

# CONSORZIO CEVEDALE - BASSANO

con sede in

Piazza Giacomo Matteotti n. 8, Cernusco sul Naviglio (MI)

Città di Cernusco sul Naviglio

Provincia di Milano

PIANO ATTUATIVO

m1\_3 Via Cevedale, Cernusco sul Naviglio

E30

Relazione geologica e geotecnica - edificio pubblico



## Ubistudio srl

Via Paullo, 4-20135 Milano

02.5456591 / 819

info@ubistudio.it - www.ubistudio.it

Arch. Alessandro Ali - *Responsabile di progetto*

Arch. Danilo Ercoli e Arch. Maddalena Lama

## Consulenti

Studio Latis architetti - *progetto architettonico edificio pubblico*

L&S Studio Tecnico S.r.l. - *computi, progetto strutture / impianti / sottoservizi*

Ing. Bruno Cabbizzosu - *progettazione impianti elettrici*

Ing. Alessandro Marzi - *acustica edificio pubblico*

Arch. Walter Torriani - *prevenzione incendi edificio pubblico*

Dott. Geol. Marco Parmigiani - *progetto di invarianza idraulica e idrologica /*

*relazione geologica e geotecnica edificio pubblico*

Geom. Marco Perego - *rilievo e catasto*

Ing. Francesca Sirtori - *studio di mobilità*

Ing. Sebastiano Gatto - *valutazione previsionale clima acustico*

Dott. Forestale Enrico Pozzi - *impianto di irrigazione*

**PIANO ATTUATIVO**  
**m1\_3 Via Cavedale, Cernusco sul Naviglio sul Naviglio**

**- EDIFICIO PUBBLICO-**

**RELAZIONE GEOLOGICA ai sensi della DGR 2616/2011 (R3)**

**RELAZIONE GEOLOGICA ai sensi delle NTC D.M. 17/01/2018 (R1)**

**RELAZIONE GEOTECNICA ai sensi delle NTC D.M. 17/01/2018 (R2)**

**Sommario**

<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>3</b>
<b>2. RELAZIONE GEOLOGICA (DGR 2616/2011 ED NTC 17/01/2018).....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 UBICAZIONE DELL'AREA DI INTERESSE E CONTESTO GEOMORFOLOGICO.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO.....</b>	<b>5</b>
<b>2.3 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO.....</b>	<b>7</b>
<b>2.4 INQUADRAMENTO SISMICO.....</b>	<b>8</b>
<b>2.5 RAFFRONTO CON LA CARTA DELLA FATTIBILITÀ GEOLOGICA E NORME GEOLOGICHE DI PIANO ..</b>	<b>10</b>
<b>3. RELAZIONE GEOTECNICA (NTC 17/01/2018).....</b>	<b>12</b>
<b>3.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO.....</b>	<b>12</b>
3.1.1 <i>Prove penetrometriche dinamiche continue.....</i>	<i>12</i>
3.1.2 <i>Sondaggi a carotaggio continuo.....</i>	<i>13</i>
3.1.3 <i>Prospezione geofisica MASW.....</i>	<i>14</i>
3.1.4 <i>Prova geofisica HVSR.....</i>	<i>16</i>
<b>3.2 MODELLO GEOTECNICO.....</b>	<b>18</b>
<b>3.3 CARATTERIZZAZIONE SISMICA SITO SPECIFICA.....</b>	<b>20</b>
3.3.1 <i>Analisi numerica di Risposta Simica Locale (RSL).....</i>	<i>20</i>
3.3.2 <i>Frequenze fondamentali di risonanza del sito.....</i>	<i>29</i>
3.3.3 <i>Verifica alla stabilità nei confronti della liquefazione.....</i>	<i>29</i>
<b>3.4 VERIFICHE DI SICUREZZA DEI TERRENI DI FONDAZIONE.....</b>	<b>30</b>
3.4.1 <i>Resistenza agli stati limite ultimi (SLU).....</i>	<i>30</i>
3.4.2 <i>Verifica agli Stati Limite di Esercizio (SLE) – Cedimenti.....</i>	<i>31</i>
3.4.3 <i>Costante di Winkler.....</i>	<i>33</i>
<b>4. CONCLUSIONI.....</b>	<b>34</b>

**Allegati:**

- AII. 1** Ubicazione delle indagini in sito e sezione geognostica – scala 1:250/200
- AII. 2** Grafici delle prove penetrometriche dinamiche (Scpt)
- AII. 3** Stratigrafia dei sondaggi
- AII. 4** Riferimenti tecnici per la caratterizzazione geotecnica dei terreni e le verifiche di sicurezza per fondazioni dirette
- AII. 5** Interpretazione delle prove penetrometriche dinamiche (Scpt)
- AII. 6** Interpretazione e risultati della prova geofisica MASW
- AII. 7** Interpretazione e risultati della prova geofisica HVSR
- AII. 8** Spettri di risposta elastici calcolati con analisi 1D di RSL
- AII. 9** Resistenze dei terreni di fondazione agli SLU
- AII. 10** Valutazione dei cedimenti in terreni incoerenti dai valori di  $N_{SPT}$  (SLE)

## 1. PREMESSA

La presente documentazione geologica e geotecnica costituisce in modo "accorpato" le relazioni previste dalla D.G.R. 5001/2016, che in particolare sono così identificate:

- **RELAZIONE GEOLOGICA ai sensi della DGR 2616/2011 (R3)**  
(conforme all' Allegato B della D.G.R. IX/2016 del 30/11/2011)
- **RELAZIONE GEOLOGICA ai sensi delle NTC D.M. 17/01/2018 (R1)**  
(conforme ai paragrafi 6.1.2 e 6.2.1 delle N.T.C. 2018)
- **RELAZIONE GEOTECNICA ai sensi delle NTC D.M. 17/01/2018 (R2)**  
(conforme ai paragrafi 6.1.2 e 6.2.2 delle N.T.C. 2018)

La documentazione riguarda la realizzazione di un nuovo edificio, da adibirsi acentro polifunzionale ad uso pubblico, nell'ambito di un più ampio progetto di interventi compresi nel Piano Attuativo "m1\_3 Via Cevedale", in Comune di Cernusco sul Naviglio.

L'edificio in progetto è definibile come "opera rilevante" ai sensi del D.D.U.O. 22/05/2019 n. 7237.

Allo scopo di acquisire i parametri geotecnici dei terreni di fondazione, si è ritenuto di impostare un'indagine geognostica mediante l'esecuzione di n. 3 prove penetrometriche dinamiche continue (**Scpt 1÷3**) e una prova sismica tipo **MASW** in corrispondenza dell'area verrà occupata dal nuovo edificio.

Infine, è stata effettuata una misura puntuale **HVSR**, per la determinazione della frequenza di risonanza dei terreni di fondazione in sito.

Per la verifica della natura litologica dei terreni e la stima della permeabilità (necessaria per il dimensionamento delle opere di invarianza idraulica ed idrologica) sono stati inoltre eseguiti n. 2 sondaggi a carotaggio continuo, ubicati ai due estremi dell'area del Piano Attuativo.

Sulla base dei risultati delle indagini si è ricostruito il modello geotecnico e sismico di progetto e sono state verificate le condizioni di resistenza agli stati limite (SLU e SLE) dei terreni di fondazione.

Inoltre, a conclusione della relazione sono state fornite le indicazioni sulle più opportune soluzioni geologico-tecniche per realizzare l'intervento, garantendo i necessari presupposti di sicurezza previsti dalla normativa.

## 2. RELAZIONE GEOLOGICA (DGR 2616/2011 ed NTC 17/01/2018)

### 2.1 Ubicazione dell'area di interesse e contesto geomorfologico

L'area d'indagine si colloca nel Comune di Cernusco sul Naviglio, presso Via Cevedale e Via Bassano.

L'immagine seguente tratta da una recente foto aerea di Google Earth riporta l'ubicazione dell'area di indagine.



Il territorio comunale di Cernusco sul Naviglio appartiene al settore geomorfologico dell'alta pianura lombarda, caratterizzato da una morfologia subpianeggiante, con quote topografiche che degradano debolmente verso sud, influenzata dai processi quaternari di deposizione fluviale e fluvioglaciale.

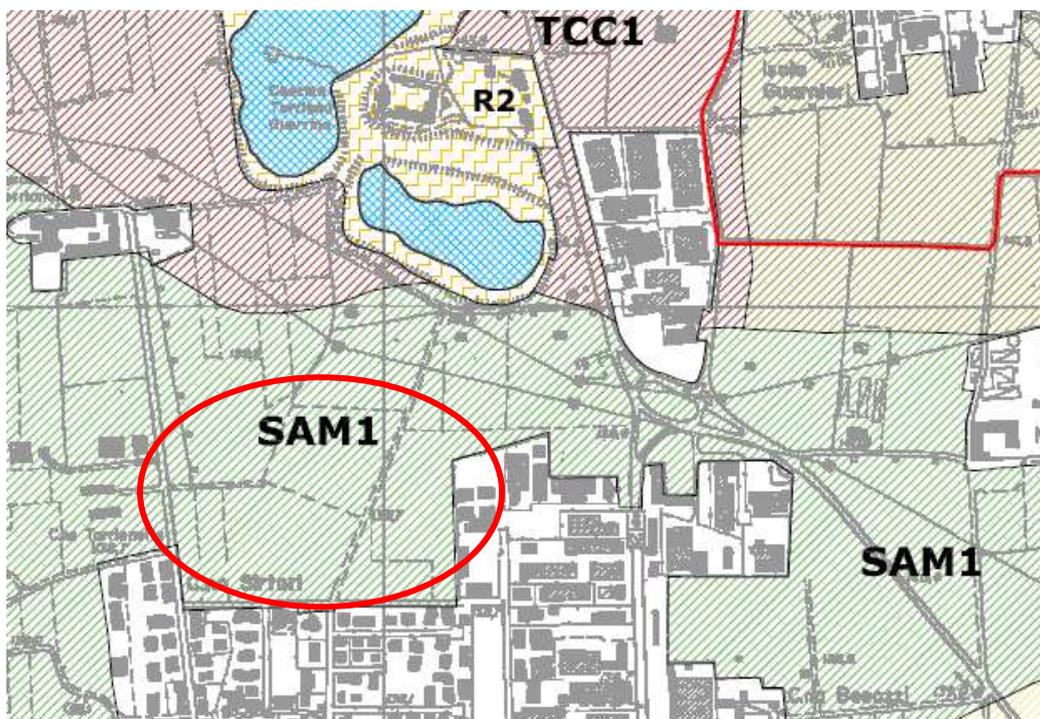
In quest'area dell'alta pianura, gli unici elementi morfologici che interrompono la continuità della piana sono le depressioni antropiche delle cave attive e dismesse di ghiaia e sabbia con coltivazione sia a secco che in falda.

In dettaglio, l'area del Piano Attuativo è situata su un'ampia superficie pianeggiante a una quota di circa 138 - 140 m s.l.m., nella porzione settentrionale del territorio comunale.

## 2.2 Inquadramento geologico e idrogeologico

I caratteri geologici dell'area del Piano Attuativo sono riconducibili alla presenza di depositi fluvioglaciali e fluviali, derivanti dall'attività deposizionale degli scaricatori glaciali degli anfiteatri morenici. Si tratta di ghiaie e sabbie alternate che costituiscono il "Livello Fondamentale della Pianura Padana".

Le informazioni lito-stratigrafiche sono state desunte dall'analisi della tavola *Carta litologica, pedologica e dell'uso del suolo*, contenuta nella componente geologica del P.G.T., dove si osserva che l'area di interesse, posta in territorio pianeggiante, è costituita prevalentemente da ghiaie e sabbie fluvioglaciali.



**Litologia:**

Depositi fluvioglaciali di età Würmiana-Rissiana,  
Unità litologica G1 P N4 - ghiaie ben gradate con sabbia.

**Morfologia del paesaggio:**

Superficie rappresentativa dell'alta pianura ghiaiosa a morfologia subpianeggiante e con evidenti tracce di paleoidrografia a canali intrecciati, con quota media di 179 m. s.l.m. e pendenza media del 0,3%, con substrati sabbiosi limosi con ghiaia, calcarei.



**Estratto della tavola della componente geologica del PGT**  
***Carta litologica, pedologica e dell'uso del suolo***

Nell'area si riscontrano litologie fluvioglaciali quali ghiaie grossolane in matrice sabbiosa e ghiaie e sabbie, ascrivibili all'**Unità di Minoprio delSupersintema di Besnate** (Pleistocene medio-superiore) come indicato nel foglio n. 118 Milano della Carta Geologica d'Italia.

Dai dati ottenuti dalle prove geognostiche effettuate sull'area, confermati anche

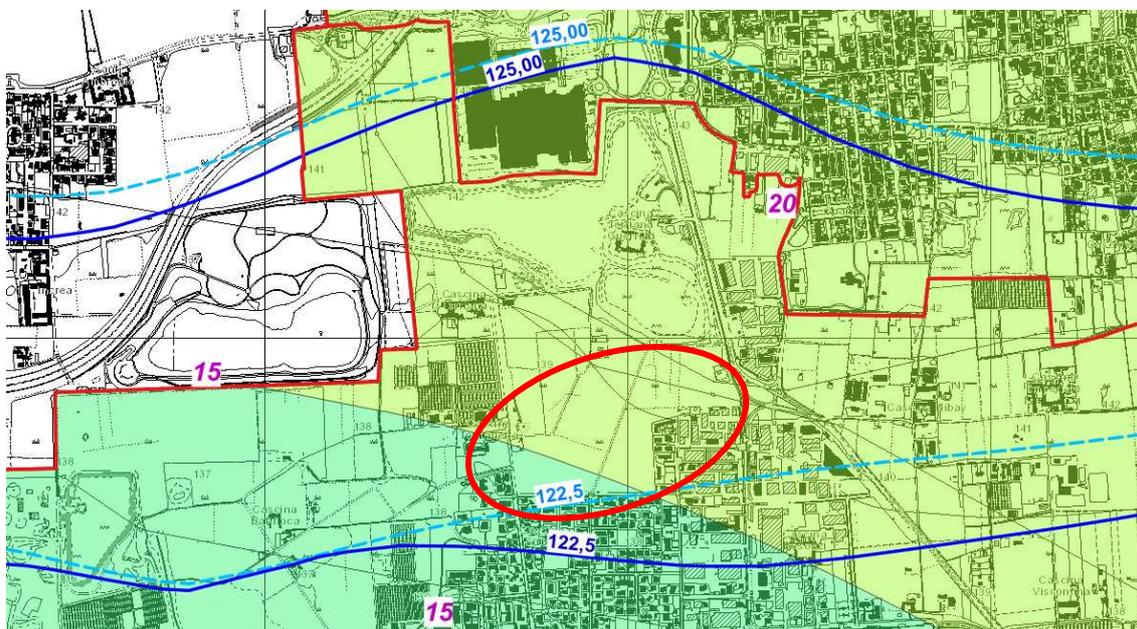
da studi pregressi), si rileva la presenza di due diversi strati di terreno i cui rapporti stratigrafici, dalla superficie in profondità, sono i seguenti:

- A. Limi sabbiosi con ghiaia e qualche ciottolo, presenti da p.c. fino a mediamente 1,5 m di profondità.
- B. Sabbie e ghiaie con ciottoli, presenti oltre 1,5 m da p.c., che costituiscono i depositi fluvio-glaciali del Supersistema di Besnate.

Le caratteristiche idrogeologiche del territorio comunale di Cernusco sul Naviglio sul Naviglio sono riferibili essenzialmente ad acquiferi sviluppati nelle formazioni geologiche quaternarie che raccolgono gli apporti idrici provenienti da monte e dall'infiltrazione delle acque meteoriche nelle unità maggiormente permeabili.

La morfologia della superficie piezometrica indica che nell'area in esame le direzioni del flusso idrico sotterraneo hanno orientazione generale NE-SW. La soggiacenza della falda idrica, nell'area soggetta all'intervento, è compresa tra i 13-15 metri dal piano campagna, così come rappresentato nella *Carta idrogeologica* del P.G.T.

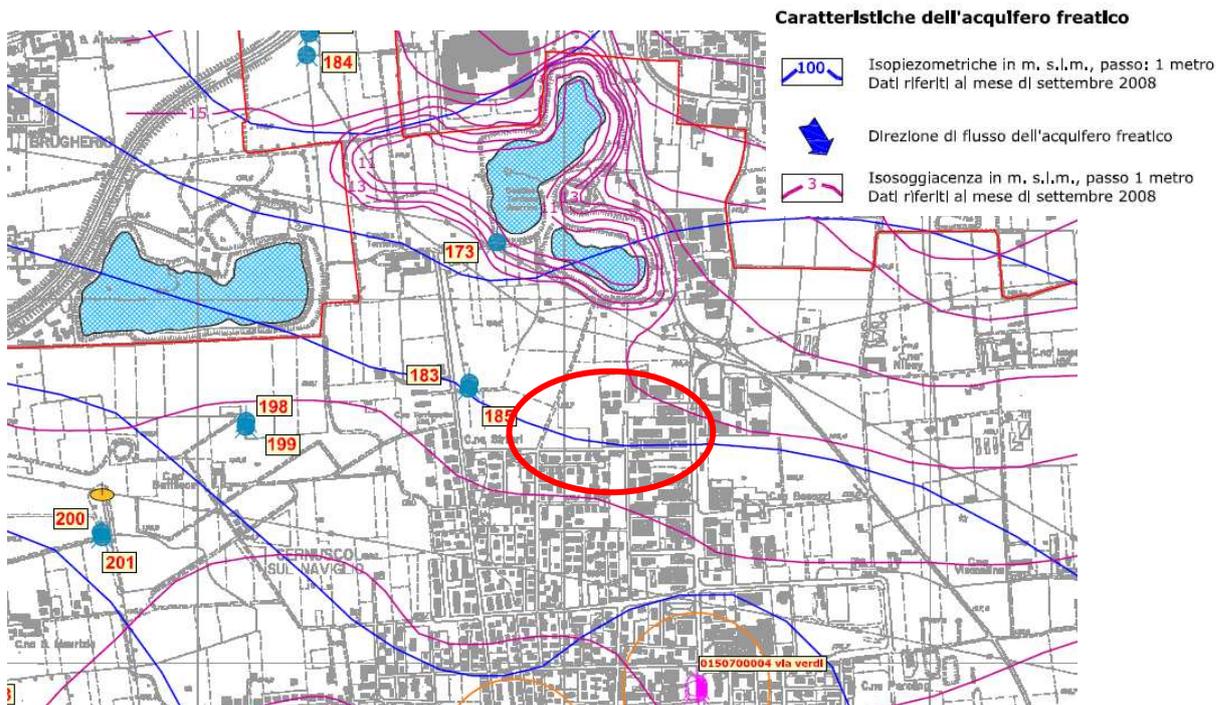
I più recenti dati della Città Metropolitana di Milano (Piezometria e Soggiacenza indicativa della Prima Falda nel territorio della Città metropolitana di Milano. Marzo e settembre 2022) indicano per l'area di interesse una soggiacenza compresa tra 15 e 20 m da p.c.



**Elaborazione dati di Città Metropolitana di Milano  
Piezometria e Soggiacenza indicativa della Prima Falda nel territorio della Città  
metropolitana di Milano. Marzo e settembre 2022**

Gli interventi previsti sull'area di interesse sono pertanto privi di qualsiasi relazione con la falda idrica sotterranea.

La classe di vulnerabilità dell'acquifero freatico, omogenea per l'intero territorio comunale, risulta essere *media* a causa di una soggiacenza di falda sempre inferiore ai 18 m da p.c., con suoli da profondi a mediamente profondi, substrato litoide a supporto di matrice da sabbiosa-ghiaiosa a ciottolosa e con valori di permeabilità elevata.

