45 to 64 Hz

save - option#2: picking H/V curve

quick analysis (f=Vs/4H)
180 average Vs (m/s)
(from surface to bedrock)
20 depth of the bedrock (m)
1000 Vs of the bedrock

www.winmasw.com



To model the HVSR (also jointly with MASW or ReMi/ESAC data), save the HV curve, go to the "Velocity Spectrum/a, Modeling & Picking" panels and upload the saved HV curve

Figura 17: Interpretazione prova HVSR con software Winmasw 3C ©

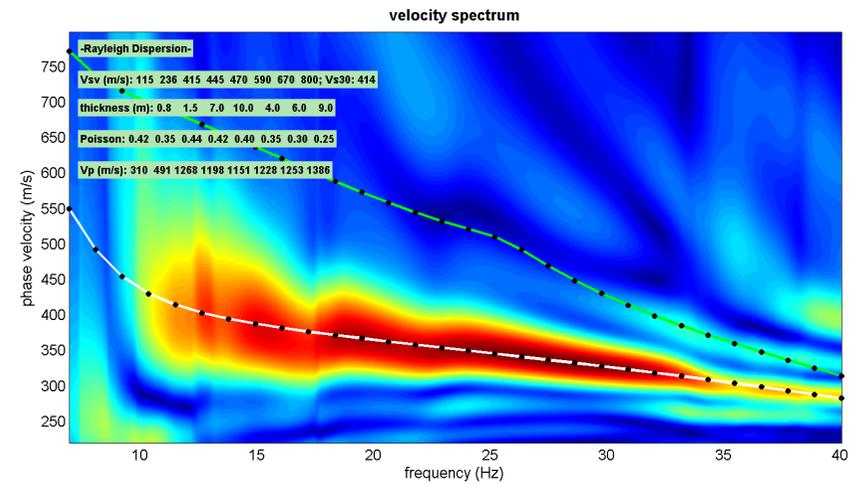
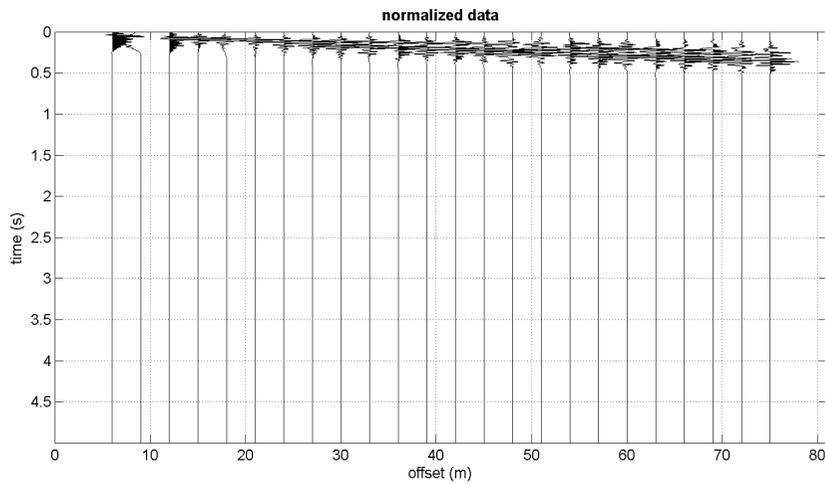
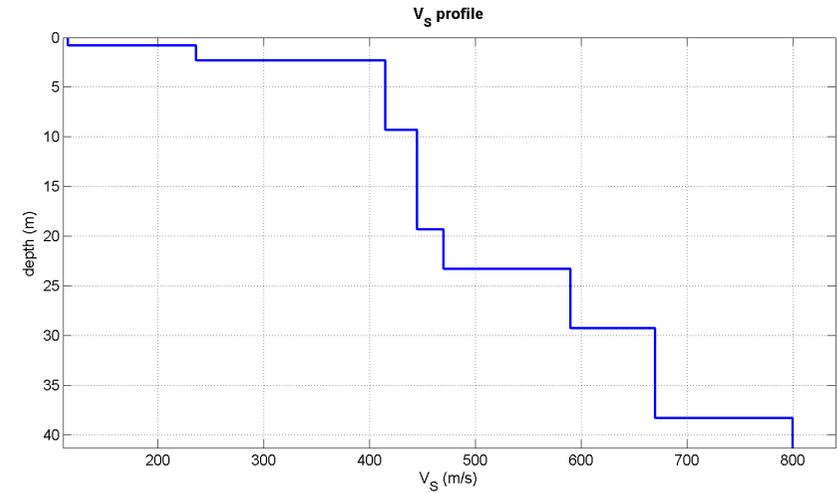


Figura 18: Interpretazione prova MASW con software Winmasw 3C ©



Dall'analisi dello spettro della prova HVSR riportato in figura 17, si evidenzia come alle frequenze di interesse litologico sono presenti due probabili picchi le cui verifiche ai criteri SESAME hanno fornito 7 ok su 9, tali da non poterli considerare dal punto di vista statistico come picchi di risonanza litologica, ma bensì come presunti picchi di risonanza.