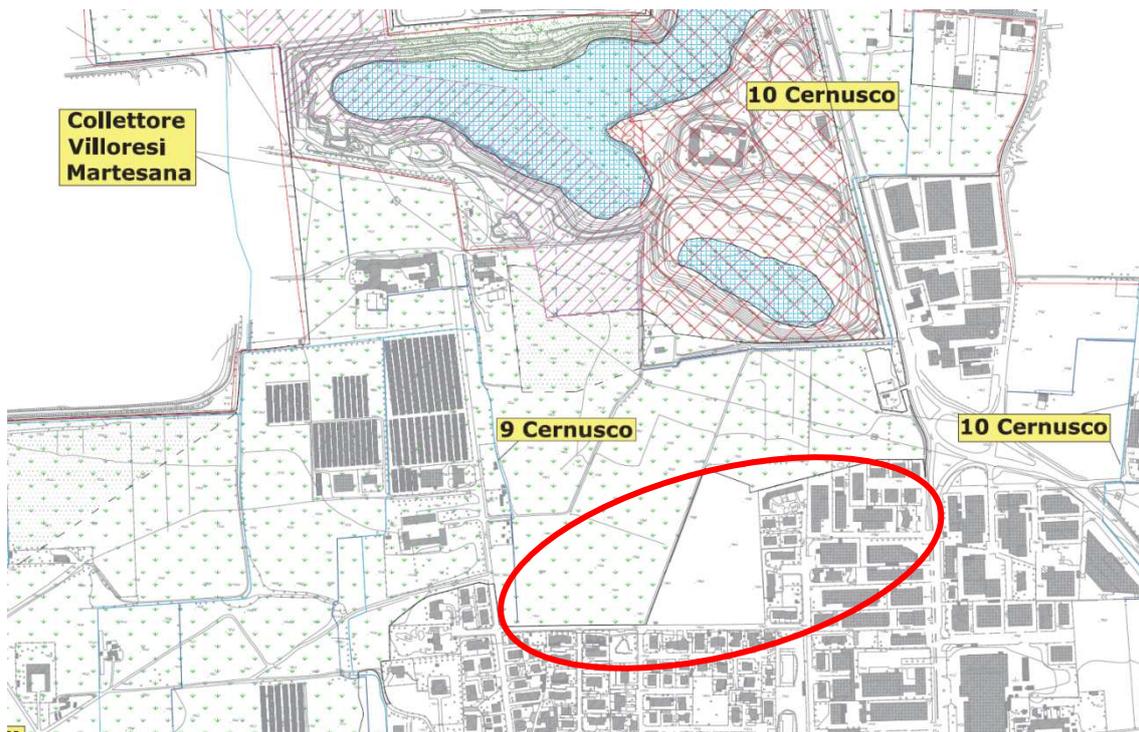


Estratto della tavola della componente geologica del PGT  
*Carta idrogeologica*

### 2.3 Inquadramento idrografico

Nel territorio comunale di Cernusco sul Naviglio non sono presenti corsi d'acqua di origine naturale, quali fiumi e torrenti, ma canalizzazioni artificiali che si diramano del Canale Villoresi, verso il Naviglio Martesana, con finalità esclusivamente di tipo irriguo, e di un fontanile.

L'area di interesse è posta a valle di due canali irrigui appartenenti al reticolo di bonifica gestito dal Consorzio Est – Ticino Villoresi, senza avere alcuna interazione con essi.

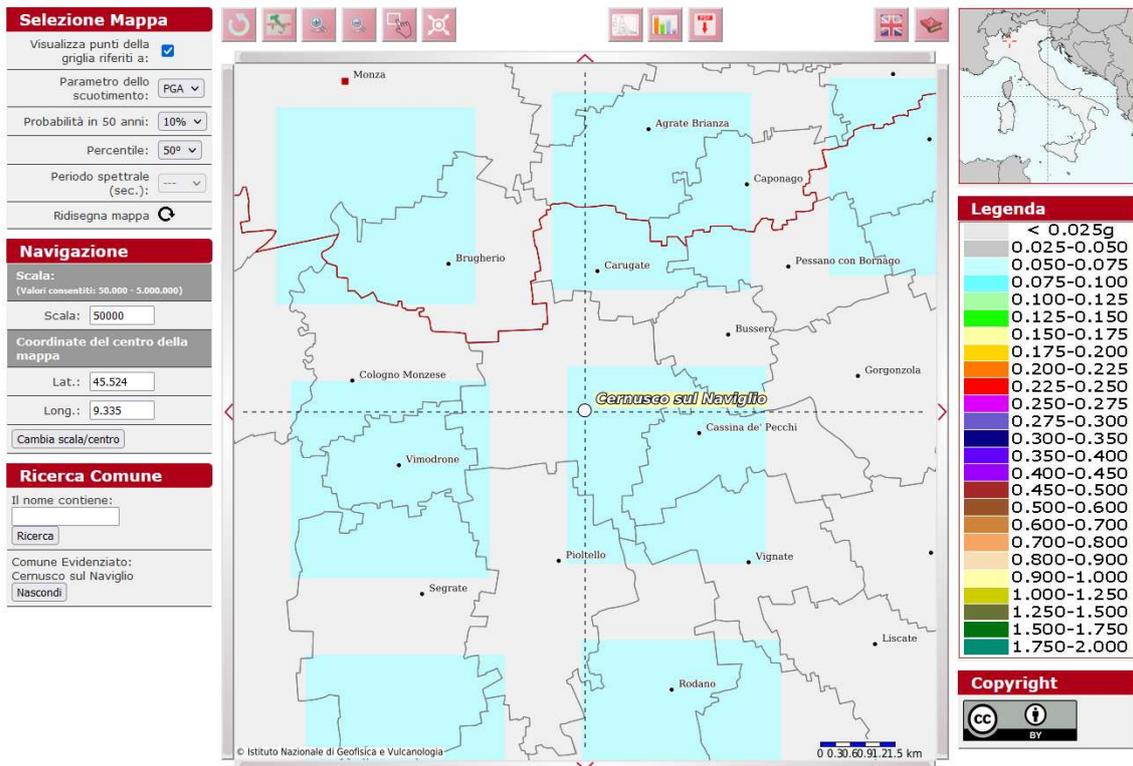


Estratto della tavola della componente geologica del PGT  
Carta geomorfologica ambientale e del reticolo idrografico

#### 2.4 Inquadramento sismico

Secondo la normativa nazionale che detta i criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche ed in base alla classificazione attualmente vigente in Regione Lombardia (D.G.R. 2129/2014), **l'intero territorio comunale di Cernusco sul Naviglio classificato in Zona Sismica 3 con ag max pari a 0,063074.**

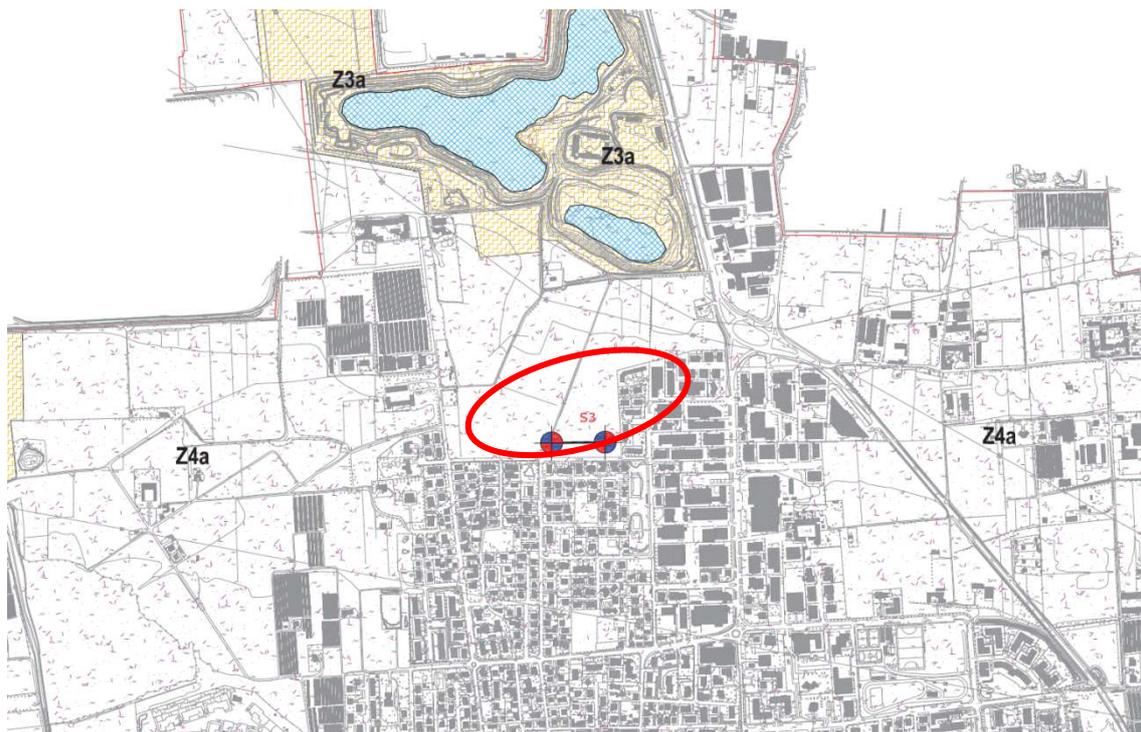
Con riferimento al D.M. 17/01/08 "Norme tecniche per le costruzioni" la sismicità di base dell'area in esame è definibile in funzione del valore assunto dall'accelerazione massima attesa su suolo rigido per eventi con tempo di ritorno di 475 anni e probabilità di superamento del 10% in 50 anni, in corrispondenza dei nodi del reticolo di riferimento nazionale (Mappa interattiva di pericolosità sismica dell'INGV). La figura seguente mostra lo stralcio del reticolo di riferimento nazionale relativo all'area in esame.



Nella componente geologica del PGT è stata effettuata sia l'analisi di primo livello che ha portato all'individuazione sull'intero territorio comunale di aree omogenee per ambiti di pericolosità sismica, sia quella di secondo livello, che fornisce la stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di Amplificazione (Fa), come da normativa regionale.

L'area di interesse ricade in un **ambito di pericolosità sismica locale Z4a** (vedi estratto seguente), definito come *zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi*, soggetto a potenziali effetti di amplificazione litologica.

L'analisi di secondo livello ha evidenziato per l'intero territorio comunale un Fa uguale o superiore al valore di soglia di normativa, quindi la stessa è da considerarsi insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica.



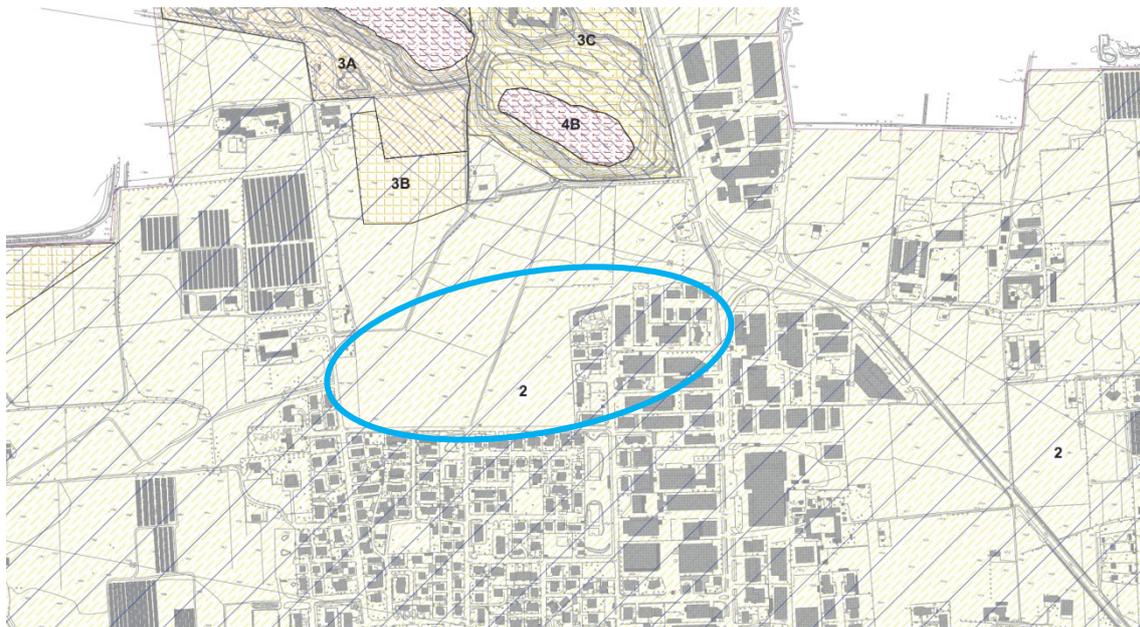
**Classe Z4a:**  
**Z4a** Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi

**Estratto della tavola della componente geologica del PGT  
Carta della pericolosità sismica locale**

## **2.5 Raffronto con la carta della fattibilità geologica e norme geologiche di piano**

Dall'analisi cartografica della componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT di Cernusco sul Naviglio, si osserva che l'area di interesse progettuale è azionata in classe 2 di fattibilità geologica (vedi estratto seguente).

Nello specifico si tratta di aree caratterizzate da vulnerabilità intrinseca dell'acquifero freatico media, con soggiacenza di falda compresa tra i 6 e i 18 m, con presenza di terreni granulari sabbioso ghiaiosi con permeabilità elevata.



<b>SOTTOCLASSE 2 - Fattibilità con modeste limitazioni</b>
<b>2</b>

**Estratto della tavola della componente geologica del PGT  
Carta di fattibilità geologica per le azioni di piano  
(Luoni, Luglio 2020)**

Le norme geologiche di piano ammettono tutti i tipi di azione edificatoria, vincolata al rispetto della salvaguardia della falda idrica. I progetti dovranno essere corredati da un'indagine geognostica commisurata alla tipologia e all'entità dell'intervento in ottemperanza alle NTC.

La normativa sismica prevede che gli edifici strategici o rilevanti ricadenti nell'elenco tipologico di cui D.D.U.O. 22/05/2019 n. 7237 andranno previsti approfondimenti di 3° livello o l'utilizzo dello spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore in fase di progettazione.

Si rileva, infine, che sull'area di intervento non insistono altri vincoli di natura geologica, quali vincoli di polizia idraulica, aree di salvaguardia dei pozzi ad uso idropotabile o aree sottoposte a vincoli derivanti dalla pianificazione di bacino (PAI/PGRA).

### 3. RELAZIONE GEOTECNICA (NTC 17/01/2018)

#### 3.1 Indagini geognostiche in sito

##### 3.1.1 Prove penetrometriche dinamiche continue

Al fine di desumere i parametri necessari alla caratterizzazione geotecnica dei terreni interagenti con le fondazioni dell'edificio in progetto, in data 02/02/2024 sono state eseguite n. 3 prove penetrometriche dinamiche continue (**Scpt 1÷3**).



Nella planimetria di **All. 1** è riportata l'ubicazione planimetrica delle prove effettuate.

Le prove sono state eseguite con un penetrometro superpesante DPSH con punta conica di diametro pari a 51 mm, massa battente del peso di 73 Kg e altezza di caduta pari a 75 cm.

I dati sono stati ottenuti registrando i colpi necessari all'infissione della punta ogni 30 cm di approfondimento (colpi/piede) fino al rifiuto all'avanzamento della punta. In **All. 2** sono riportati i grafici con l'andamento diagrammato delle prove tramite una linea che definisce la resistenza che il terreno ha opposto alla penetrazione della punta (RP).

Sulle aste di manovra impiegate per le prove non si sono osservate tracce significative di presenza d'acqua o umidità importante nel sottosuolo, dato confermato dalla verifica tramite piezometri installati in corrispondenza delle verticali di prova **Scpt 1** e **Scpt 3**.

### 3.1.2 Sondaggi a carotaggio continuo

In aggiunta alle prove penetrometriche, tramite l'utilizzo di una sonda idraulica sono stati eseguiti n. 2 sondaggi a carotaggio continuo, che hanno consentito di campionare in continuo il terreno sino a 5 m di profondità dal piano campagna attuale (ubicazione nella foto seguente).

Il carotaggio è stato eseguito mediante carotiere semplice (DN 152/131 mm). Durante la perforazione non sono stati attraversati strati acquiferi.



Sulla base del materiale campionato sono state ricostruite le litologie attraversate dai sondaggi, descritte sulle stratigrafie in **All. 3e** e sinteticamente descritte nelle seguenti tabelle:

COLONNA STRATIGRAFICA SONDAGGIO S1		
Profondità [m]		Descrizione stratigrafica
0,0	0,1	Terreno vegetale marrone
0,1	1,6	Limo sabbioso debolmente addensato marrone con ghiaia eterometrica arrotondata
1,6	2,5	Sabbia da limosa a debolmente limosa grigio-marroncino debolmente addensata con ghiaia eterometrica arrotondata
2,5	4,0	Ghiaia con sabbia e rari ciottoli grigio-marroncino sciolta
4,0	5,0	Sabbia grigio-marroncino con ghiaia eterometrica sciolta

COLONNA STRATIGRAFICA SONDAGGIO S2		
Profondità [m]		Descrizione stratigrafica
0,0	0,1	Terreno vegetale marrone
0,1	1,8	Limo da debolmente sabbioso a sabbioso marrone debolmente addensato con rara ghiaia eterometrica inclusa
1,8	2,0	Sabbia sciolta marrone scuro con rara ghiaia eterometrica
2,0	5,0	Sabbia sciolta grigio-marroncino con abbondante ghiaia eterometrica e ciottoli centimetrici

### 3.1.3 Prospezione geofisica MASW

Al fine di desumere la stratigrafia di velocità delle onde sismiche trasversali  $V_s$  nel sottosuolo, contestualmente alle prove penetrometriche è stata eseguita una prospezione geofisica **MASW** in corrispondenza dell'area di sedime dell'edificio in progetto.



Per l'acquisizione sismica è stato impiegato un sismografo modulare (Geode Geometrics Mod. 3-1000) con un sistema di ricezione costituito alternativamente da uno stendimento di 24 geofoni a movimento verticale (Geospace GS11D) e da uno stendimento di 24 geofoni a movimento orizzontale (Senseh con livello a bolla), entrambi a frequenza di 4,5 Hz e puntali da 3", collegati mediante un cavo multielettrodo.

La generazione di onde sismiche avviene mediante l'impiego di una mazza

battente da 10 kg su piastra.

La descrizione del metodo e criteri di acquisizione dei dati e i grafici dell'analisi della prospezione MASW sono riportati nell'Al. 6.

La tabella seguente riporta l'assetto sismo stratigrafico del sottosuolo con i valori di Vs per la prova MASW effettuata.

Prova MASW		
da profondità [m]	a profondità [m]	Vs [m/s]
0,0	2,1	185
2,1	4,1	260
4,1	8,3	365
8,3	11,8	340
11,8	16,8	445
16,8	25,4	500
25,4	35,0	630

Secondo le NTC, la classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{S,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con:

$h_i$ : spessore dell' $i$ -esimo strato;

$V_{S,i}$ : velocità delle onde di taglio nell' $i$ -esimo strato;

$N$ : numero di strati;

$H$ : profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_{S,non}$  inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, come nel presente caso, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{S,eq}$  è definita dal parametro  $V_{S,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. Pertanto, tenuto conto della quota di imposta delle fondazioni, valutata in circa 1,0 m dal p.c. attuale, è possibile definire un valore di velocità media di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m, in accordo alle NTC:

$$V_{S,30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

Il valore calcolato della  $V_{s,30}$  è pari a **412 m/s**. Pertanto, il sottosuolo è classificabile nella **categoria B** delle NTC costituita da “rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzata da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.”

### 3.1.4 Prova geofisica HVSR

Al fine di determinare la frequenza di risonanza dei terreni di fondazione è stata eseguita sempre in corrispondenza del sondaggio S1 una prova sismica HVSR, acronimo di *Horizontal to Vertical Spectral Ratio* mediante stazione singola o tromometro.