Gli schemi di seguito riportati mostrano gli esiti delle verifiche ai criteri SESAME per i presunti picchi di risonanza appena citati:

In the following the results considering the data in the 7.0-19.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): **11.1** (± 2.0)

Peak HVSR value: 1.5 (± 0.1)

=== Criteria for a reliable H/V curve ===

- #1. [$f_0 > 10/L_w$]: $5.1 > 0.5$ (OK)
- #2. [$n_c > 200$]: $9994 > 200$ (OK)
- #3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$] (OK)

=== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) ===

- #1. [exists f^- in the range [$f_0/4, f_0$] | $AH/V(f^-) < A_0/2$]: yes, at frequency 7.4Hz (OK)
- #2. [exists f^+ in the range [$f_0, 4f_0$] | $AH/V(f^+) < A_0/2$]: yes, at frequency 18.8Hz (OK)
- #3. [$A_0 > 2$]: $2.0 > 1.5$ (NO)
- #4. [$f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$]: (OK)
- #5. [$\sigma_{\text{mf}} < \epsilon(f_0)$]: $2.026 > 0.554$ (NO)
- #6. [$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$]: $0.111 < 1.58$ (OK)

In the following the results considering the data in the 20.0-30.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): **21.5** (± 1.0)

Peak HVSR value: 1.4 (± 0.2)

=== Criteria for a reliable H/V curve ===

- #1. [$f_0 > 10/L_w$]: $5.1 > 0.5$ (OK)
- #2. [$n_c > 200$]: $9994 > 200$ (OK)
- #3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$] (OK)

=== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) ===

- #1. [exists f^- in the range [$f_0/4, f_0$] | $AH/V(f^-) < A_0/2$]: (NO)
- #2. [exists f^+ in the range [$f_0, 4f_0$] | $AH/V(f^+) < A_0/2$]: yes, at frequency 25.5Hz (OK)
- #3. [$A_0 > 2$]: $1.4 < 2$ (NO)
- #4. [$f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$]: (OK)
- #5. [$\sigma_{\text{mf}} < \epsilon(f_0)$]: $0.951 > 1.073$ (OK)
- #6. [$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$]: $0.152 < 1.58$ (OK)



Dr. Geol.
Roberto Luoni

IMMOBILIARE LE SERRE DUE S.R.L.

Relazione Geologica
Piano Attuativo CdM 2_1 Via Pasubio – Cernusco sul Naviglio (MI)

Dall'osservazione dell'analisi della dispersione delle onde di superficie mostrata nella precedente figura 18, si è possibile risalire al parametro delle Vs e di conseguenza al parametro di Vs30 (a partire da quota del p.c.), valutato in:

$$Vs30 = 414\text{m/s}$$

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

Velocità (m/s)	Spessore presunto strati (m)
115	0,80
236	1,50
415	7,00
445	10,0
470	4,00
590	6,00
670	9,00
800	-

Tabella 4: Stratigrafia sismica dedotta da prova MASW

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 fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).



7. 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). Tale prescrizione è contenuta anche nello Studio geologico Comunale.

La successiva tabella 5, 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 5: Stralcio tabella Livelli di Approfondimento sismico – D.G.R. 2616/2011

Di seguito si riporta quanto elaborato.



7.1 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 della 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 “*Pericolosità Sismica Locale*” dello Studio Geologico comunale, di cui stralcio viene mostrato nella successiva figura 19, si evince come l'intera area d'indagine sia stata classificata con il seguente scenario di pericolosità **Z4a**.

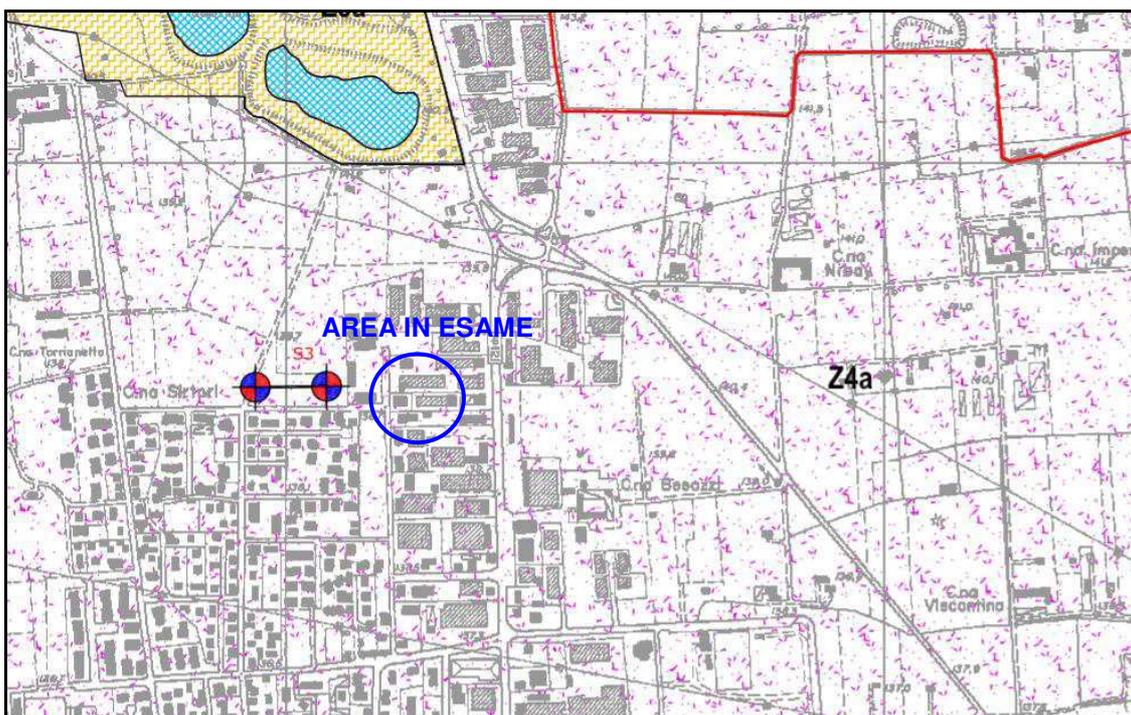


Figura 19: Stralcio Tavola 6 – Carta della Pericolosità Sismica Locale (PSL) - PGT



7.2 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 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s.

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.

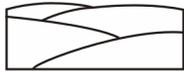
Questa limitazione è causata dall'impiego, per la messa a punto della scheda di valutazione, di codici di calcolo di tipo bidimensionale a elementi di contorno, che sono risultati più sensibili all'influenza del moto di input nell'intervallo di periodo 0.5-1.5s.

Il dato fondamentale per la valutazione del fattore di Amplificazione (F_a) è rappresentato dal valore di V_{s30} , ricavato mediante l'esecuzione della prova MASW descritta nella presente relazione.

La procedura semplificata per la valutazione degli effetti di amplificazione litologica, richiede la conoscenza dei seguenti parametri ottenuti attraverso la linea sismica eseguita con la metodologia MASW descritta in precedenza:

- ⇒ 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 è stato calcolato: la V_{s30} , il periodo T, la velocità dello strato equivalente (necessaria quando il primo strato ha spessore < 3,0 m).



Ricavato il periodo (T) dallo spessore e dalla velocità “ V_s ” del primo strato, si è proceduto alla scelta della curva più idonea necessaria per ricavare graficamente i valori di F_a per intervalli 0,1 – 0,5s e per intervalli 0,5 – 1,5s.

L’analisi effettuata, mostrata nella successiva figura 20, ha permesso di accertare che per l’area di via Pasubio 16-18/20 in comune di Cernusco sul Naviglio i fattori di amplificazione (F_a) calcolati per la categoria di suolo “B”, risultano: superiore per l’intervallo 0,5–1,5s ed inferiore per l’intervallo 0,1-0,5s. La normativa nazionale risulta quindi insufficiente a tenere in considerazione gli eventuali effetti di amplificazione morfologica e litologica del sito.

Pertanto quando il valore di F_a è superiore alla soglia, come nel caso in esame, la normativa di riferimento prevede i seguenti casi 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.

Per l’area di via Pasubio, visti i risultati emersi dall’analisi di 2° livello si è scelto di non procedere con l’analisi di 3° livello, ma bensì di utilizzare in fase di progettazione lo spettro caratteristico per la categoria di suolo “C” come stabilito dalla D.G.R. 2616 del 30/12/2011, in quanto i fattori di amplificazione risultano inferiori per entrambi gli intervalli alle soglie stabilite per la categoria di suolo C tendendo in considerazione la variabilità del risultato di +0,1.

In merito alla Categoria Topografica di cui alla Tab. 3.2.IV delle NTC, si è ritenuto di utilizzare la Categoria Topografica **T1** in quanto come riportato nel par. 2.2 della presente relazione, poiché l’area risulta interamente pianeggiante.



Dr. Geol.
Roberto Luoni

IMMOBILIARE LE SERRE DUE S.R.L.

Relazione Geologica
Piano Attuativo CdM_1 Via Pasubio – Cernusco sul Naviglio (MI)

DATI GENERALI			
NOME	Via Pasubio, 16-18/20		
COMMITTENTE	Imm. Le Serre Due s.r.l.		
DATA ELABORAZIONE	26/01/2017		
NORMATIVA	D.G.R. n.2616 del 30/12/2011		
COMUNE	CERNUSCO SUL NAVIGLIO		
SCHEDA UTILIZZATA	SCHEDA LIMOSO-SABBIOSA TIPO 2		
RISULTATO PROVA SISMICA			
Profondità [m da p.c.]	V _s [m/s]		
0,80	115		
2,30	236		
9,30	415		
19,30	445		
23,30	470		
29,30	590		
38,30	670		
44,00	800		
DATI ELABORAZIONE			
V _{s30} stimata [m/s]	414		
Periodo Proprio del Sito	0,33		
V _s Strato Eq. [m/s]	400		
Categoria iniziale	B		
Profondità stimata Vs>800m/s	44,0		
SOGLIE F _a 0.1-0.5			
B	C	D	E
1,4	1,9	2,2	2,0
SOGLIE F _a 0.5-1.5			
B	C	D	E
1,7	2,4	4,2	3,1
FATTORE DI AMPLIFICAZIONE			
	F _a Calcolato	+0,1	Esito
F _a 0,1-0,5	1,8	1,9	NORMATIVA NON SUFFICIENTE
F _a 0,5-1,5	1,3	1,4	NORMATIVA SUFFICIENTE
Spettro caratteristico da utilizzare previsto per la categoria di suolo:		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 Fa calcolati sono stati confrontati con i valori di soglia tenendo in considerazione una variabilità di +0,1 come stabilito dalla normativa vigente.</p>			