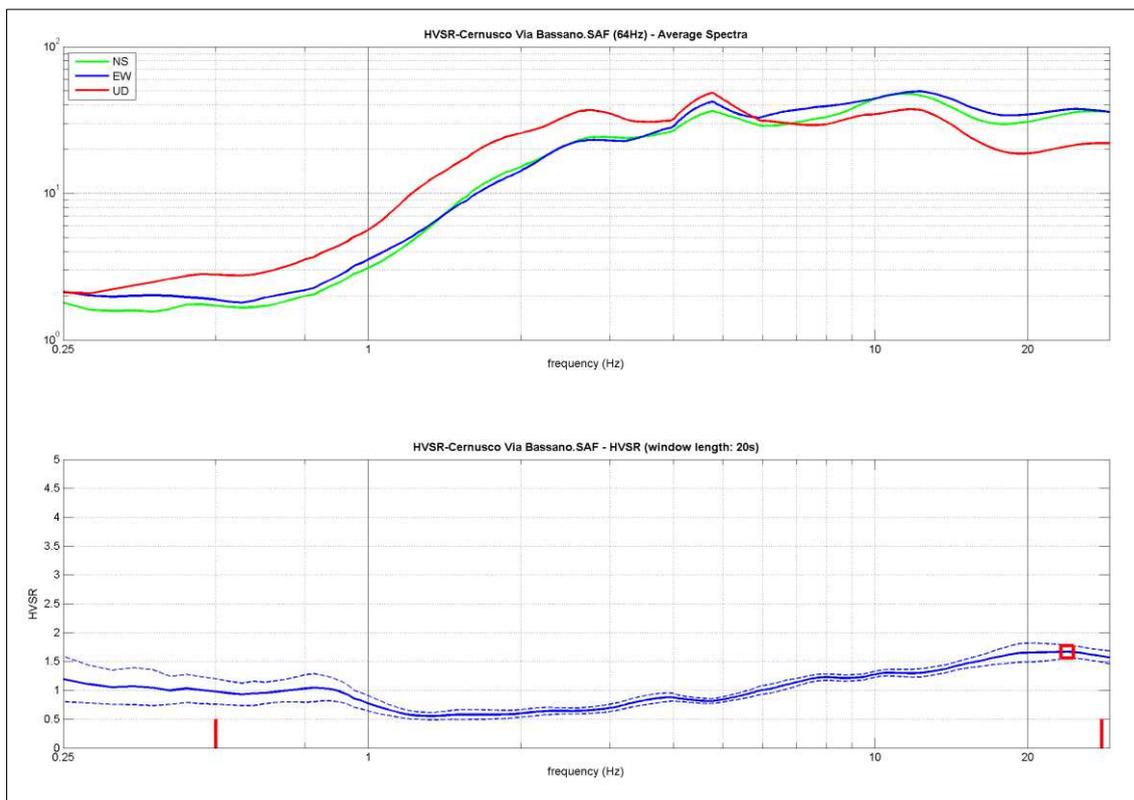
La prova consiste nel registrare il microtremore sismico ambientale (generato ad esempio da fenomeni atmosferici, onde oceaniche, vento, attività dinamica terrestre, attività antropica etc) in un sito tramite strumenti opportunamente sensibili, e nel ricavare il rapporto tra le componenti orizzontali e verticali del moto H/V.

La strumentazione utilizzata si compone nello specifico di:

- un sistema di ricezione costituito da un tromometro CGE a 3 componenti geofoniche con frequenza propria di 2 Hz per acquisizioni del microtremore lungo la direzione verticale e le due direzioni orizzontali ortogonali;
- un sistema di acquisizione e memorizzazione costituito da un sismografo modulare in grado di registrare in modo digitale le forme d'onda generate (Geode Geometrics Mod. 3-1000); il sismografo A/D è in grado di campionare segnali tra 0.025 ms e 16 ms (campionamento eseguito a 4 ms). Il sistema di acquisizione è completato da un computer per l'analisi e la memorizzazione del segnale e appositi cavi di collegamento.

La descrizione del metodo, l'analisi e l'elaborazione dei segnali acquisiti sono riportati nell'**All. 7**.

Il grafico seguente riporta il rapporto delle componenti spettrali orizzontali sulla verticale H/Z rilevato.



All'interno dell'intervallo di frequenze di interesse geologico ingegneristico, tra 0,5 Hz e 28 Hz, è risultata una possibile frequenza principale di risonanza attorno a 23,9 Hz. Questa non può essere definita come certamente significativa ai fini dell'individuazione di una possibile frequenza di risonanza di sito.

Il picco di risonanza è poco pronunciato ed è correlabile ad un debole contrasto di impedenza sismica superficiale, presumibilmente di origine stratigrafica.

In generale, l'assenza di un picco di frequenza significativo è correlabile alla mancanza di forti contrasti di impedenza sismica a profondità di interesse sismostratigrafico all'interno della sequenza deposizionale indagata e/o all'aumento graduale, con la profondità, delle caratteristiche di addensamento dei terreni stessi.

Va rilevato che la frequenza di risonanza dei terreni di fondazione va analizzata congiuntamente a quella propria dell'opera, in quanto in caso di coincidenza delle due frequenze si può verificare il fenomeno della "doppia risonanza", estremamente pericoloso per le strutture che verrebbero sottoposte a sollecitazioni massime.

### 3.2 Modello geotecnico

In base ai risultati delle indagini effettuate, i terreni in posto sono interpretabili come costituiti da due unità litotecniche sovrapposte, con caratteristiche geomeccaniche omogenee, coerentemente con quanto già riportato nella caratterizzazione geotecnica della componente geologica del PGT.

A partire dal piano campagna, al di sotto di un primo strato decimetrico di terreno vegetale, si riscontrano:

**Unità litotecnica A:** livello superficiale presente sino a mediamente 1,5 m di profondità (variabile tra 1 e 2 m circa) costituito da limo da debolmente sabbioso a sabbioso con rara ghiaia (categoria ML della classificazione USCS<sup>1</sup>) da poco a mediamente addensato.

**Unità litotecnica B:** livello profondo, presente a partire da mediamente 1,5 m da p.c. sino alla massima profondità investigata (6,3 m), costituito da sabbia con ghiaia e ciottoli (categoria SP della classificazione USCS) con stato di addensamento da “addensato” a “molto addensato”.

Per quanto attiene la caratterizzazione geotecnica dei terreni, è stata eseguita l'elaborazione dei risultati di tutte le prove effettuate utilizzando un programma di calcolo che, in base alle caratteristiche litologiche dei terreni e a correlazioni comprovate da un'ampia casistica di indagini ed elaborazioni a scala locale (metodo NAVFAC DM 7, 1982), permette di definire i principali parametri geotecnici.

La metodologia di interpretazione delle prove utilizzata è dettagliatamente illustrata in **All. 4**. I risultati delle elaborazioni sono mostrati per esteso in **All. 5** dove sono riportati, in funzione della profondità da p.c., i valori calcolati di densità relativa e angolo di attrito, i valori di velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_s$  ricavati indirettamente dai valori di resistenza alla penetrazione ed i parametri di deformabilità dei terreni di fondazione.

La determinazione dei parametri geotecnici di riferimento è stata quindi condotta mediante un'elaborazione statistica di tutti i dati disponibili che ha permesso di determinare i valori caratteristici inferiori (frattile 5% come prescritto dall'Eurocodice 7) e medi della popolazione di dati.

---

<sup>1</sup>Terminologia in accordo con il sistema di classificazione dei terreni USCS (Unified Soil Classification System)

Di seguito si riportano i risultati della caratterizzazione geotecnica effettuata:

**Unità litotecnica A**      *Limo sabbioso (ML)*

Profondità	da p.c. sino a 1,0 – 2,0 m
Resistenza alla penetrazione dinamica	$N_{SCPT}$ medio = 2 ÷ 3 colpi/piede
Resistenza alla penetrazione dinamica	$N_{SPTequiv.}$ = 4 ÷ 6 colpi/piede
Peso di volume naturale (stima)	$\gamma_n = 18 \text{ KN/m}^3$
Densità relativa	$D_r = 35 \div 50 \%$
Stato di addensamento	medio basso
Angolo di attrito	$\phi = 29^\circ \div 31^\circ$
Coesione efficace (stima)	$c' = 0 \text{ KPa}$
Modulo di elasticità (piccole deformazioni)	$E = 7 \div 9 \text{ MPa}$

**Unità litotecnica B**      *Sabbia con ghiaia e ciottoli (SP)*

Profondità	oltre 2,0 m (sino alla massima prof. investigata)
Resistenza alla penetrazione dinamica	$N_{SCPT}$ medio >15 colpi/piede
Resistenza alla penetrazione dinamica	$N_{SPTequiv.}$ >30 colpi/piede
Peso di volume naturale (stima)	$\gamma_n = 19 \text{ KN/m}^3$
Densità relativa	$D_r = 70 \div 80 \%$
Stato di addensamento	da addensato a molto addensato
Angolo di attrito	$\phi = 36^\circ \div 38^\circ$
Coesione efficace (stima)	$c' = 0 \text{ KPa}$
Modulo di elasticità (piccole deformazioni)	$E = 30 \div 32 \text{ MPa}$

### 3.3 Caratterizzazione sismica sito specifica

#### 3.3.1 Analisi numerica di Risposta Simica Locale (RSL)

##### Criteri generali e dati sismostratigrafici della analisi

La Risposta Sismica Locale RSL è stata valutata impiegando i software REXEL 3.5 (Iervolino et al., 2010) per l'estrazione dei moti di input e STRATA (Kottke&Rathje, 2008) per l'analisi numerica monodimensionale della RSL.

I parametri sismologici di sito sono stati calcolati con i software Spettri NTC e Geostru PS.

I dati di disaggregazione in termini di magnitudo e distanza sono stati attribuiti dalla pagina del sito INGV dedicata ai dati di pericolosità sismica nazionale, con opportuna scelta della probabilità di scuotimento più vicina cautelativamente al periodo di riferimento di progetto per l'edificio pari a 50 anni.

La definizione dei record sismici è stata attribuita dal database European Strong-Motion Data (Ambraseys et al., 2002).

Il profilo sismo stratigrafico del sottosuolo è stato definito a partire dalle velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_s$  misurate con prospezione MASW e indicate nella tabella del modello geofisico nel rapporto delle indagini in sito.

MODELLO-GEOFISICO-MEDIO--Via-Bassano--Cernusco-sul-Naviglio-(MI)						
Sismostrato	$V_s$ (m/s)	Spessore (m)	Profondità da p.c. (m)	Stima densità (g/cm <sup>3</sup> )	Modulo di Poisson	Modulo di Taglio (MPa)
1	185	2,1	-2,1	1,81	0,32	67
2	260	2,0	-4,1	1,88	0,30	127
3	365	4,2	-8,3	1,96	0,30	261
4	340	3,5	-11,8	1,95	0,32	226
5	445	5,0	-16,8	2,01	0,31	399
6	500	8,6	-25,4	2,04	0,31	511
7	630	9,6	-35,0	2,09	0,30	831

Lo strato 7 presente a partire da 25,4 m di profondità è stato assunto in via cautelativa come bedrock sismico.

Di seguito si riporta lo screenshot del profilo sismo stratigrafico adottato in STRATA.

	Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
1	0.00	2.10	1	185.00
2	2.10	2.00	1	260.00
3	4.10	4.20	1	365.00
4	8.30	3.50	1	340.00
5	11.80	5.00	1	445.00
6	16.80	8.60	1	500.00
7	25.40	Half-Space	Bedrock	630.00

Le curve di decadimento dei moduli di taglio G-Y e del fattore di smorzamento D-Y per i diversi tipi di sottosuolo sono state attribuite da curve bibliografiche, nel caso specifico per terreni granulari sabbioso ghiaiosi (Seed& Idriss, 1990 sand).

### Scelta del set di accelerogrammi ed esecuzione della analisi (input)

Ai fini dell'estrazione degli accelerogrammi sismocompatibili e spettrocompatibili per l'edificio in progetto sono stati acquisiti i parametri sismologici di base ed i dati di disaggregazione in termini di magnitudo distanza per il sito in esame.

The screenshot displays a software interface for seismic analysis. On the left, there is a map showing the site location. In the center, a table titled 'Stati limite' (Limit States) provides soil parameters. On the right, a table titled 'Coefficienti sismici' (Seismic Coefficients) shows the values for different soil types and seismicity levels.

Stato Limite	T <sub>r</sub> (anni)	A <sub>g</sub> (g)	F <sub>o</sub>	T <sub>0</sub> (s)
Operatività (SLO)	45	0.828	2.836	0.156
Danno (SLC)	75	0.852	2.852	0.215
Salvaguardia vite (SLV)	712	0.867	2.830	0.289
Previdenza estremo (SLC)	1402	0.864	2.855	0.300
Periodo di riferimento per l'azione sismica	75			

	SLO	SLC	SLV	SLC
SS Amplificazione sismologica	1.00	1.00	1.00	1.00
CC Coeff. zona sismologica	1.00	1.00	1.00	1.00
ST Amplificazione topografica	1.00	1.00	1.00	1.00
App. ne massima attesa al sito (m <sub>0</sub> )	0.6			
Coefficienti	SLO	SLC	SLV	SLC
m	0.005	0.006	0.013	0.017
iv	0.003	0.003	0.007	0.008
Ampli (m <sub>0</sub> )	0.253	0.313	0.601	0.823
Beta	0.200	0.200	0.200	0.200

## FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate

LONGITUDINE:

LATITUDINE:

Ricerca per comune

REGIONE:

PROVINCIA:

COMUNE:

**Elaborazioni grafiche**

Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

**Reticolo di riferimento**

Controllo sul reticolo

Sito esterno al reticolo

Interpolazione su 3 nodi

Interpolazione corretta



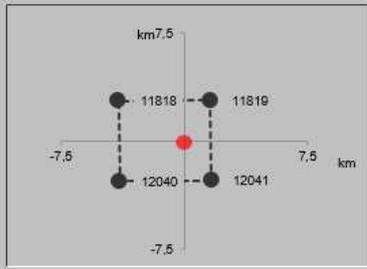
Interpolazione:

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

**Elaborazioni numeriche**

Tabella parametri

**Nodi del reticolo intorno al sito**


INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_c^*$ [s]
SLO	45	0,026	2,533	0,196
SLD	75	0,032	2,553	0,216
SLV	712	0,068	2,628	0,289
SLC	1462	0,085	2,649	0,300

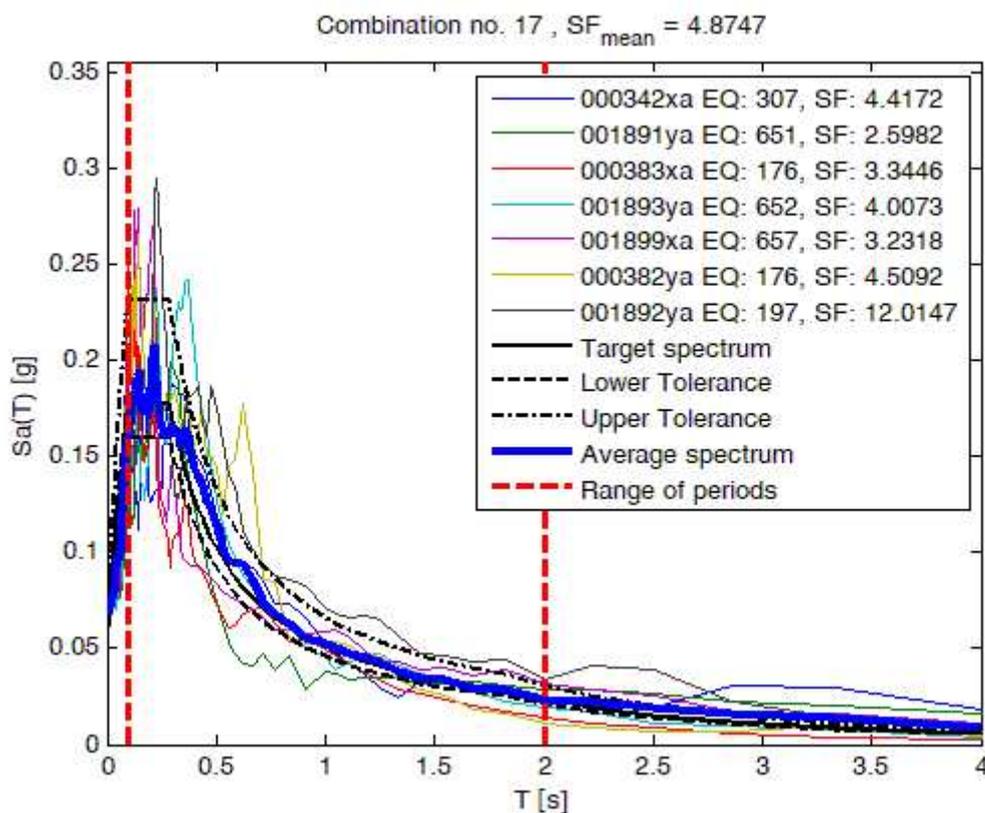
Coordinate sito (ED50)	Latitudine 45,538037 Longitudine 9,33373
Strategia di progettazione	Vita nominale di progetto $V_n = 50$ anni Coefficiente d'uso $C_u = 3$ Periodo di riferimento = 75 anni
Accelerazione orizzontale massima	$a_g = 0,068$ g
Zona sismica	3
Dati di disaggregazione	Magnitudo (M) compresa tra 4 e 5,5 Distanza (R) compresa tra 10 e 50 Km

I dati sono stati introdotti in REXEL considerando lo spettro di risposta elastico su suolo rigido A di normativa e la categoria topografia T1.

La ricerca delle combinazioni compatibili di accelerogrammi è stata impostata considerando un set di sette accelerogrammi con un numero massimo di combinazioni pari a 100 e un fattore di scalatura SF massimo pari a 5, quest'ultimo introdotto dopo una preliminare ricerca negativa con valori inferiori.

La selezione del set di accelerogrammi da utilizzarsi nelle analisi di RSL è stata eseguita scegliendo il set con associato il minore scarto medio e dei singoli accelerogrammi rispetto allo spettro di riferimento su suolo A.

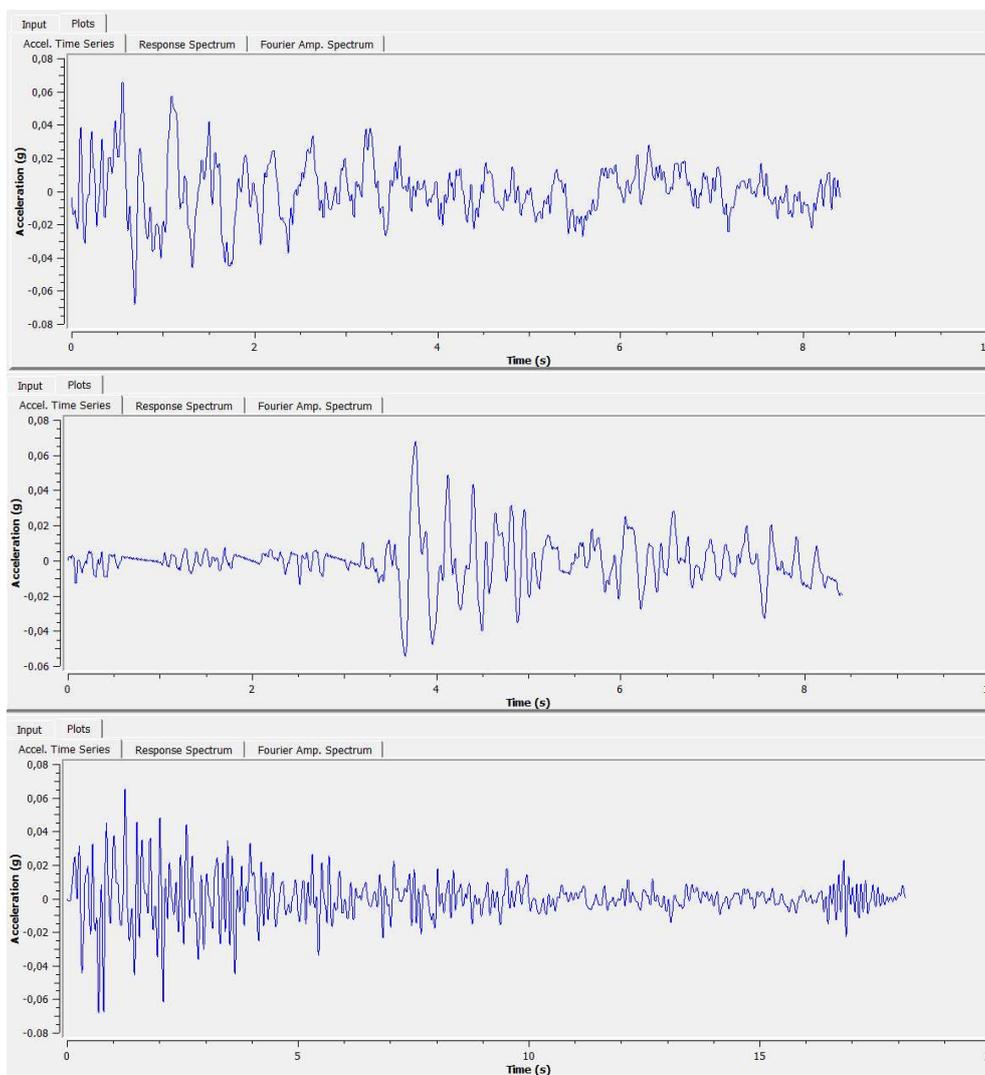
Di seguito si riportano gli spettri della combinazione di accelerogrammi scelta (comb. 17) con sovrapposti lo spettro di normativa su suolo A, i limiti di tolleranza e lo spettro medio.