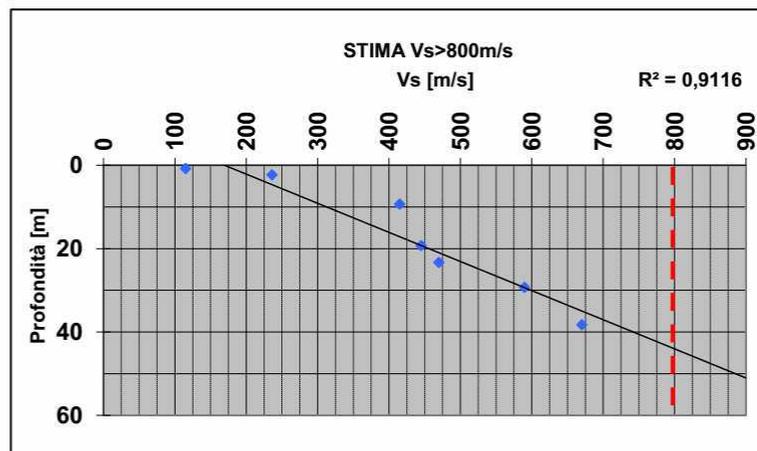
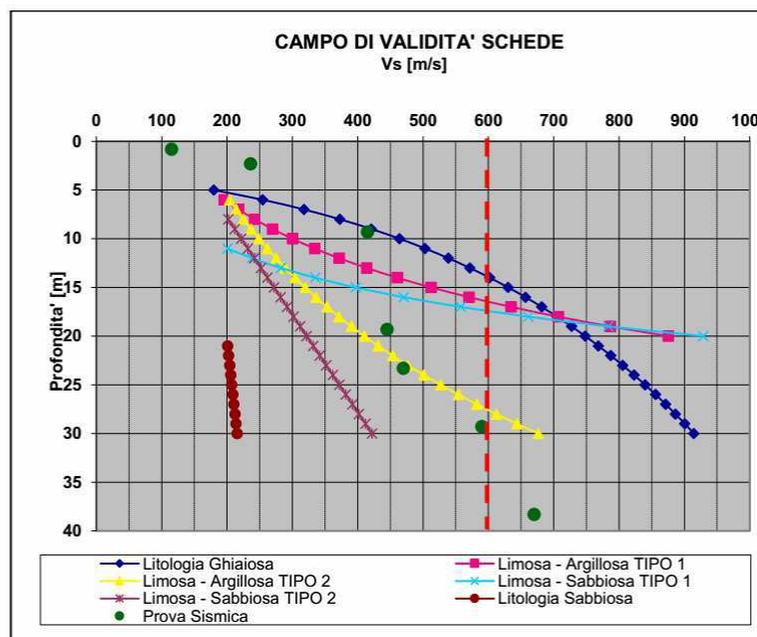


Figura 20: 2° Livello di Approfondimento Sismico - All. 5 D.G.R. 2616/2011



8. CONCLUSIONI

La presente relazione tecnica è stata volta a valutare le criticità geologiche e le caratteristiche sismiche dell'area interessata dal Piano Attuativo CdM 2_1 via Pasubio.

Nel corso dell'elaborazione dei dati è emersa la necessità di valutare l'indice di potenziale liquefazione del sito, in quanto nessun punto del paragrafo 7.11.3.4.2 delle N.T.C 2008 risultato verificato.

Tale valutazione è stata condotta con il software Liquef della società Program Geo, il quale ha permesso di valutare dalla prova sismica condotta i valori dei coefficienti CSR e CRR necessari per il calcolo del fattore di sicurezza.

Tale metodologia è risultata l'unica applicabile, in quanto tutte le prove SCPT condotte hanno raggiunto la condizione di rifiuto a profondità non sufficienti per caratterizzare il fenomeno della liquefazione dei terreni.

Pertanto dall'elaborazione condotta è stato possibile valutare un indice di potenziale liquefazione pari a 0, equivalente ad un rischio molto basso.

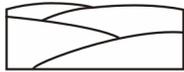
L'indagine sismica condotta (MASW), invece ha permesso di classificare il sottosuolo in esame come categoria "B" e di verificare, mediante analisi di 2° livello, che il fattore di amplificazione per l'intervallo 0,1-0,5s è superiore alla soglia limite stabilita dal Politecnico di Milano.