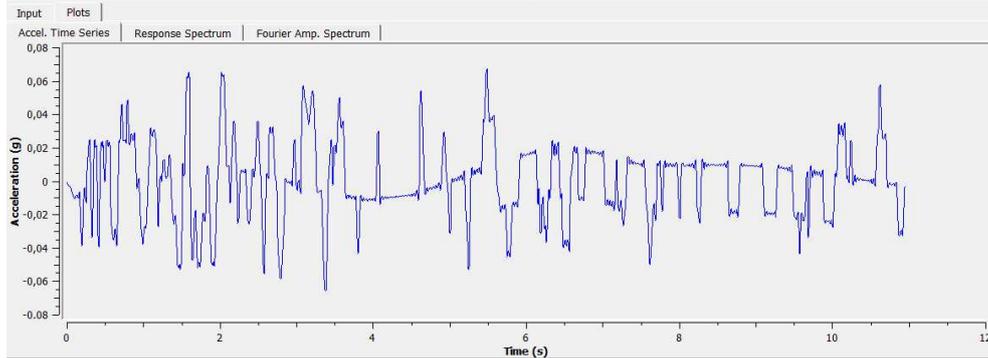
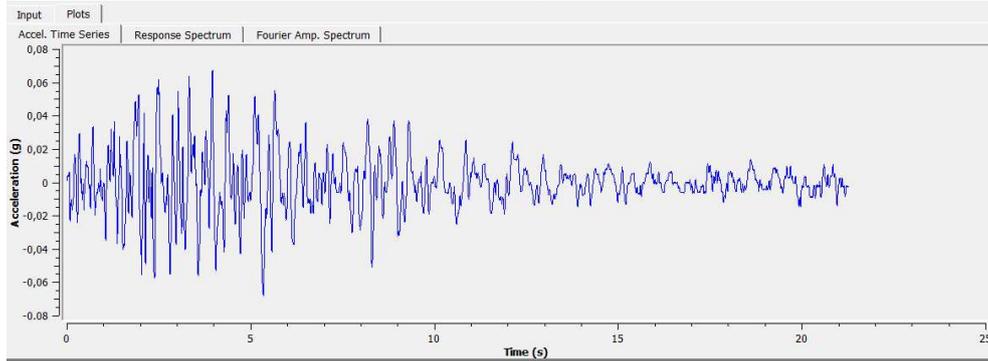
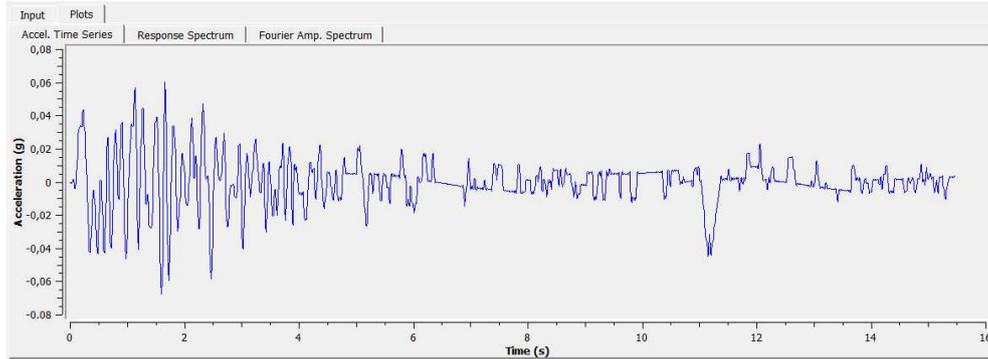
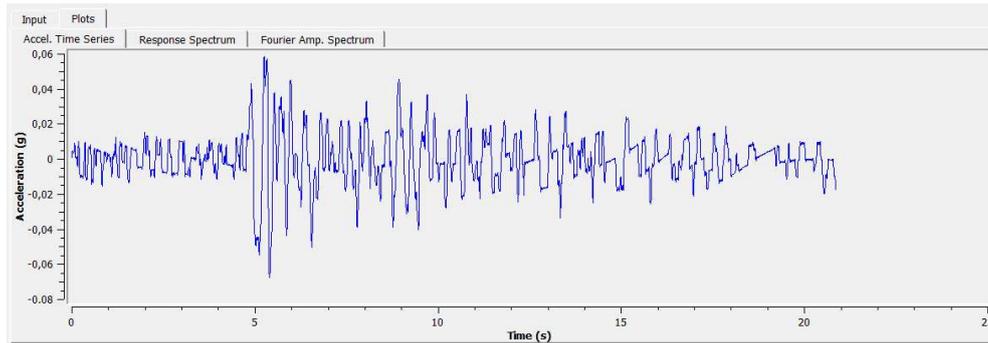


I parametri caratteristici del set di 7 accelerogrammi adottati, opportunamente scalati, sono mostrati nella seguente tabella:

	Name	Description	Type	PGA (g)	PGV (cm/s)	Scale Factor
1	<input checked="" type="checkbox"/> output-rexel_Cernusco-RSL\000342xa_record.txt	342xa	Outcrop (2A)	0.07	6.04	4.40
2	<input checked="" type="checkbox"/> output-rexel_Cernusco-RSL\001891ya_record.txt	1891ya	Outcrop (2A)	0.07	4.25	2.60
3	<input checked="" type="checkbox"/> output-rexel_Cernusco-RSL\000383xa_record.txt	383xa	Outcrop (2A)	0.07	4.68	3.34
4	<input checked="" type="checkbox"/> output-rexel_Cernusco-RSL\001893ya_record.txt	1893ya	Outcrop (2A)	0.07	5.22	4.00
5	<input checked="" type="checkbox"/> output-rexel_Cernusco-RSL\001899xa_record.txt	1899xa	Outcrop (2A)	0.07	4.91	3.23
6	<input checked="" type="checkbox"/> output-rexel_Cernusco-RSL\000382ya_record.txt	382ya	Outcrop (2A)	0.07	3.80	4.50
7	<input checked="" type="checkbox"/> output-rexel_Cernusco-RSL\001892ya_record.txt	1892y	Outcrop (2A)	0.07	6.83	12.01

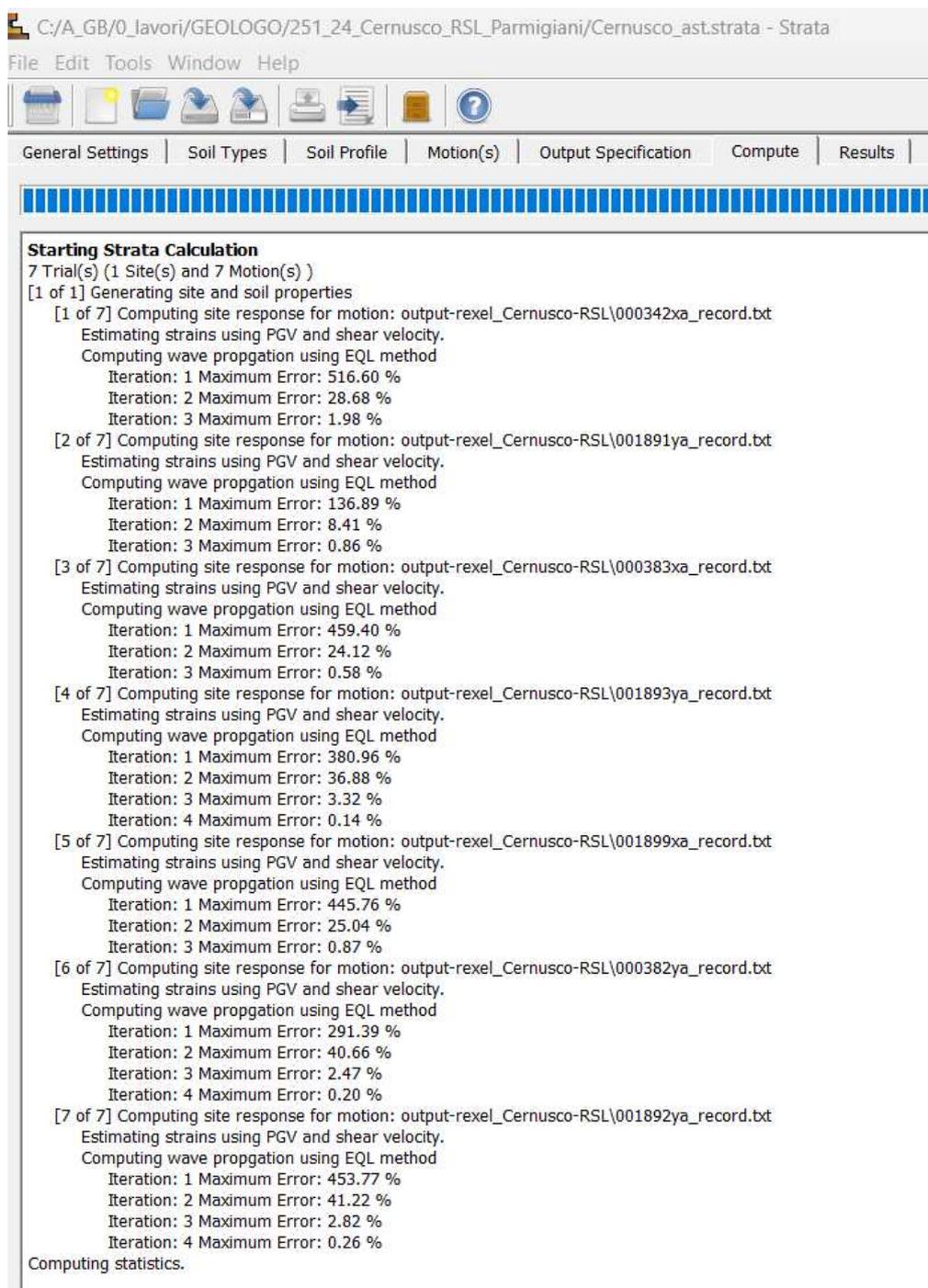
Gli accelerogrammi impiegati sono mostrati di seguito:





## Risultati (output)

Il calcolo, riferito alla profondità di posa delle fondazioni pari a -1,0 m da p.c., eseguito per i 7 accelerogrammi scelti ha conseguito un errore residuo inferiore al 2% che costituisce il valore massimo consentito per l'analisi, come da screenshot della finestra compute riportata di seguito.



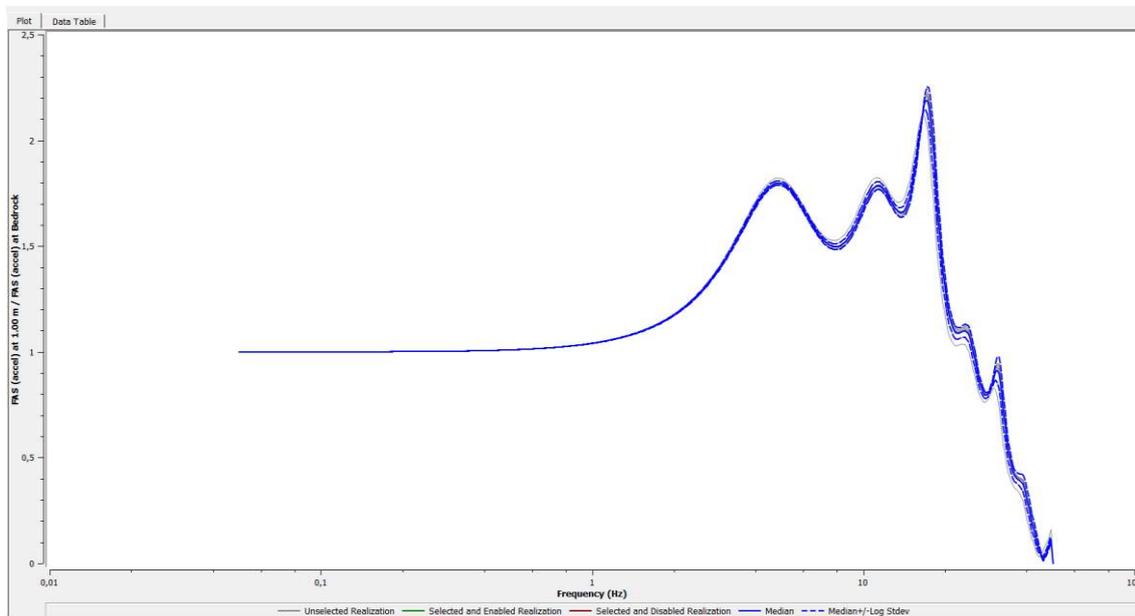
C:/A\_GB/0\_lavori/GEOLOGO/251\_24\_Cernusco\_RSL\_Parmigiani/Cernusco\_ast.strata - Strata

File Edit Tools Window Help

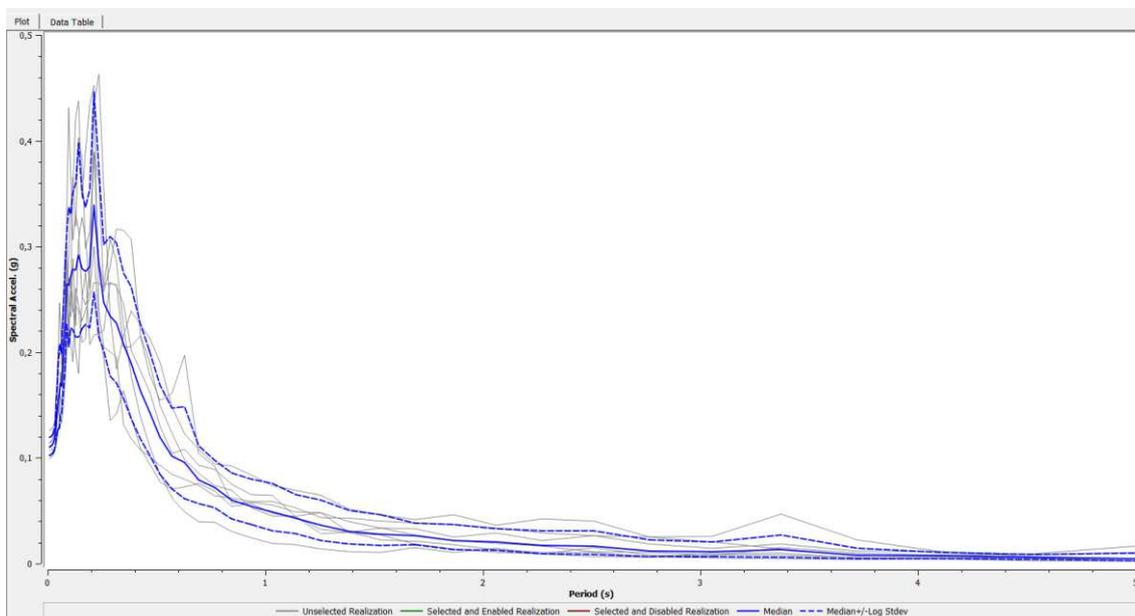
General Settings | Soil Types | Soil Profile | Motion(s) | Output Specification | Compute | Results

**Starting Strata Calculation**  
7 Trial(s) (1 Site(s) and 7 Motion(s) )  
[1 of 7] Generating site and soil properties  
[1 of 7] Computing site response for motion: output-rexel\_Cernusco-RSL\000342xa\_record.txt  
Estimating strains using PGV and shear velocity.  
Computing wave propagation using EQL method  
Iteration: 1 Maximum Error: 516.60 %  
Iteration: 2 Maximum Error: 28.68 %  
Iteration: 3 Maximum Error: 1.98 %  
[2 of 7] Computing site response for motion: output-rexel\_Cernusco-RSL\001891ya\_record.txt  
Estimating strains using PGV and shear velocity.  
Computing wave propagation using EQL method  
Iteration: 1 Maximum Error: 136.89 %  
Iteration: 2 Maximum Error: 8.41 %  
Iteration: 3 Maximum Error: 0.86 %  
[3 of 7] Computing site response for motion: output-rexel\_Cernusco-RSL\000383xa\_record.txt  
Estimating strains using PGV and shear velocity.  
Computing wave propagation using EQL method  
Iteration: 1 Maximum Error: 459.40 %  
Iteration: 2 Maximum Error: 24.12 %  
Iteration: 3 Maximum Error: 0.58 %  
[4 of 7] Computing site response for motion: output-rexel\_Cernusco-RSL\001893ya\_record.txt  
Estimating strains using PGV and shear velocity.  
Computing wave propagation using EQL method  
Iteration: 1 Maximum Error: 380.96 %  
Iteration: 2 Maximum Error: 36.88 %  
Iteration: 3 Maximum Error: 3.32 %  
Iteration: 4 Maximum Error: 0.14 %  
[5 of 7] Computing site response for motion: output-rexel\_Cernusco-RSL\001899xa\_record.txt  
Estimating strains using PGV and shear velocity.  
Computing wave propagation using EQL method  
Iteration: 1 Maximum Error: 445.76 %  
Iteration: 2 Maximum Error: 25.04 %  
Iteration: 3 Maximum Error: 0.87 %  
[6 of 7] Computing site response for motion: output-rexel\_Cernusco-RSL\000382ya\_record.txt  
Estimating strains using PGV and shear velocity.  
Computing wave propagation using EQL method  
Iteration: 1 Maximum Error: 291.39 %  
Iteration: 2 Maximum Error: 40.66 %  
Iteration: 3 Maximum Error: 2.47 %  
Iteration: 4 Maximum Error: 0.20 %  
[7 of 7] Computing site response for motion: output-rexel\_Cernusco-RSL\001892ya\_record.txt  
Estimating strains using PGV and shear velocity.  
Computing wave propagation using EQL method  
Iteration: 1 Maximum Error: 453.77 %  
Iteration: 2 Maximum Error: 41.22 %  
Iteration: 3 Maximum Error: 2.82 %  
Iteration: 4 Maximum Error: 0.26 %  
Computing statistics.