Lo spettro caratteristico quindi da utilizzare in fase di progettazione, è quello definito per la categoria di suolo "C" che è in grado di tenere in considerazione tutti i possibili fenomeni di amplificazione (DGR 2616 del 30/12/2011).

Si segnala la presenza di due possibili picchi di risonanza del terreno alle frequenze di 11,1 e 21,5Hz, come emerso dalla prova HVSR condotta in sito.

Le problematiche geologiche riportate nel PGT comunale per l'area in esame, riguardano esclusivamente la soggiacenza della falda e la sua fluttuazione verticale. Gli esecutivi di progetto dovranno tenere conto della soggiacenza della falda riportata nel par. 2.5.

Non si segnala infine che nell'area in esame non sono presenti altre particolari problematiche di carattere geologico all'esecuzione dell'intervento in progetto.



Dr. Geol.
Roberto Luoni

IMMOBILIARE LE SERRE DUE S.R.L.

Relazione Geologica
Piano Attuativo CdM 2_1 Via Pasubio – Cernusco sul Naviglio (MI)

ALLEGATO A

Documentazione Fotografica



Dr. Geol.
Roberto Luoni

IMMOBILIARE LE SERRE DUE S.R.L.

Relazione Geologica
Piano Attuativo CdM 2_1 Via Pasubio – Cernusco sul Naviglio (MI)



Foto 1: Strumentazione MASW



Foto 2: Stendimento prova sismica MASW



Dr. Geol.
Roberto Luoni

IMMOBILIARE LE SERRE DUE S.R.L.

Relazione Geologica
Piano Attuativo CdM 2_1 Via Pasubio – Cernusco sul Naviglio (MI)

ALLEGATO B

Modulo 9 DGR 5011/2016



DICHIARAZIONE / ASSEVERAZIONE DEL GEOLOGO
DI CONGRUITA' DEI CONTENUTI DELLA RELAZIONE GEOLOGICA AI REQUISITI RICHIESTI DAL PUNTO
6.2.1 DELLE N.T.C. DM 14/01/08 e/o DALLA D.G.R. IX 2616/2011

Il sottoscritto ... Luoni Roberto ...
iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione... Lombardia ... n. AP 866 ... incaricato in
data 17/01/17 da ... LE SERRE DUE S.r.l. ...
per conto di ...
di redigere la relazione geologica relativa al seguente intervento ...
... Intervento di riqualificazione Urbanistica - Piano Attuativo CdM 2_1 Via Pasubio - Cernusco sul Naviglio ...
...
eseguito in Comune di Cernusco sul Naviglio ... Località ...
Via ... Pasubio ... n° 16:18/20 CAP 20063 ...
Comune Catastale Cernusco sul Naviglio ... Foglio n.11..... Mappale o Particella 136:175:177

consapevole che in caso di dichiarazione mendace sarà punito ai sensi del Codice Penale secondo
quanto prescritto dall'art. 76 del succitato D.P.R. 445/2000 e che, inoltre, qualora dal controllo
effettuato emerga la non veridicità del contenuto di taluna delle dichiarazioni rese, decadranno i
benefici conseguenti al provvedimento eventualmente emanato sulla base della dichiarazione non
veritiera (art. 75 D.P.R. 445/2000),

DICHIARA

A. che la relazione geologica in oggetto è stata redatta ai sensi di:

- D.M. 14 gennaio 2008 (N.T.C. p.to 6.2.1)
 D.G.R. IX/2616 del 30 novembre 2011 e D.M. 14 gennaio 2008 (N.T.C. p.to 6.2.1)
 D.M. 14 gennaio 2008 (N.T.C. p.to 6.2.1), recependo quanto contenuto in una relazione
geologica già depositata, redatta ai sensi della D.G.R. IX/2616 del 30 novembre 2011 per il
rilascio del titolo abilitativo relativo all'intervento in questione

B. che, ai sensi dello studio geologico comunale redatto in attuazione dell'art. 57 comma 1 della L.R.
12/2005, le caratteristiche geologiche del sito di intervento sono:

1. SCENARIO DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE PSL 1 LIV - DGR IX 2616/2011 all. 5 p.to 2.1

- Z1 Instabilità dei versanti Z2a Cedimenti Z2b Liquefazione
 Z3 Amplificazione topografica Z4 Amplificazione Stratigrafica
 Z5 Comportamenti differenziali Nessuno scenario

1.1 VERIFICA SISMICA DI SECONDO LIVELLO PSL 2 LIV – DGR IX 2616/2011 all. 5 p.to 2.2

- Fattore di amplificazione sismica calcolato (FAC) > Soglia comunale (FAS)*
- Fattore di amplificazione sismica calcolato (FAC) <= Soglia comunale (FAS)*
- Analisi di secondo livello non effettuata

* tenuto conto delle tolleranze ammesse nell'Allegato 5 della D.G.R. IX/2616/2011

2. CLASSE DI FATTIBILITA' GEOLOGICA – DGR IX 2616/2011 p.to 3.1

- 1 senza particolari limitazioni
- 2 con modeste limitazioni
- 3 con consistenti limitazioni
- 4 con gravi limitazioni