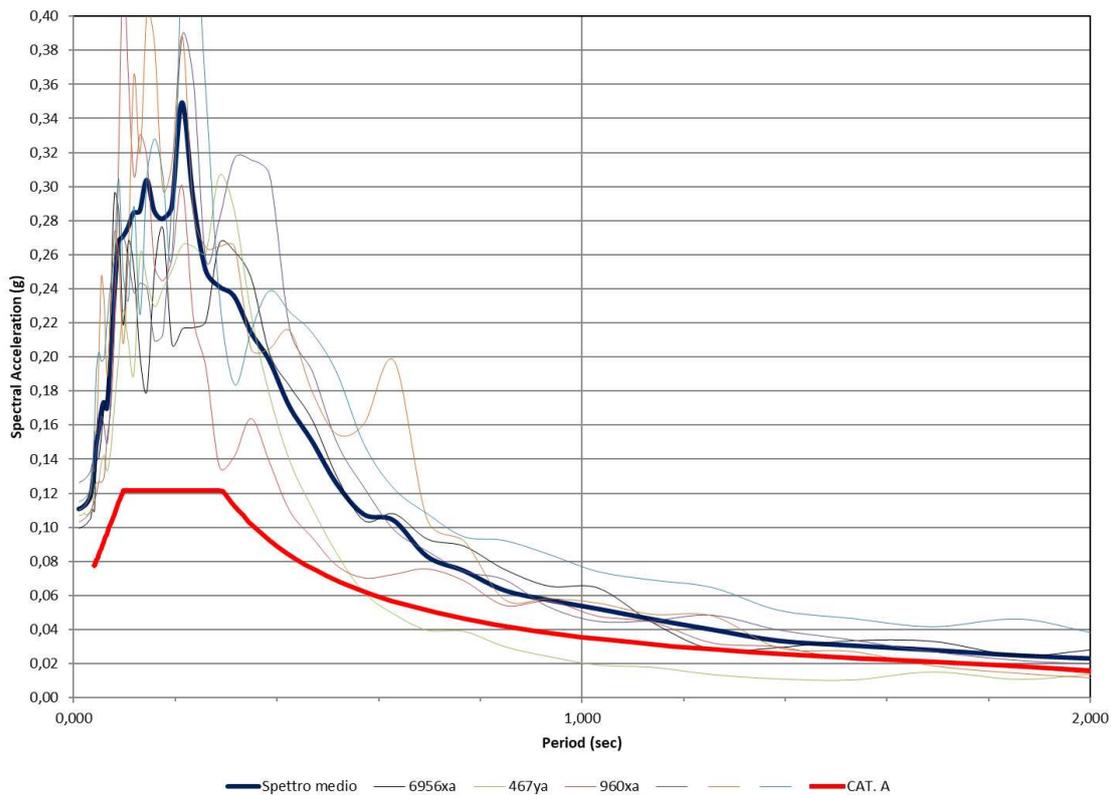
Di seguito si riporta il grafico della funzione di amplificazione del segnale sismico calcolata. Il grafico non evidenzia picchi significativi (valori inferiori a 2).



Il seguente grafico mostra gli spettri di risposta relativi ai 7 input sismici considerati con la loro media e deviazione standard (linee blu).



Ai fini progettuali di seguito è mostrato il confronto tra lo spettro medio calcolato e lo spettro di base.



I parametri caratteristici del moto sismico atteso alla profondità considerata sono riassunti nella seguente tabella per i diversi spettri calcolati e per lo spettro medio di riferimento:

PGA	PGV	PGD	PSA	T
[g]	[cm/s]	[cm]	[g]	[s]
1,11	6,0	2,6	0,34	0,021

dove:

PGA: massima accelerazione al suolo

PGV: massima velocità al suolo

PGD: spostamento massimo al suolo

PSA: accelerazione spettrale massima

T: periodo relativo alla PSA

I valori dei coefficienti di accelerazione sismica orizzontale e verticale agli SLV per l'accelerazione massima al suolo ag dello spettro medio, pari a 1,04 g, sono rispettivamente:

$$k_h = 0,020 \quad k_v = 0,010.$$

### 3.3.2 Frequenze fondamentali di risonanza del sito

Le frequenze fondamentali di risonanza del sito sono state determinate sulla base della analisi 1D di RSL.

L'analisi ha evidenziato l'assenza di picchi significativi con valori sempre inferiori a 2 per tutte le frequenze. L'analisi MASW non ha evidenziato particolari "salti" delle Vs o contrasti di impedenza che possano far supporre picchi significativi di amplificazione.

### 3.3.3 Verifica alla stabilità nei confronti della liquefazione

Il fenomeno della liquefazione consiste nella perdita di resistenza al taglio o nell'accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da un'azione sismica ciclica in condizioni non drenate.

Le NTC D.M. 17/01/2018 fissano una serie di circostanze del sito legate a condizioni locali sismiche e geologiche per le quali la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $q_{c1N} > 180$ ;
4. assenza di sabbie sature con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  o limi sabbioso/sabbie ghiaiose con  $U_c > 3,5$ .

In dettaglio, per il sito in esame la verifica può essere omessa in quanto, pur avendo una  $a_g$  massima calcolata con analisi di RSL maggiore di 0,1 g, la resistenza dei depositi sabbioso – ghiaiosi presenti soddisfa il requisito del punto 3 e la profondità media stagionale della falda nell'area di interesse è compresa tra 15 e 20 m da p.c.

### 3.4 Verifiche di sicurezza dei terreni di fondazione

Il progetto prevede la realizzazione di un nuovo edificio pubblico, da adibirsi a centro polifunzionale ad uso pubblico privo di piani in elevazione e senza interrati. L'edificio in progetto avrà una forma grossomodo quadrata, con ingombro indicativo delle fondazioni di 21 x 18 m.

Nelle successive verifiche geotecniche sono state analizzate fondazioni a platea con piano di posa alla profondità nominale di -1,0 m da piano campagna, all'interno dei terreni in posto dell'**Unità litotecnica A**.

I valori dei parametri geotecnici introdotti nelle successive verifiche geotecniche sono quelli prossimi ai valori caratteristici medi, come indicato nelle linee guida del C.S.L.P. nel caso di fondazioni continue.

#### 3.4.1 Resistenza agli stati limite ultimi (SLU)

La valutazione della resistenza di progetto dei terreni di fondazione è stata eseguita sulla base dell'equazione di Brinch – Hansen con il metodo agli stati limite (specifiche riportate in **All. 4**).

Gli stati limite ultimi (SLU) sono determinati dal raggiungimento della resistenza limite del terreno interagente con le fondazioni in seguito al collasso per carico limite e/o allo scorrimento sul piano di posa.

Le verifiche sono state eseguite secondo l'approccio 2 delle NTC 2018 con combinazione A1+M1+R3, sia condizioni statiche che sismiche introducendo i coefficienti di accelerazione sismica agli SLV calcolati con l'analisi 1D di RSL ( $K_h = 0,021$  e  $K_v = 0,011$ ). I calcoli hanno considerato una profondità di incasso delle fondazioni pari a 0,5 m.

Per le fondazioni, di tipo a platea, è stato rispettato il rapporto di validità dell'equazione di Brinch – Hansen pari a  $B < 5L$ ; a questo proposito, nelle tabelle seguenti si riportano le caratteristiche dimensionali fittizie (3,6 x 18 m), utilizzate per l'effettuazione delle verifiche, in luogo di quelle reali (21 x 18 m).

Le verifiche sono riportate per esteso in **All. 9**; i risultati sono riportati nella tabella seguente.

VERIFICHE ALLA ROTTURA PER CARICO LIMITE (SLU)		
Platea	$R_d$ (A1+M1+R3)	
Geometria (dim. fittizie)	statica	sismica
[m]	[KPa]	[KPa]
3,6 x 18	224	211

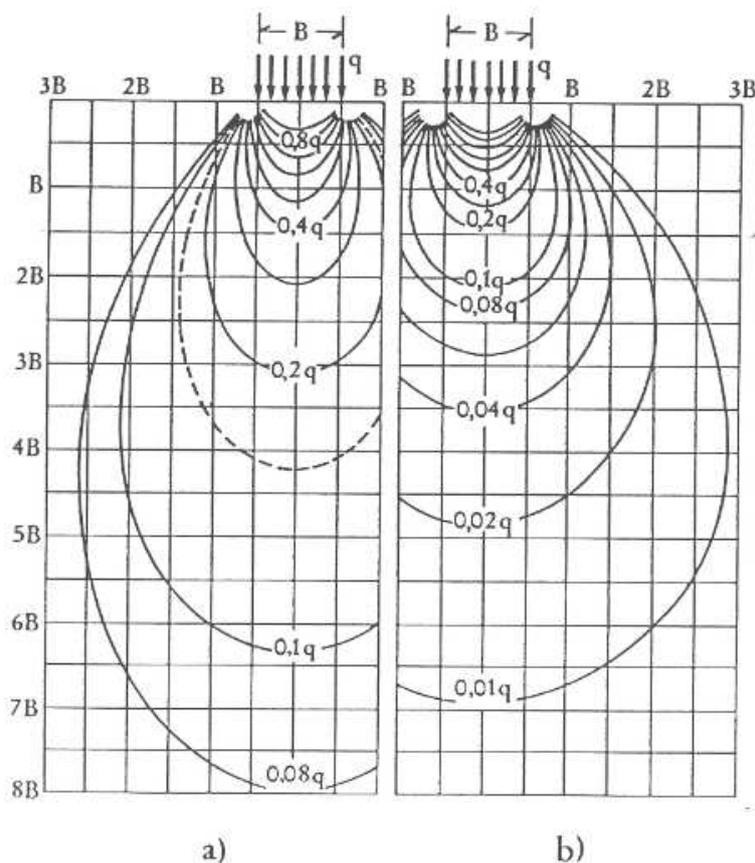
I valori indicati nelle tabelle sono calcolati al netto dei coefficienti parziali per le azioni A1 indicati nella tabella 6.2.1 delle NTC 2018.

I valori delle resistenze agli SLU, verificati nei confronti della rottura del terreno, devono tuttavia essere verificati anche agli SLE in funzione dei possibili cedimenti conseguenti l'applicazione dei carichi che, se elevati, potrebbero non essere tollerati dalle strutture in elevazione.

### 3.4.2 Verifica agli Stati Limite di Esercizio (SLE) – Cedimenti

La valutazione dei cedimenti prevedibili dei terreni di fondazione è stata eseguita sulla base del metodo di J.B. Burland e M.C. Burbidge valido per il calcolo in terreni non coesivi sottoposti a condizioni di carico note (specifiche riportate in **Al. 4**).

Le verifiche sono state calcolate introducendo i valori di  $N_{SPT}$  medi per il calcolo del cedimento medio, per uno spessore di terreno significativo al di sotto degli elementi fondazionali. Per fondazioni a platea, come nel caso in oggetto, le profondità fino alle quali si sviluppano le deformazioni sono pari a 2 volte il lato della fondazione (caso b nella figura seguente).



Per i calcoli sono state utilizzate le pressioni agli SLU calcolate con la combinazione A1+M1+R3 in condizioni statiche e i risultati sono stati confrontati con una soglia limite arbitraria di cedimento  $C_d$  pari a 3 cm sulla base di quanto indicato dalla letteratura tecnica di settore.

In dettaglio, le verifiche sono state effettuate introducendo i valori di  $N_{SPT}$  dell'Unità litotecnica A, cioè quella maggiormente interessata dai carichi fondazionali e che assorbirà la totalità del cedimento (vedi figura precedente). I valori utilizzati sono pari a 6 colpi (medio).

Le pressioni massime sono state ricalcolate al fine di contenere il cedimento limite entro la soglia massima di 3 cm.

I tabulati di calcolo con le elaborazioni effettuate sono riportati in **All. 10**; la tabella seguente mostra i valori delle pressioni limite di esercizio ed i corrispondenti valori di cedimento differenziale dei terreni.

<b>CEDIMENTI (SLE)</b>		
<i>Platea</i>		
<b>Geometria</b> (dim. fittizie)	<b><math>R_d / A'</math></b> <b>Ridotte</b>	<b>Cedimento</b> <b>medio imposto</b>
[m]	[KPa]	[mm]
3,6 x 18	53	30

Per contenere il cedimento medio entro la soglia imposta, andranno rispettate le pressioni massime di esercizio indicate in tabella, inferiori rispetto ai valori verificati nei confronti della rottura del terreno.

Si sottolinea che i valori di cedimento e di carico di esercizio indicati sono stati determinati nell'ipotesi di una corretta esecuzione dei lavori di cantiere, tale cioè da non alterare significativamente le condizioni dei terreni di fondazione con le operazioni di scavo o altre azioni di disturbo, mantenendo un rinterro laterale minimo delle fondazioni di 0,5 m.

Va altresì rilevato che la disomogeneità orizzontale riscontrata nelle prove effettuate (spessore dello strato meno addensato al di sotto del piano di posa fondazioni tra 0,3 e circa 1,0 m) non consente di escludere che i cedimenti si verifichino in forma "differenziale".

I valori di cedimento indicati nelle tabelle dovranno quindi essere giudicati ammissibili dal Progettista.

### 3.4.3 Costante di Winkler

Il coefficiente di Winkler, da utilizzare per analisi su suolo elastico, è stato determinato sulla base dei cedimenti medi attesi per le pressioni limite di esercizio calcolate; i valori ottenuti sono riportati nella seguente tabella:

COEFFICIENTE DI WINKLER					
Platea con piano posa fondazione a -1,0 m					
Geometria	$R_d / A'$	Carico eq.	Cedimento medio	Coeff. di Winkler	
[m]	[KPa]	[KN]	[mm]	[MN/m <sup>3</sup> ]	[kg/cm <sup>3</sup> ]
3,6 x 18,0	53	350	30	<b>2</b>	<b>0,2</b>

#### 4. CONCLUSIONI

Le indagini geognostiche condotte hanno permesso di caratterizzare dal punto di vista geotecnico e sismico i terreni di fondazione del nuovo edificio pubblico, da adibirsi a centro polifunzionale, nell'ambito di un più ampio progetto di interventi compresi nel Piano Attuativo "m1\_3 Via Cevedale", in Comune di Cernusco sul Naviglio.

In dettaglio, sulla base dell'andamento delle prove penetrometriche, il sottosuolo è schematizzabile come costituito da due unità litotecniche aventi le seguenti caratteristiche geotecniche:

##### **Unità litotecnica A**      *Limo sabbioso (ML)*

Profondità	da p.c. sino a 1,0 – 2,0 m
Resistenza alla penetrazione dinamica	$N_{SCPT}$ medio = 2 ÷ 3 colpi/piede
Resistenza alla penetrazione dinamica	$N_{SPTequiv.}$ = 4 ÷ 6 colpi/piede
Peso di volume naturale (stima)	$\gamma_n = 18 \text{ KN/m}^3$
Densità relativa	$D_r = 35 \div 50 \%$
Stato di addensamento	medio basso
Angolo di attrito	$\phi = 29^\circ \div 31^\circ$
Coesione efficace (stima)	$c' = 0 \text{ KPa}$
Modulo di elasticità (piccole deformazioni)	$E = 7 \div 9 \text{ MPa}$

##### **Unità litotecnica B**      *Sabbia con ghiaia e ciottoli (SP)*

Profondità	oltre 2,0 m (sino alla massima prof. investigata)
Resistenza alla penetrazione dinamica	$N_{SCPT}$ medio >15 colpi/piede
Resistenza alla penetrazione dinamica	$N_{SPTequiv.}$ >30 colpi/piede
Peso di volume naturale (stima)	$\gamma_n = 19 \text{ KN/m}^3$
Densità relativa	$D_r = 70 \div 80 \%$
Stato di addensamento	da addensato a molto addensato
Angolo di attrito	$\phi = 36^\circ \div 38^\circ$
Coesione efficace (stima)	$c' = 0 \text{ KPa}$
Modulo di elasticità (piccole deformazioni)	$E = 30 \div 32 \text{ MPa}$

Dal punto di vista sismico, la prospezione geofisica MASW e l'analisi RSL 1D, consentono di definire lo spettro di risposta sismica agli SLV da utilizzarsi per la progettazione.

Le sollecitazioni sismiche risultanti dalla RSL sono superiori allo spettro di normativa per suolo B e costruzione in classe d'uso III (opera rilevante per la perdita di vite umane in caso di sisma). Pertanto andrà adottato lo spettro calcolato con la RSL.

Le resistenze agli SLU e SLE sono state calcolate nel caso di fondazioni a platea interagenti con l'unità litotecnica A alla profondità nominale di 1,0 m.

I risultati sono espressi dalle seguenti tabelle:

<b>VERIFICHE ALLA ROTTURA PER CARICO LIMITE (SLU)</b>		
<i>Platea</i>	<b>R<sub>d</sub> (A1+M1+R3)</b>	
<b>Geometria</b> (dim. fittizie)	<b>statica</b>	<b>sismica</b>
[m]	[KPa]	[KPa]
3,6 x 18	228	211

<b>CEDIMENTI (SLE)</b>		
<i>Platea</i>		
<b>Geometria</b> (dim. fittizie)	<b>R<sub>d</sub> / A'</b> <b>Ridotte</b>	<b>Cedimento</b> <b>medio imposto</b>
[m]	[KPa]	[mm]
3,6 x 18	53	30

<b>COEFFICIENTE DI WINKLER</b>					
<b>Platea con piano posa fondazione a -1,0 m</b>					
<b>Geometria</b>	<b>R<sub>d</sub> / A'</b>	<b>Carico eq.</b>	<b>Cedimento medio</b>	<b>Coeff. di Winkler</b>	
[m]	[KPa]	[KN]	[mm]	[MN/m <sup>3</sup> ]	[kg/cm <sup>3</sup> ]
3,6 x 18,0	53	350	30	<b>2</b>	<b>0,2</b>

La natura dei terreni superficiali dell'**Unità litotecnica A**, caratterizzati da un certo grado di variabilità laterale, potrebbe favorire l'instaurarsi di cedimenti differenziali anche non immediati e non riassorbibili in breve tempo nel corso dei lavori di costruzione. Inoltre, lo stato di addensamento è piuttosto basso.

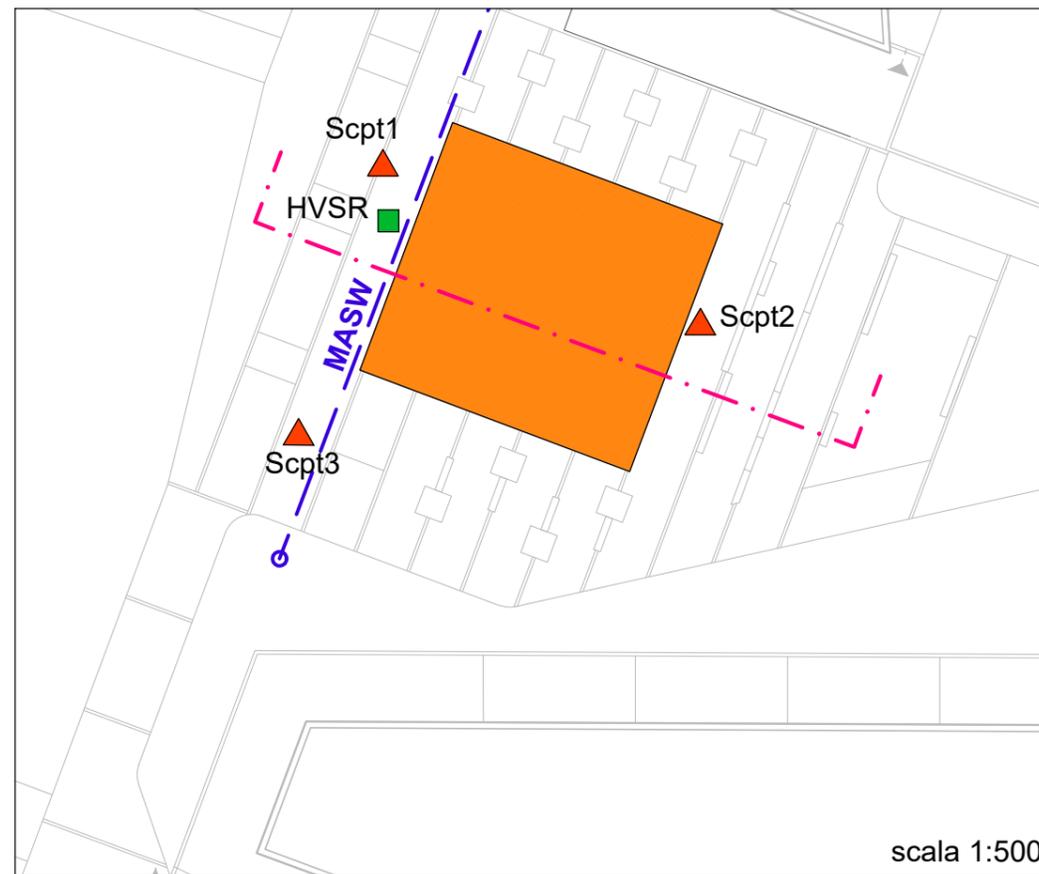
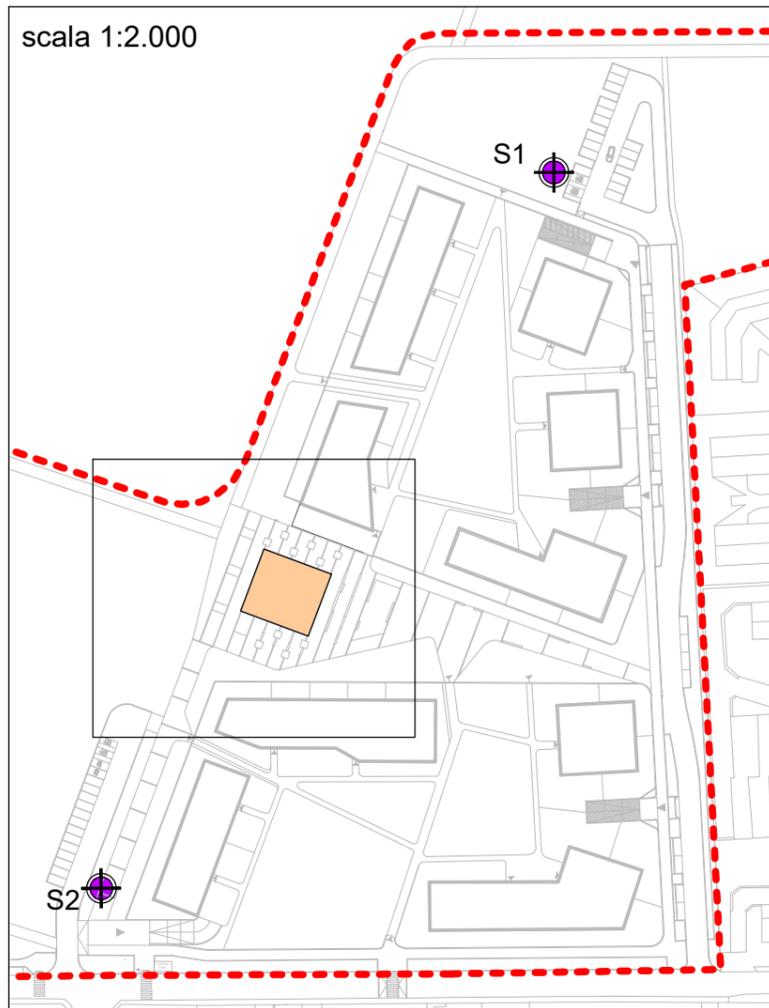
Pertanto, viste anche le caratteristiche prestazionali e funzionali che dovrà garantire il nuovo edificio pubblico in progetto, si prescrive di realizzare prima della posa delle fondazioni un intervento di consolidazione e rinforzo a fondo scavo.

Tale intervento potrà essere realizzato mediante una preliminare azione di costipamento del fondo scavo, eseguita con più passate incrociate con rullo vibrante di adeguata stazza sul piano di base; quindi la successiva stesa di un elemento di separazione di TNT (tessuto non tessuto) e uno strato di almeno 20 cm finiti di stabilizzato con materiale arido granulare o aggregato riciclato equivalente per riportarsi alla quota magrone. Tale intervento potrà avere benefici anche in termini di cantierabilità dell'area.

Il Tecnico scrivente rimane a disposizione per un confronto tecnico circa gli accorgimenti costruttivi per realizzare l'eventuale opera di sottofondazione (idoneità dei materiali, modalità di posa in opera e verifiche di controllo).

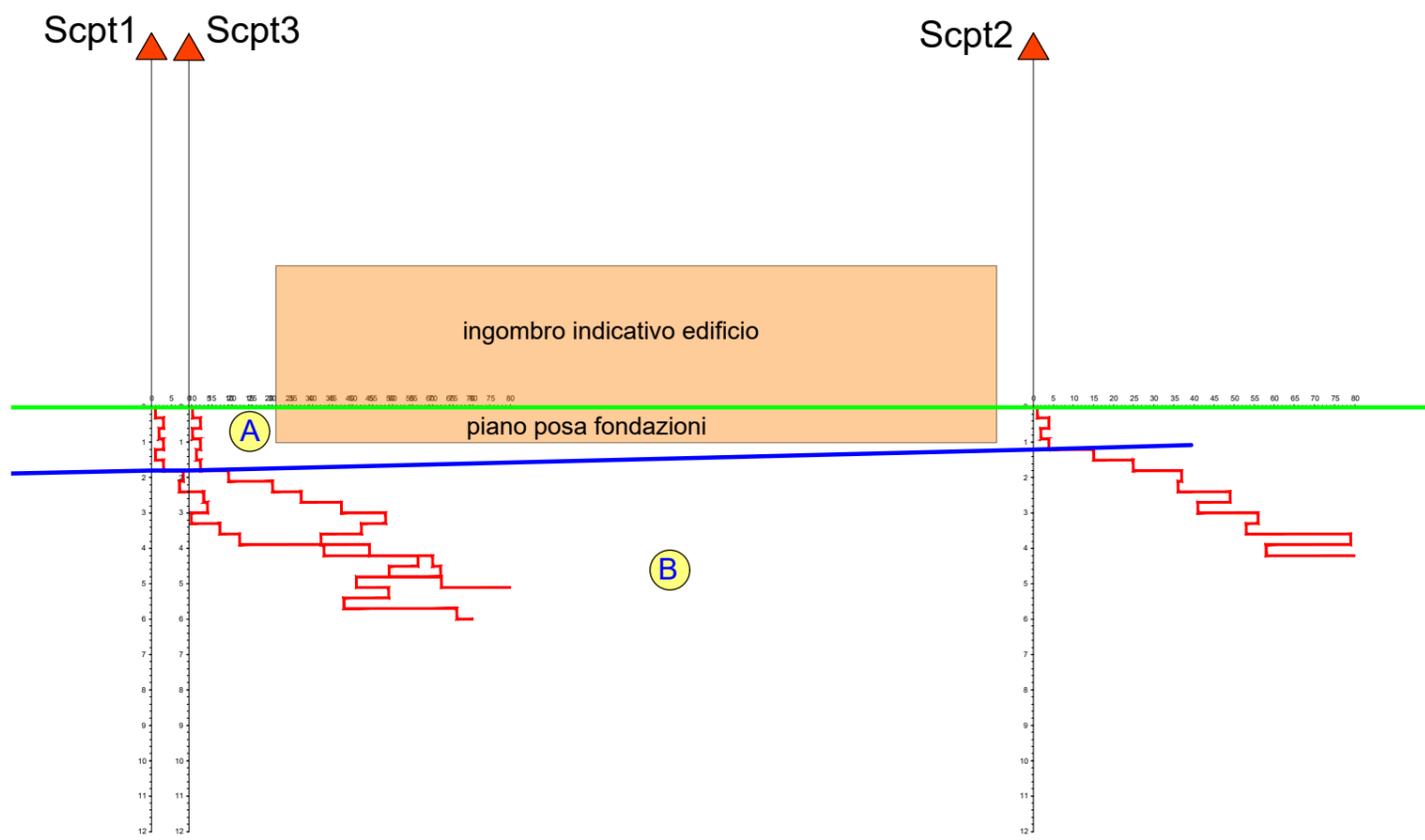
Il Tecnico

Dott. Geol. Marco Parmigiani



- - - Limite del Piano Attuativo
- ▲ Scpt 1  
Ubicazione delle prove penetrometriche dinamiche continue (Scpt)
- ⊕ S1  
Ubicazione dei sondaggi a carotaggio continuo
- HVSR  
Ubicazione della prova geofisica HVSR
- Ubicazione della prova geofisica di superficie MASW
- . - Traccia della sezione geognostica

Planimetrie con individuazione dell'ingombro dell'edificio in progetto e l'ubicazione delle indagini



- Sezione geognostica - scala 1:200
- Profilo della prova penetrometrica (Scpt)
  - Piano campagna attuale
  - Limite tra le unità litotecniche
  - A** **Unità litotecnica A:** limo da debolmente sabbioso a sabbioso con rara ghiaia (categoria ML); stato di addensamento da "poco" a "mediamente addensato"
  - B** **Unità litotecnica B:** sabbia con ghiaia e ciottoli (categoria SP) con stato di addensamento da "addensato" a "molto addensato"

**All. 1**

**Scale varie**

**Ubicazione delle indagini in sito e sezione geognostica**

**STUDIO DI GEOLOGIA**

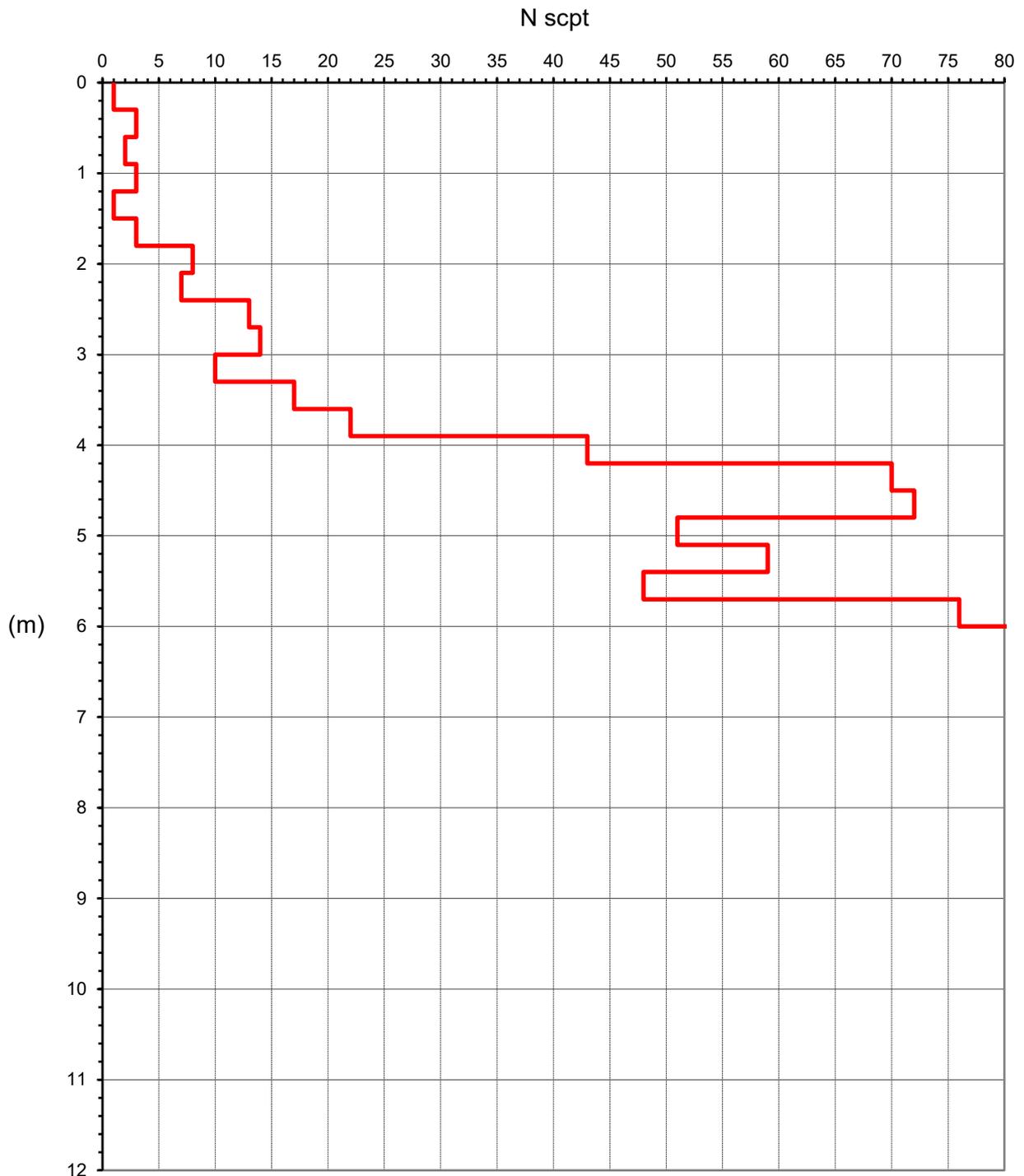
**Dott. Geol. Marco Parmigiani**  
**Via R. Sanzio, n.3 - 21049 - Tradate (VA)**

**Tel. e Fax ufficio: 0331 - 810710**

**ALLEGATO 2**  
**Grafici delle prove penetrometriche dinamiche (Scpt)**

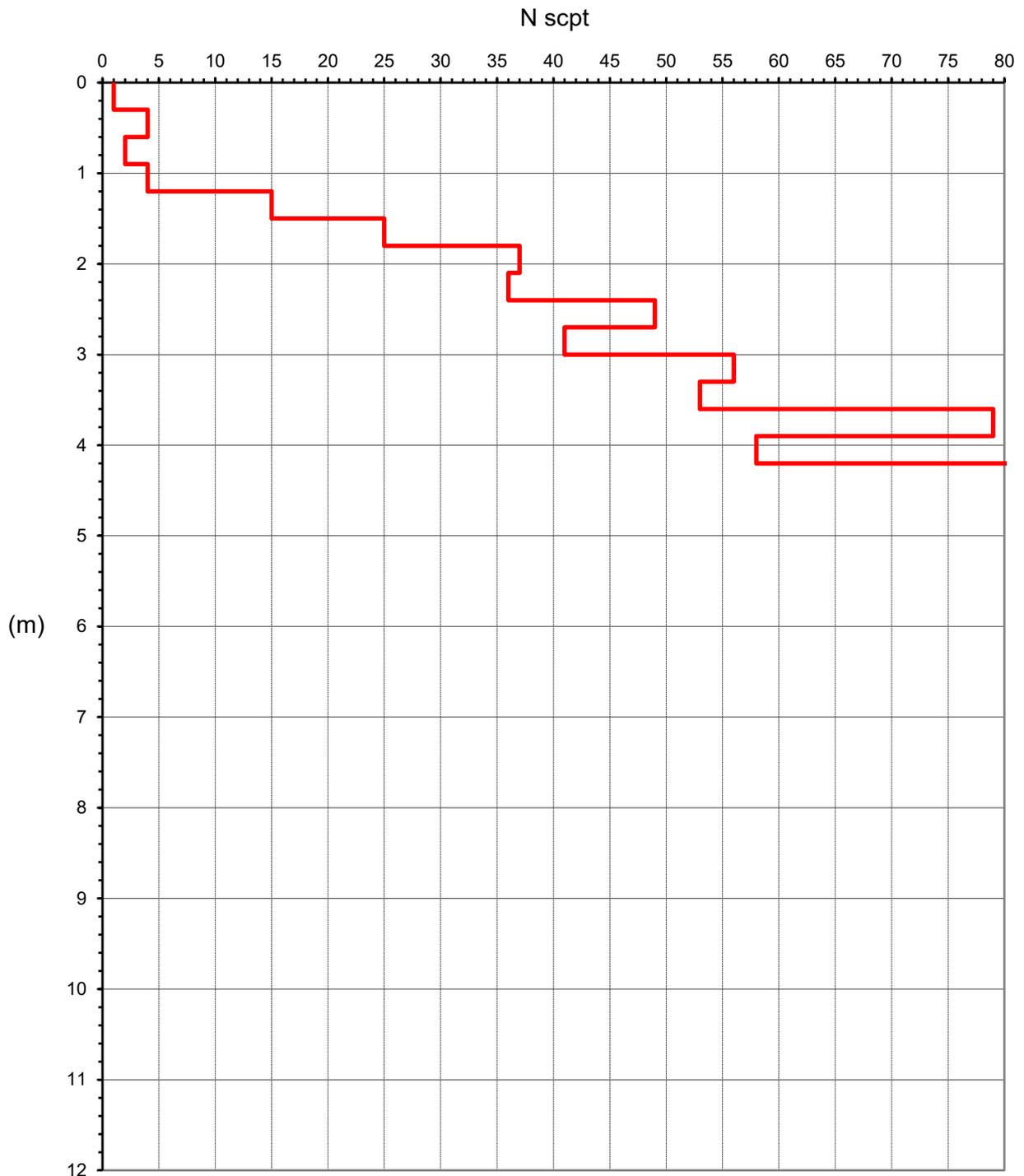
**GRAFICO DELLE PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE**

<b>Committente:</b>	Consorzio Cevedale - Bassano
<b>Cantiere:</b>	PA m1_3, Via Cevedale
<b>Località:</b>	Cernusco sul Naviglio
<b>Data:</b>	02/02/2024
<b>Penetrometro:</b>	Pesante tipo "Meardi-AGI"
<b>Prova:</b>	N. 1
<b>Prof. falda</b>	- [m]



**GRAFICO DELLE PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE**

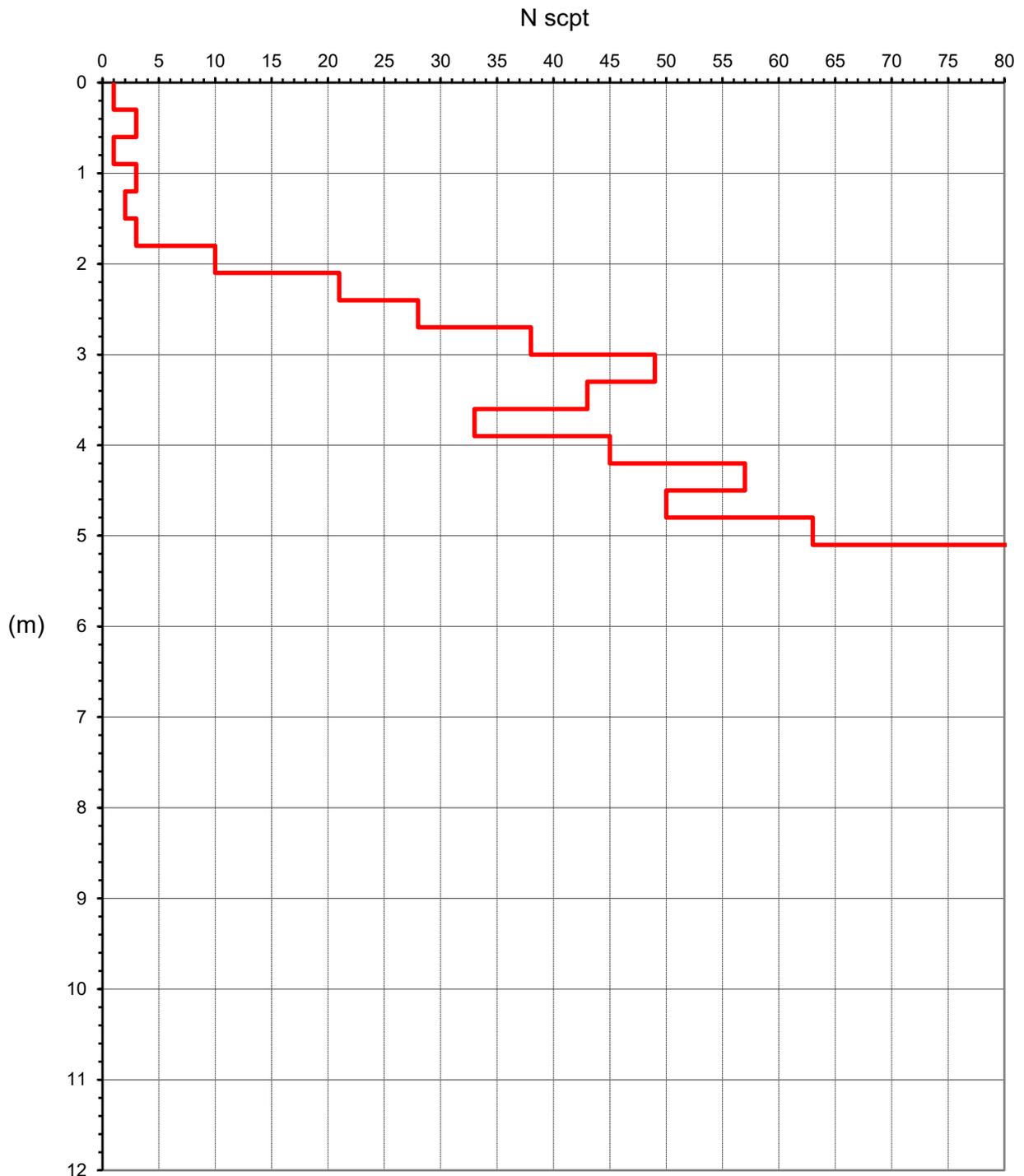
<b>Committente:</b>	Consorzio Cevedale - Bassano
<b>Cantiere:</b>	PA m1_3, Via Cevedale
<b>Località:</b>	Cernusco sul Naviglio
<b>Data:</b>	02/02/2024
<b>Penetrometro:</b>	Pesante tipo "Meardi-AGI"
<b>Prova:</b>	N. 2
<b>Prof. falda</b>	- [m]