2.1 TIPO DI LIMITAZIONE ALLA FATTIBILITA' GEOLOGICA – DGR IX 2616/2011 p.to 3.2

- a) Instabilità dei versanti dal punto di vista statico
- b) Vulnerabilità idrogeologica
- c) Vulnerabilità idraulica
- d) Scadenti caratteristiche geotecniche
- nessuna particolare limitazione

DICHIARA INOLTRE

- C. di aver seguito tutte le prescrizioni previsti dalle norme geologiche di piano vigenti riportate nel piano delle regole del PGT del Comune di Cernusco sul Naviglio.....
- D. di aver eseguito ai sensi degli allegati alla DGR IX/2616 del 30 novembre 2011:
- Approfondimento relativo all'instabilità dei versanti dal punto di vista statico (App1)
 - Approfondimento relativo alla vulnerabilità idrogeologica (App2)
 - Approfondimento relativo alla vulnerabilità idraulica (App3)
 - Approfondimento relativo alle scadenti caratteristiche geotecniche (App4)
 - Approfondimento relativo agli aspetti sismici (App5), la cui tipologia e grado sono dettagliatamente descritte nelle successive schede
 - Nessun particolare approfondimento
- E. di aver redatto il modello geologico del sito sulla base di:
- indagini appositamente eseguite nel sito d'interesse o nel suo immediato intorno, del tipo prove penetrometriche dinamiche tipo SCPT e stendimento MASW in onde di rayleigh
.....
.....
 - indagini pregresse, la cui estendibilità al sito d'interesse è stata adeguatamente motivata in relazione, del tipo
.....
.....

- F. di aver valutato i fenomeni di amplificazione sismica di tipo stratigrafico attraverso:
- analisi di risposta sismica locale
 - procedura semplificata basata sulla definizione della seguente categoria di sottosuolo, di cui al punto 3.2.2 delle NTC, la cui applicabilità è stata adeguatamente motivata in relazione :
 - A B C D E
 mediante la seguente tipologia d'indagine Indagine Masw e approfondimento di II livello.....
 la cui idoneità al caso specifico è stata adeguatamente motivata in relazione
- G. di aver valutato i fenomeni di amplificazione sismica di tipo topografico attraverso:
- analisi di risposta sismica locale
 - procedura semplificata basata sulla definizione della seguente categoria topografica, di cui al punto 3.2.2 delle NTC, la cui applicabilità è stata adeguatamente motivata in relazione:
 - T1 T2 T3 T4
 mediante analisi morfologica condotta su base topografica a scala ...1:10.000.....
 la cui idoneità al caso specifico è stata adeguatamente motivata in relazione
- H. di aver adeguatamente considerato la sicurezza nei confronti del fenomeno della liquefazione, mediante:
- esclusione della verifica (punto 7.11.3.4.2 NTC), opportunamente motivata in relazione
 - verifica di stabilità (punto 7.11.3.4.3 NTC) mediante la seguente metodologia
 Calcolo del potenziale di liquefazione
- I. che l'intervento previsto risulta fattibile e compatibile con l'assetto geologico del sito:
- senza esecuzione di opere e/o interventi specifici per la mitigazione del rischio
 - previa esecuzione di opere e/o accorgimenti costruttivi da eseguirsi durante i lavori relativi all'intervento in oggetto
 - previa esecuzione di specifiche opere e/o interventi per la mitigazione del rischio da eseguirsi prima dei lavori relativi all'intervento in oggetto; in relazione a questo si specifica che tali lavori:
 - non sono stati eseguiti o sono stati eseguiti solo parzialmente
 - sono stati eseguiti nel rispetto delle prescrizioni contenute nello studio specifico e con il quale risultano compatibili

ASSEVERA

ai sensi dell'art. 481 del Codice Penale la conformità di quanto eseguito ai fini della relazione in oggetto alla normativa nazionale e regionale vigente e la piena osservanza della relazione alle norme sismiche vigenti.

Dichiara infine di essere informato, ai sensi e per gli effetti di cui all'art. 10 della legge 675/96 che i dati personali raccolti saranno trattati, anche con strumenti informatici, esclusivamente nell'ambito del procedimento per il quale la presente dichiarazione viene resa.

Data22/03/2017.....


 (timbro e firma)

MODULO 9: Approfondimento 5 relativo agli aspetti sismici (App5) – INSTABILITA'

Nel caso di scenari PSL di tipo Z1a, Z1b e Z1c (Tabella 1 p.to 2.1 Allegato 5 D.G.R. IX/2616) per tipologia di frane in terra