AOO CERNUSCO SUL NAVIGLIO  
Protocollo Arrivo N. 14704/2025 del 17-03-2025  
Allegato 3 - Class. 6.1 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente

**GRAFICO DELLE PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE**

<b>Committente:</b>	Consorzio Cevedale - Bassano
<b>Cantiere:</b>	PA m1_3, Via Cevedale
<b>Località:</b>	Cernusco sul Naviglio
<b>Data:</b>	02/02/2024
<b>Penetrometro:</b>	Pesante tipo "Meardi-AGI"
<b>Prova:</b>	N. 3
<b>Prof. falda</b>	- [m]



**ALLEGATO 3**  
**Stratigrafia dei sondaggi**

AOO CERNUSCO SUL NAVIGLIO  
Protocollo Arrivo N. 14704/2025 del 17-03-2025  
Allegato 3 - Class. 6.1 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente

Committente: IMMOBILIARE CEVEDALE	Sondaggio: S1
Riferimento: CERNUSCO SUL NAVIGLIO	Data: 02.02.2024
Coordinate:	Quota:
Perforazione: CAROTAGGIO CONTINUO	

ø mm	R v	A r	S s	Pz	Prel. % 0 --- 100	metri batt.	LITOLOGIA	prof. 0 m	DESCRIZIONE
131						0		0,0	Terreno vegetale marrone
						1		1,6	Limo sabbioso debolmente addensato marrone con ghiaia eterometrica arrotondata
						2		2,5	Sabbia da limosa a debolmente limosa grigio-marroncino debolmente addensata con ghiaia eterometrica arrotondata
						3			Ghiaia con sabbia e rari ciottoli grigio-marroncino sciolta
						4		4,0	Sabbia grigio-marroncino con ghiaia eterometrica sciolta
						5		5,0	

- Sondaggio eseguito in data 02.02.2024
- Perforazione eseguita a carotaggio continuo 152/131mm fino alla profondità di 5,00m da p.c.
- Ritombamento del foro con compactonite granulare fino a p.c.



Sond. S1 cassa 1 da 0,00 a 5,00m

Committente: IMMOBILIARE CEVEDALE	Sondaggio: S2
Riferimento: CERNUSCO SUL NAVIGLIO	Data: 02.02.2024
Coordinate:	Quota:
Perforazione: CAROTAGGIO CONTINUO	

ø mm	R v	A r	S s	Pz	Prel. % 0 --- 100	metri batt.	LITOLOGIA	prof. 0 m	DESCRIZIONE
131						0		0,4	Terreno vegetale marrone
						1		1,0	Limo da debolmente sabbioso a sabbioso marrone debolmente addensato con rara ghiaia eterometrica inclusa
						2		2,0	Sabbia sciolta marrone scuro con rara ghiaia eterometrica
						3			Sabbia sciolta grigio-marroncino con abbondante ghiaia eterometrica e ciottoli centimetrici
						4			
						5		5,0	

- Sondaggio eseguito in data 02.02.2024
- Perforazione eseguita a carotaggio continuo 152/131mm fino alla profondità di 5,00m da p.c.
- Ritombamento del foro con compactonite granulare fino a p.c.



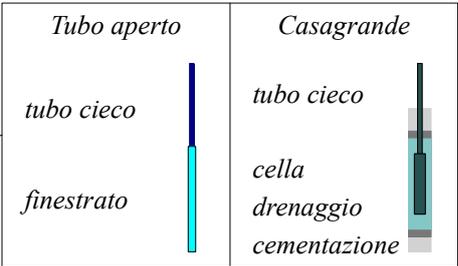
Sond. S2 cassa 1 da 0,00 a 5,00m

Committente:	Sondaggio:
Riferimento:	Data:
Coordinate:	Quota:
Perforazione:	

## G A STRATIGRAFIA

Ø mm	Riv.	A. s.	Pz.	Prel. % 0 --- 100	Cambio i	metri batt.	LITOLOGIA	prof. m	DESCRIZIONE
------	------	-------	-----	----------------------	----------	----------------	-----------	------------	-------------

1									
<p>1 Diametro del foro Tipo di arotiere</p> <p>Rivestimento</p> <p>Profondità della ari ve ime to e stabilizzazio e</p> <p>Piezometri _____</p> <p>Per e t ale di prelievo 1-10 11- 0 ... 1-100 %</p> <p>Cambio i mero tipo profo dit testa e s arpa</p> <p>S ala metri a o limiti delle batt te</p> <p>Simbolo litolo i o</p> <p>Profondità della base dello strato m</p>									<p>10</p>



- She* = Shelby
- Den* = Denison
- Ost* = Osterberg
- Maz* = Mazier
- Crp* = Craps
- nk3* = NK3
- Ind* = Indisturbato
- Dis* = Disturbato
- SDi* = Semi disturbato
- SPT* = SPT
- Amb* = Ambientale

## **ALLEGATO 4**

### **Riferimenti tecnici per la caratterizzazione geotecnica dei terreni e le verifiche di sicurezza per fondazioni dirette**

## RIFERIMENTI TECNICI

### Caratterizzazione geotecnica dei terreni

I principali parametri geotecnici dei terreni sono stati determinati a partire dalla resistenza alla penetrazione dinamica normalizzata (*Olsen, 1984*) direttamente ricavata dalla resistenza alla penetrazione della punta del penetrometro dinamico utilizzato per l'indagine (*Cestari, 1982*).

Considerata la maggiore diffusione di correlazioni tra parametri geotecnici ed  $N_{SPT}$  disponibili per i terreni non coesivi, i valori di resistenza alla punta registrati durante le prove sono stati trasformati nei corrispondenti valori di resistenza all'infissione del campionatore Raymond (Standard Penetration Test) secondo la seguente correlazione verificata localmente:

$$N_{30} = \alpha N_{SPT}$$

con  $\alpha$  compreso tra 2,0 e 3,0 in funzione della granulometria dei terreni attraversati e della profondità.

I valori di  $N_{SPT}$  sono stati corretti in funzione del confinamento laterale ( $N_1$ ) sulla base della seguente equazione (*Jamiolkowski et al., 1985*):

$$N_1 = N_{SPT} / (\sigma'_{vo})^{0.56}$$

La densità relativa è stata calcolata a partire dai valori di  $N_1$  in accordo alle seguenti equazioni ricavate dall'analisi di numerose evidenze sperimentali (*Skempton, 1986*):

$$D_r = [(N_1)_{60} / (71.7 \cdot (N_1)_{60} - 0.056)]^{0.5} \quad \text{per } (N_1)_{60} > 8$$

$$D_r = [(N_1)_{60} / (296.6 \cdot (N_1)_{60} - 0.728)]^{0.5} \quad \text{per } (N_1)_{60} \leq 8$$

dove:  $(N_1)_{60} = N_1$  in base a considerazioni relative al rendimento medio dell'attrezzatura impiegata per le prove SPT che è pari a circa il 60%.

L'angolo di attrito dei terreni investigati è stato determinato sulla base dei valori di densità relativa e della granulometria, in accordo alla procedura US NAVY – NAV FAC DM7 – 1982.

I parametri di deformabilità sono stati ottenuti a partire dai valori di velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_s$ , a loro volta ricavati indirettamente dai valori di resistenza alla penetrazione standard  $N_{SPT}$  attraverso la correlazione di *Yoshida et al. (1988)*:

$$V_s = 55 \cdot N_{SPT}^{0.25} \cdot \sigma'_{vo}{}^{0.14}$$

A partire dai valori di  $V_s$ , sono stati quindi calcolati i valori di modulo di elasticità iniziale  $E_i$  dalle relazioni:

$$E_i = G_i \cdot 2(1 + \mu) \quad \text{con} \quad G_i = \gamma \cdot V_s^2$$

dove  $G_i$  = modulo di taglio iniziale  
 $\gamma$  = peso di volume del terreno  
 $\mu$  = coefficiente di Poisson del terreno assunto pari a 0,35.

Dai valori di  $E_i$  è quindi stato ricavato, sulla base delle curve di decadimento del modulo di elasticità in funzione della deformazione, il modulo di elasticità in condizioni drenate. In particolare il valore del modulo operativo è stato ricavato sulla base del rapporto  $E_i / E = 10$  per i valori di deformazione di riferimento.

#### Determinazione del carico ammissibile

L'espressione per il calcolo della capacità portante dei terreni di fondazione fa riferimento all'equazione di Brinch – Hansen (1970):

$$q_{lim} = 1/2 \gamma' B N_\gamma s_\gamma i_\gamma b_\gamma g_\gamma + c' N_c s_c d_c i_c b_c g_c + q' N_q s_q d_q i_q b_q g_q$$

dove:

$q_{lim}$ [kPa]	= capacità portante limite
$\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ]	= peso di volume del terreno di fondazione
$B'$ [m]	= dimensione minore efficace della fondazione
$c'$ [kPa]	= coesione efficace
$q'$ [kPa]	= $\gamma'_{rinterro} D$ = sovraccarico agente ai bordi della fondazione
$D$ [m]	= profondità di incasso della fondazione
$N_\gamma, N_c, N_q$ [-]	= fattori di capacità portante
$s_\gamma, s_c, s_q$ [-]	= fattori di forma della fondazione
$d_c, d_q$ [-]	= fattori di profondità del piano di posa
$i_\gamma, i_c, i_q$ [-]	= fattori di inclinazione del carico
$b_\gamma, b_c, b_q$ [-]	= fattori di inclinazione della base della fondazione
$g_\gamma, g_c, g_q$ [-]	= fattori di inclinazione del piano campagna

### Determinazione dei cedimenti

L'espressione per il calcolo del cedimento delle fondazioni fa riferimento al metodo di *J.B. Burland e M.C. Burbidge (1984)*, che tiene conto della storia tensionale del terreno ricavando il valore del cedimento secondo la seguente equazione:

$$S = f_s \cdot f_h \cdot f_t \cdot [ \sigma'_{vo} \cdot B^{0.7} \cdot I_c / 3 + (q' - \sigma'_{vo}) \cdot B^{0.7} \cdot I_c ]$$

- dove: S [mm] = cedimento  
q' [kPa] = pressione efficace lorda  
 $\sigma'_{vo}$  [kPa] = tensione verticale efficace agente alla quota di imposta della fondazione  
B [m] = larghezza della fondazione  
 $I_c$  [-] = indice di compressibilità  
 $f_s, f_h, f_t$  [-] = fattori correttivi che tengono conto rispettivamente della forma, dello spessore dello strato compressibile e della componente viscosa dei cedimenti.

## **ALLEGATO 5**

### **Interpretazione delle prove penetrometriche dinamiche (Scpt)**

## INTERPRETAZIONE PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

<b>Committente</b>	Consorzio Cevedale - Bassano
<b>Cantiere</b>	PA m1_3, Via Cevedale
<b>Località</b>	Cernusco sul Naviglio
<b>Data</b>	Marzo 2024
<b>Prova</b>	N. 1
<b>Prof. falda</b>	- [m]

## Caratteristiche del penetrometro

Massa del maglio	[kg]	73
Altezza di caduta	[m]	0,75
Massa testa di battuta	[kg]	0,70
Massa aste	[kg/m]	5,70
Lunghezza aste	[m]	1,50
Area della punta	[cm <sup>2</sup> ]	20
Penetrazione unitaria	[m]	0,30

Prof.	$\gamma_n$	$N_p$	$N_{SPT}/N_p$	Categoria	$\sigma_{vo}$	$\sigma'_{vo}$	$N_{SPT}$	$N_1$	$D_r$	$\phi'$	$c_u$	$V_s$	E
[m]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[-]	[-]	terreno	[kPa]	[kPa]	[colpi/30 cm]	[colpi/30 cm]	[-]	[°]	[kPa]	[m/s]	[MPa]
0,15	18,0	1	2,0	ML	3	3	2	15	0,50	31		75	3
0,45	18,0	3	2,0	ML	8	8	6	25	0,64	32		115	7
0,75	18,0	2	2,0	ML	14	14	4	12	0,44	30		112	6
1,05	18,0	3	2,0	ML	19	19	6	15	0,50	31		130	8
1,35	18,0	1	2,0	ML	24	24	2	4	0,21	28		102	5
1,65	18,0	3	2,0	ML	30	30	6	12	0,44	30		138	9
1,95	19,0	8	2,0	SP	35	35	16	29	0,69	35		181	17
2,25	19,0	7	2,0	SP	41	41	14	23	0,62	35		179	17
2,55	19,0	13	2,0	SP	47	47	26	40	0,83	37		213	24
2,85	19,0	14	2,0	SP	53	53	28	40	0,83	37		220	25
3,15	19,0	10	2,0	SP	58	58	20	27	0,67	35		205	22
3,45	19,0	17	2,0	SP	64	64	34	44	0,87	38		238	30
3,75	19,0	22	2,0	SP	70	70	44	54	0,97	39		257	34
4,05	19,0	43	2,0	SP	75	75	86	101	1,00	39		307	49
4,35	19,0	70	2,0	SP	81	81	100	158	1,00	39		350	64
4,65	19,0	72	2,0	SP	87	87	100	156	1,00	39		356	66
4,95	19,0	51	2,0	SP	92	92	100	107	1,00	39		329	57
5,25	19,0	59	2,0	SP	98	98	100	119	1,00	39		344	62
5,55	19,0	48	2,0	SP	104	104	96	94	1,00	39		330	57
5,85	19,0	76	2,0	SP	110	110	100	144	1,00	39		373	73
6,15	19,0	100	2,0	SP	115	115	100	185	1,00	39		402	85
6,45													
6,75													
7,05													

## INTERPRETAZIONE PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

<b>Committente</b>	Consorzio Cevedale - Bassano
<b>Cantiere</b>	PA m1_3, Via Cevedale
<b>Località</b>	Cernusco sul Naviglio
<b>Data</b>	Marzo 2024
<b>Prova</b>	N. 2
<b>Prof. falda</b>	- [m]

## Caratteristiche del penetrometro

Massa del maglio	[kg]	73
Altezza di caduta	[m]	0,75
Massa testa di battuta	[kg]	0,70
Massa aste	[kg/m]	5,70
Lunghezza aste	[m]	1,50
Area della punta	[cm <sup>2</sup> ]	20
Penetrazione unitaria	[m]	0,30

Prof.	$\gamma_n$	$N_p$	$N_{SPT}/N_p$	Categoria	$\sigma_{vo}$	$\sigma'_{vo}$	$N_{SPT}$	$N_1$	$D_r$	$\phi'$	$c_u$	$V_s$	E
[m]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[-]	[-]	terreno	[kPa]	[kPa]	[colpi/30 cm]	[colpi/30 cm]	[-]	[°]	[kPa]	[m/s]	[MPa]
0,15	18,0	1	2,0	ML	3	3	2	15	0,50	31		75	3
0,45	18,0	4	2,0	ML	8	8	8	33	0,74	34		124	8
0,75	18,0	2	2,0	ML	14	14	4	12	0,44	30		112	6
1,05	18,0	4	2,0	ML	19	19	8	20	0,58	32		140	10
1,35	19,0	15	2,0	SP	25	25	30	66	1,00	39		202	21
1,65	19,0	25	2,0	SP	30	30	50	98	1,00	39		236	29
1,95	19,0	37	2,0	SP	36	36	74	131	1,00	39		266	37
2,25	19,0	36	2,0	SP	42	42	72	118	1,00	39		270	38
2,55	19,0	49	2,0	SP	47	47	98	149	1,00	39		297	46
2,85	19,0	41	2,0	SP	53	53	82	117	1,00	39		289	44
3,15	19,0	56	2,0	SP	59	59	100	151	1,00	39		317	52
3,45	19,0	53	2,0	SP	65	65	100	136	1,00	39		316	52
3,75	19,0	79	2,0	SP	70	70	100	193	1,00	39		354	65
4,05	19,0	58	2,0	SP	76	76	100	135	1,00	39		331	57
4,35	19,0	100	2,0	SP	82	82	100	224	1,00	39		383	77
4,65													
4,95													
5,25													
5,55													
5,85													
6,15													
6,45													
6,75													
7,05													

## INTERPRETAZIONE PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

<b>Committente</b>	Consorzio Cevedale - Bassano
<b>Cantiere</b>	PA m1_3, Via Cevedale
<b>Località</b>	Cernusco sul Naviglio
<b>Data</b>	Marzo 2024
<b>Prova</b>	N. 3
<b>Prof. falda</b>	- [m]

## Caratteristiche del penetrometro

Massa del maglio	[kg]	73
Altezza di caduta	[m]	0,75
Massa testa di battuta	[kg]	0,70
Massa aste	[kg/m]	5,70
Lunghezza aste	[m]	1,50
Area della punta	[cm <sup>2</sup> ]	20
Penetrazione unitaria	[m]	0,30

Prof.	$\gamma_n$	$N_p$	$N_{SPT}/N_p$	Categoria	$\sigma_{vo}$	$\sigma'_{vo}$	$N_{SPT}$	$N_1$	$D_r$	$\phi'$	$c_u$	$V_s$	E
[m]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[-]	[-]	terreno	[kPa]	[kPa]	[colpi/30 cm]	[colpi/30 cm]	[-]	[°]	[kPa]	[m/s]	[MPa]
0,15	18,0	1	2,0	ML	3	3	2	15	0,50	31		75	3
0,45	18,0	3	2,0	ML	8	8	6	25	0,64	32		115	7
0,75	18,0	1	2,0	ML	14	14	2	6	0,28	29		94	4
1,05	18,0	3	2,0	ML	19	19	6	15	0,50	31		130	8
1,35	18,0	2	2,0	ML	24	24	4	9	0,37	30		122	7
1,65	18,0	3	2,0	ML	30	30	6	12	0,44	30		138	9
1,95	19,0	10	2,0	SP	35	35	20	36	0,78	37		192	19
2,25	19,0	21	2,0	SP	41	41	42	69	1,00	39		236	29
2,55	19,0	28	2,0	SP	47	47	56	86	1,00	39		258	35
2,85	19,0	38	2,0	SP	53	53	76	109	1,00	39		283	42
3,15	19,0	49	2,0	SP	58	58	98	133	1,00	39		306	49
3,45	19,0	43	2,0	SP	64	64	86	111	1,00	39		300	47
3,75	19,0	33	2,0	SP	70	70	66	81	1,00	39		284	42
4,05	19,0	45	2,0	SP	75	75	90	105	1,00	39		310	50
4,35	19,0	57	2,0	SP	81	81	100	128	1,00	39		332	58
4,65	19,0	50	2,0	SP	87	87	100	108	1,00	39		325	55
4,95	19,0	63	2,0	SP	92	92	100	132	1,00	39		347	63
5,25	19,0	100	2,0	SP	98	98	100	202	1,00	39		393	81
5,55													
5,85													
6,15													
6,45													
6,75													
7,05													

## LEGENDA

- $\gamma_n$  : peso di volume naturale del terreno
- $\sigma_{vo}$  : tensione verticale totale
- $\sigma'_{vo}$  : tensione verticale efficace
- $N_p$  : numero di colpi del penetrometro dinamico
- $N_{SPT}$  : numero di colpi equivalente della prova SPT
- $N_1$  : numero di colpi normalizzato rispetto alla tensione geostatica [Jamiolkowski et al., 1985]
- $D_r$  : densità relativa [Skempton, 1986]
- $\phi'$  : angolo d'attrito efficace [Nav Fac, 1982]
- $c_u$  : coesione non drenata [Terzaghi e Peck, 1948]
- $V_s$  : velocità di propagazione delle onde di taglio [Yoshida et al., 1988]
- $E$  : modulo di elasticità [Yoshida et al., 1988]

### Categoria terreno:

#### *Terreni non coesivi*

GW = ghiaie ben gradate  
GP = ghiaie mal gradate  
GM = ghiaie limose  
SW = sabbie ben gradate  
SP = sabbie mal gradate  
SM = sabbie limose  
ML = limi sabbiosi

#### *Terreni coesivi*

CL-ML = argille di bassa plasticità  
e limi argillosi  
CL = argille di media plasticità  
CH = argille di alta plasticità

**ALLEGATO 6**  
**Interpretazione e risultati della prova geofisica MASW**

## 4 - INDAGINE SISMICA MASW

### 4.1 - Cenni sulla metodologia MASW

Con una prospezione sismica *MASW* (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*) si analizza il fenomeno della dispersione che le onde di superficie subiscono in un mezzo stratificato. La velocità di propagazione per una certa lunghezza d'onda ( $\lambda$ ), quindi frequenza è, infatti, influenzata dalle proprietà che il sottosuolo attraversato possiede ed è detta *velocità di fase*.