	1° grado	2° grado	3° grado
Conoscenze minime obbligatorie al 1° grado di approfondimento	<input type="checkbox"/> Modello geologico del sito <input type="checkbox"/> Classificazione USCS dei materiali <input type="checkbox"/> Modello geotecnico del sito		
Verifiche e modellazioni al 1° grado di approfondimento	<input type="checkbox"/> Analisi all'equilibrio limite in condizioni statiche (FS) e pseudo-statiche (FS _{PS})		
Risultati al 1° grado di approfondimento	<input type="checkbox"/> FS _{PS} ≥ 1.3 Fine approfondimento SITO STABILE	<input type="checkbox"/> 1.1 ≤ FS _{PS} < 1.3 Obbligo del 2° grado di approfondimento	<input type="checkbox"/> FS _{PS} < 1.1 Obbligo del 3° grado di approfondimento
Indagini integrative minime obbligatorie al 2° grado di approfondimento		<input type="checkbox"/> Prove in sito per determinazione indiretta dei parametri di resistenza	
Verifiche e modellazioni al 2° grado di approfondimento		<input type="checkbox"/> Stima dello spostamento atteso mediante relazioni empiriche disponibili in letteratura opportunamente scelte e motivate	
Risultati al 2° grado di approfondimento		<input type="checkbox"/> Spostamento ≤ 2 cm Fine approfondimento SITO STABILE	<input type="checkbox"/> Spostamento > 2 cm Obbligo del 3° grado di approfondimento
Indagini integrative minime obbligatorie al 3° grado di approfondimento			<input type="checkbox"/> Rilievo topografico di dettaglio <input type="checkbox"/> Indagine di sismica rifrazione <input type="checkbox"/> Indagini in sito di tipo diretto tramite sondaggio/i a carotaggio continuo <input type="checkbox"/> Prove in foro <input type="checkbox"/> Prove di laboratorio su campioni indisturbati
Verifiche e modellazioni al 3° grado di approfondimento			<input type="checkbox"/> Analisi dinamiche semplificate (metodo degli spostamenti)
Risultati al 3° grado di approfondimento			<input type="checkbox"/> Spostamento ≤ 5 cm Fine approfondimento SITO STABILE <input type="checkbox"/> Spostamento > 5 e ≤ 15 cm Verifica DI AMMISSIBILITA' DELLO SPOSTAMENTO <input type="checkbox"/> Spostamento > 15 cm OPERE DI SISTEMAZIONE E MITIGAZIONE DEL RISCHIO
<input type="checkbox"/> Eventuali verifiche di stabilità con metodi avanzati di analisi dinamica (da non intendere come sostitutivi dei metodi precedenti)			

MODULO 9: Approfondimento 5 relativo agli aspetti sismici (App5) – AMPLIFICAZIONE

Nel caso di scenari PSL di tipo Z3, Z4 e relativi sottotipi (Tabella 1 p.to 2.1 Allegato 5 D.G.R. IX/2616), qualora l'analisi sismica di II° livello non fosse stata eseguita nel sito d'indagine, sebbene obbligatoria, o fosse stata eseguita ma il fattore di amplificazione sismica calcolato (FAC) risulti maggiore del valore di soglia comunale (FAS), *previo specifica tolleranza ammessa dalla normativa regionale (Allegato 5 D.G.R. IX/2616); tali approfondimenti saranno da prevedere anche nel caso dello scenario PSL di tipo Z5 (Tabella 1 p.to 2.1 Allegato 5 D.G.R. IX/2616)

	1° grado	2° grado	3° grado
Conoscenze minime obbligatorie al 1° grado di approfondimento	<input checked="" type="checkbox"/> Modello sismo-stratigrafico del sito		
Verifiche e modellazioni al 1° grado di approfondimento	<input checked="" type="checkbox"/> Analisi di II° livello ai sensi dell'Allegato 5 DGR IX/2616 applicata al sito oggetto di intervento, previa verifica dei requisiti di applicabilità, ovvero: 1- Assenza di fenomeni 2D legati alla risonanza di bacino 2- Assenza di inversioni di velocità significative 3- Contrasti di impedenza sismica < 3 4- Valori di $V_{SH} > 250$ m/s		
Risultati al 1° grado di approfondimento	<input type="checkbox"/> $FAC \leq FAS^*$ Fine approfondimento Compatibilità energetica del metodo semplificato proposto dalle NTC con i fenomeni attesi al sito: utilizzo della Cat. Sottosuolo corrispondente al V_{S30} misurato <input type="checkbox"/> $FAC > FAS^*$ Fine approfondimento Non compatibilità energetica del metodo semplificato proposto dalle NTC con i fenomeni attesi al sito: utilizzo della Cat. Sottosuolo superiore a quella corrispondente al V_{S30} misurato	<input checked="" type="checkbox"/> $FAC > FAS^*$ Nel caso non siano disponibili schede di II° livello valide per la situazione investigata o nel caso si voglia aumentare il grado di accuratezza delle previsioni 2° grado di approfondimento	<input type="checkbox"/> Non applicabilità dell'analisi di II° livello Obbligo del 3° grado di approfondimento Oppure nel caso <input type="checkbox"/> $FAC > FAS^*$ e nel caso si scelga di NON utilizzare la Categoria di Sottosuolo superiore a quella corrispondente al V_{S30} misurato 3° grado di approfondimento
Indagini integrative minime obbligatorie al 2° grado di approfondimento		<input checked="" type="checkbox"/> Indagine sismica di tipo MASW e/o rifrazione onde SH	
Verifiche e modellazioni al 2° grado di approfondimento		<input checked="" type="checkbox"/> Verifica ed integrazione del modello geofisico del sottosuolo e analisi numeriche, utilizzando gli accelerogrammi di input regionali e calcolo di FAC	
Risultati al 2° grado di approfondimento		<input type="checkbox"/> $FAC \leq FAS^*$ Fine approfondimento Compatibilità energetica del metodo semplificato proposto dalle NTC con i fenomeni attesi al sito: utilizzo della Cat. Sottosuolo corrispondente al V_{S30} misurato <input checked="" type="checkbox"/> $FAC > FAS^*$ Fine approfondimento Non compatibilità energetica del metodo semplificato proposto dalle NTC con i fenomeni attesi al sito: utilizzo della Cat. Sottosuolo superiore a quella corrispondente al V_{S30} misurato	Nel caso <input type="checkbox"/> $FAC > FAS^*$ e nel caso si scelga di NON utilizzare la Categoria di Sottosuolo superiore a quella corrispondente al V_{S30} misurato 3° grado di approfondimento
Indagini integrative minime obbligatorie al 3° grado di approfondimento			<input type="checkbox"/> Indagine di sismica superficiale combinata con più tecniche, compreso ARRAY2D con velocimetri ad acquisizione sincrona nei casi di substrato rigido posto a profondità maggiori di 20-30 m
Verifiche e modellazioni al 3° grado di approfondimento			<input type="checkbox"/> Analisi di risposta sismica locale con sets accelerometrici di input opportunamente selezionati (almeno due gruppi ciascuno da 7 accelerogrammi per SLV e SLD)
Risultati al 3° grado di approfondimento			<input type="checkbox"/> Spettri di risposta elastici e/o accelerogrammi calcolati al piano di fondazione Fine approfondimento

MODULO 9: Approfondimento 5 relativo agli aspetti sismici (App5) – LIQUEFAZIONE

Nel caso di scenari PSL di tipo Z2b (Tabella 1 p.to 2.1 Allegato 5 D.G.R. IX/2616) soggetti a fenomeni di liquefazione

	1° grado	2° grado	3° grado
Conoscenze minime obbligatorie al 1° grado di approfondimento	<input checked="" type="checkbox"/> Valore di Magnitudo massima attesa <input checked="" type="checkbox"/> Valore di a_{max} in superficie <input checked="" type="checkbox"/> Soggiacenza della falda <input checked="" type="checkbox"/> Curva granulometrica e valori di resistenza penetrometrica normalizzata negli orizzonti non coesivi saturi presenti entro il volume significativo di sottosuolo		
Verifiche e modellazioni al 1° grado di approfondimento	<input checked="" type="checkbox"/> Valutazione dei requisiti per l'esclusione della verifica di sicurezza alla liquefazione		
Risultati al 1° grado di approfondimento	<input type="checkbox"/> Assenza dei fattori scatenanti e/o predisponenti Fine approfondimento SITO STABILE	<input checked="" type="checkbox"/> Presenza dei fattori scatenanti e predisponenti Obbligo del 2° grado di approfondimento	
Indagini integrative minime obbligatorie al 2° grado di approfondimento		<input checked="" type="checkbox"/> Prove in sito per la determinazione indiretta del parametro di resistenza ciclica CRR <input type="checkbox"/> Determinazione sperimentale della frazione di fine FC alle profondità di analisi	
Verifiche e modellazioni al 2° grado di approfondimento		<input checked="" type="checkbox"/> Stima del coefficiente di sicurezza alla liquefazione (FL) tramite applicazione puntuale di metodi storico-empirici ad almeno 3 diverse profondità ritenute significative	
Risultati al 2° grado di approfondimento		<input checked="" type="checkbox"/> $FL \geq 1.0$ (per tutti i punti d'analisi) Fine approfondimento SITO STABILE	<input type="checkbox"/> $FL < 1.0$ (per almeno un punto d'analisi) Obbligo del 3° grado di approfondimento
Indagini integrative minime obbligatorie al 3° grado di approfondimento			<input type="checkbox"/> Prove penetrometriche statiche con punta elettrica (CPTe) o piezocono (CPTu)
Verifiche e modellazioni al 3° grado di approfondimento			<input type="checkbox"/> Stima dell'andamento del coefficiente di sicurezza alla liquefazione con la profondità tramite applicazione di metodi storico-empirici e calcolo del potenziale di liquefazione I_L valido per una profondità critica almeno pari al volume significativo di sottosuolo
Risultati al 3° grado di approfondimento			<input type="checkbox"/> $I_L \leq 2.0$ Fine approfondimento SITO STABILE <input type="checkbox"/> $2.0 < I_L \leq 5.0$ Verifica DI AMMISSIBILITA' DEL CEDIMENTO ATTESO STIMATO <input type="checkbox"/> $I_L > 5.0$ OPERE DI SISTEMAZIONE E MITIGAZIONE DEL RISCHIO
<input type="checkbox"/> Eventuali verifiche di sicurezza con metodi avanzati di analisi dinamica (da non intendere come sostitutivi dei metodi precedenti)			