Le *MASW* attive sono realizzate tramite analisi delle onde di Rayleigh o di Love oppure, congiuntamente Rayleigh + Love. Queste rappresentano le onde di superficie prodotte dall'iterazione delle onde di corpo (P e S) con una superficie di discontinuità fisica. Le onde di Rayleigh, e più precisamente le loro componenti verticali, vengono registrate tramite i comuni geofoni verticali a bassa frequenza e generate da una sorgente ad impatto verticale, la classica martellata. Le onde di Love invece vengono acquisite mediante geofoni a componente orizzontale e generate applicando una sorgente di taglio al terreno, questo perché le loro componenti si muovono solamente sul piano orizzontale, con oscillazione perpendicolare rispetto alla direzione di propagazione dell'onda. Durante l'indagine in oggetto sono state registrate sia la componente verticale delle onde di Rayleigh sia le onde di Love.

Il principio della tecnica *MASW* prevede che, poiché la dispersione delle onde di superficie dipende dalle caratteristiche del sottosuolo e dalle sue variazioni verticali, dalla determinazione delle curve di dispersione del segnale è possibile ricavare le caratteristiche fondamentali del mezzo quali ad esempio la velocità delle onde di taglio  $V_s$  e lo spessore degli strati. La velocità delle onde di Rayleigh ( $V_R$ ) infatti è correlabile alla  $V_s$ , essendo pari a circa il 90% della velocità delle onde di taglio. L'analisi del fenomeno della dispersione, che avviene attraverso la *curva di dispersione*, permette quindi di determinare le caratteristiche del sottosuolo. La curva di dispersione del *dataset* è ottenuta mediante il passaggio dal dominio *spazio-tempo* (sismogramma) al dominio *velocità di fase/frequenza* (spettro di velocità) effettuato mediante specifica operazione con software dedicato.

Tenuto conto di quanto richiesto per l'applicazione della normativa relativa alla progettazione geotecnica, si ritiene che la metodologia di analisi *MASW*, risulti idonea alla definizione dei dati richiesti. Tale scelta risulta avvalorata dalle seguenti considerazioni:

1. La percentuale di energia convertita in onde Rayleigh o di Love è di gran lunga predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde P (7%) ed S (26%).
2. La propagazione e dispersione delle onde di Rayleigh o di Love si verifica senza problemi anche in caso di inversioni di velocità. Rispetto alla sismica a rifrazione, infatti, il metodo *MASW* non presenta problemi legati alla presenza di strati soffici compresi tra strati più rigidi.
3. La propagazione delle onde di Rayleigh, anche se influenzata dalla  $V_p$  e dalla densità, è funzione innanzitutto della  $V_s$ , parametro di fondamentale importanza nella caratterizzazione geotecnica di un sito (categoria di suolo in base al Testo Unico).

#### 4.2 - Acquisizione dei dati

L'ubicazione e la lunghezza dello stendimento sono state scelte in funzione della logistica dei luoghi e dell'ingombro delle strutture di progetto. L'allineamento sismico ha previsto, per l'acquisizione delle onde di Rayleigh, una distanza tra i geofoni pari a 1,0 m ed una serie di scoppi esterni e coniugati rispetto all'ultimo geofono con offset variabili (4-6-8-10-15 m) a diversa intensità di energizzazione. Per l'acquisizione delle onde di Love lo stendimento sismico ha previsto invece una distanza intergeofonica pari a 1,0 m ed una serie di scoppi esterni con offset di 4 m dall'ultimo geofono.

L'acquisizione della componente verticale delle onde di Rayleigh è avvenuta mediante registrazione della propagazione del segnale sismico generato da una sorgente ad impatto verticale (martellata), tramite uno stendimento sismico di 24 geofoni a componente verticale.

L'acquisizione delle onde di Love è avvenuta invece mediante uno stendimento sismico di 24 geofoni a componente orizzontale posti trasversalmente all'allungamento dello stendimento, generando un'onda sismica di taglio mediante martellata orizzontale su piastra posta verticalmente nel terreno. La strumentazione utilizzata si compone nello specifico di:

- una sorgente meccanica in grado di generare onde elastiche direzionali e ricche di energia realizzata mediante la battuta verticale e orizzontale di una mazza battente di 10 kg su piastra;
- un sistema di ricezione costituito alternativamente da uno stendimento di 24 geofoni (onde di Rayleigh) a movimento verticale (*Geospace GS11D*) e da uno stendimento di 24 geofoni (onde di Love) a movimento orizzontale (Sense con livello a bolla), entrambi a frequenza di 4,5 Hz e puntali da 3", collegati mediante un cavo multielettrodo;
- un sistema di acquisizione e memorizzazione costituito da un sismografo modulare in grado di registrare in modo digitale le forme d'onda generate (*Geode Geometrics Mod. 3-1000*); il sismografo A/D è in grado di campionare segnali tra 0.025 ms e 16 ms. Il sistema di acquisizione è completato da dispositivo di *trigger*, computer per l'analisi e la memorizzazione del segnale e appositi cavi di collegamento.

#### 4.3 - Analisi ed elaborazione dei segnali acquisiti

##### Determinazione degli spettri di velocità ed individuazione delle curve di dispersione

La stima dell'andamento in profondità delle velocità  $V_s$ , mediante acquisizione sismica multicanale è ottenuta tramite l'analisi del segnale nel dominio frequenza/velocità di fase.

Viene utilizzato lo spettro di velocità in quanto è il dominio dove è chiaramente più immediato e naturale comprendere le proprietà dispersive del mezzo attraversato, determinando con precisione la velocità di ciascuna componente del segnale registrato.

Dopo aver scelto quindi i sismogrammi più idonei, quelli solitamente con il miglior rapporto *segnale/rumore*, si esegue una trasformata dal dominio *spazio/tempo* al dominio *frequenza/velocità* (**Fig. 5**). Particolare attenzione nell'interpretazione delle curve di dispersione è posta in considerazione del fatto che le vibrazioni indotte dalle onde di superficie sono correlabili a diversi *modi*, che possono sovrapporsi all'interno degli spettri di velocità. Se tale sovrapposizione avviene, può generarsi una curva di dispersione apparente, che può risultare fuorviante in fase di interpretazione. Al fine di individuare i *modi* corretti e correlabili alla reale successione stratigrafica è stato scelto di eseguire un'**analisi congiunta delle onde di Rayleigh e delle onde Love**.

L'interpretazione dello spettro è consistita quindi nel confrontare le distribuzioni di energia tra i vari modi. Dato che la distribuzione dell'energia nelle due componenti Love e Rayleigh è risultata a tratti differente, l'analisi congiunta ha permesso il riconoscimento del reale andamento dei modi, portando all'elaborazione di un modello maggiormente vincolato e preciso.

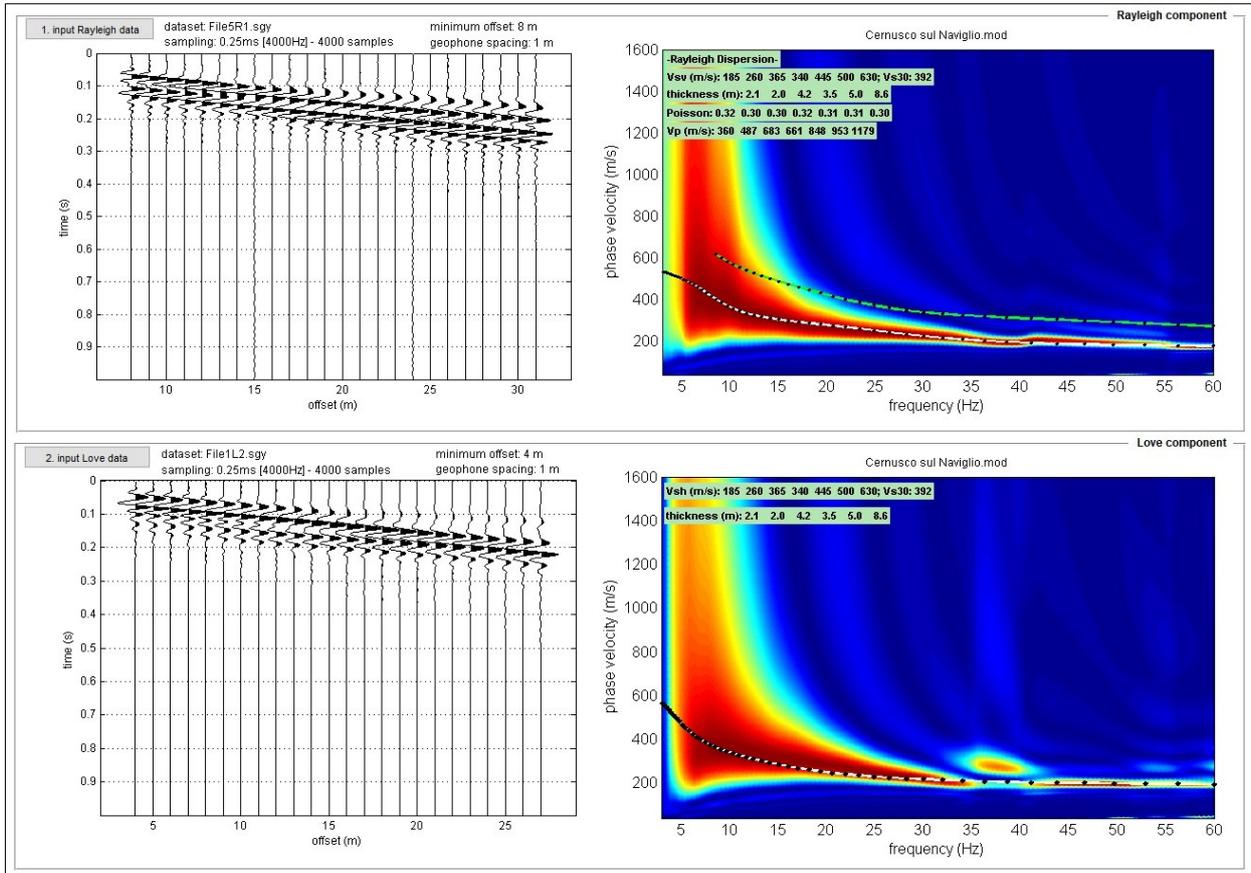
Si riassumono di seguito i dati relativi ai parametri di acquisizione utilizzati per i dataset prescelti per l'elaborazione:

<b>ONDE DI RAYLEIGH</b>	<b>ONDE DI LOVE</b>
<b>Dati relativi allo shot 3 – File5R1.sgy</b>	<b>Dati relativi allo shot 1 – File1L2.sgy</b>
offset minimo: 8 m	offset minimo: 4 m
distanza intergeofonica: 1,0 m	distanza intergeofonica: 1,0 m
Intervallo di campionamento: 0,25 ms	Intervallo di campionamento: 0,25 ms
Tempo di acquisizione: 1 s	Tempo di acquisizione: 1 s

**Procedure di modellazione diretta e analisi congiunta delle onde di Rayleigh e di Love**

Analizzati i sismogrammi e i rispettivi spettri di velocità si è proceduto alla ricostruzione della distribuzione verticale delle Vs. Partendo dalle curve di dispersione delle onde di Rayleigh e di Love è stato ricostruito il modello che è responsabile di quelle curve, effettuando quindi un'inversione, vale a dire che si è ricavato il modello di sottosuolo che ha determinato il dato di campagna.

Gli spettri di velocità di fase sono stati interpretati identificando le curve modali, mediante modellazione diretta, studiando l'andamento dei vari modi in funzione del modello atteso (**Fig. 5**). Questo è stato iterativamente modificato fino ad ottenere una buona sovrapposizione degli andamenti delle curve di dispersione sui vari modi riconosciuti, contemporaneamente in entrambi gli spettri, al fine di ottenere un solo modello di velocità.



**Fig. 5 - Sismogrammi acquisiti (sx) e risultati dell'analisi congiunta Rayleigh+Love (dx): modellazione diretta mediante individuazione del modo fondamentale e di porzioni dei modi superiori, che compongono lo spettro di velocità delle onde di Rayleigh (in alto) e congiuntamente quello delle onde di Love (in basso).**

## 5 - PROFILO SIMOSTRATIGRAFICO

Per l'elaborazione e l'interpretazione dei dati si è tenuto conto delle evidenze del segnale acquisito, dei risultati delle prove penetrometriche eseguite all'interno del lotto di progetto e dei dati litostratigrafici reperiti entro il territorio in cui ricade l'area in esame.

Nella seguente tabella sono riportati i valori delle velocità medie e gli spessori di ciascun sismostrato, in modo da definire un **modello geofisico medio**, ottenuto mediante analisi delle onde di superficie con metodologia *MASW* in onde di Rayleigh e di Love.

Si riportano anche, in maniera indicativa, le stime dei valori della densità e del modulo di Poisson eseguite contestualmente all'elaborazione e mediante correlazioni di letteratura. Poiché la dispersione delle onde di superficie dipende essenzialmente dalla  $V_s$  e degli spessori degli strati, tali valori devono essere considerati solamente come stime largamente approssimative. Viene riportato, inoltre, il valore del modulo di taglio che tra i moduli elastici è l'unico che non dipende da  $V_p$ , ma solamente da  $V_s$  e densità e quindi la sua stima risulta più attendibile.

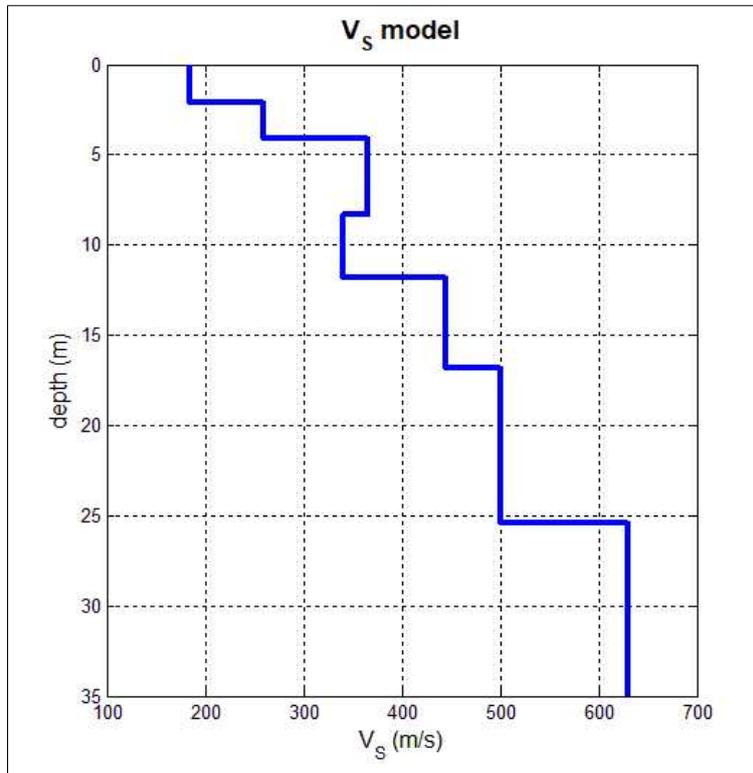
<b>MODELLO GEOFISICO MEDIO - Via Bassano - Cernusco sul Naviglio (MI)</b>						
<b>Sismostrato</b>	<b><math>V_s</math> (m/s)</b>	<b>Spessore (m)</b>	<b>Profondità da p.c. (m)</b>	<b>Stima densità (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Modulo di Poisson</b>	<b>Modulo di Taglio (MPa)</b>
<b>1</b>	185	2,1	-2,1	1,81	0,32	67
<b>2</b>	260	2,0	-4,1	1,88	0,30	127
<b>3</b>	365	4,2	-8,3	1,96	0,30	261
<b>4</b>	340	3,5	-11,8	1,95	0,32	226
<b>5</b>	445	5,0	-16,8	2,01	0,31	399
<b>6</b>	500	8,6	-25,4	2,04	0,31	511
<b>7</b>	630	9,6	-35,0	2,09	0,30	831

Il valore del modulo dinamico di taglio, dipendente da  $V_s$  e densità si riferisce a condizioni di bassa deformazione. Per deformazioni significativamente superiori, come di norma nei calcoli geotecnici, i valori dovranno essere idoneamente corretti e utilizzati solo nei modi e nei casi appropriati.

<b>D.M. 17/01/2018</b>	<b>Profondità del bedrock sismico</b>	<b><math>V_{s,eq}</math> (m/s)</b>	<b>Categoria di sottosuolo</b>	Valore di $V_{s,eq}$ calcolato mediante l'espressione 3.2.1 del D.M. 17/01/2018 $V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$ Categoria di sottosuolo assegnata in base a quanto indicato nella Tabella 3.2 II
Calcolo a partire dal ripiano di esecuzione MASW (p.c.)	Oltre -30,0 m	<b>392</b>	<b>B</b>	
Calcolo a partire da - 1,0 m dal p.c.	Oltre -30,0 m	<b>412</b>	<b>B</b>	

Si sottolinea come la Categoria di Sottosuolo di Progetto, stimata in base a quanto previsto dal D.M. 17/01/2018, deve essere definita dal Geologo o dal progettista anche in funzione dei dati progettuali.

Si riporta inoltre la stratigrafia schematica del modello medio fino a -35,0 m dal p.c., ottenuto mediante analisi MASW, utilizzato per il calcolo del parametro  $V_{s,eq}$  (**Fig. 6**).



**Fig. 6** - Profilo sismostratigrafico.

In base ai dati sismostratigrafici ottenuti, si rileva uno strato di copertura superficiale, nel complesso scarsamente addensato, di spessore pari a 2,1 m, con un valore di velocità delle onde di taglio (onde  $S$ ) pari a 185 m/s.

Da -2,1 a -4,1 m dal p.c., si riscontra un valore di velocità delle onde  $S$  pari a 260 m/s, correlabile a depositi moderatamente addensati, afferenti alle porzioni superficiali della sequenza deposizionale fluvioglaciale che caratterizza il sottosuolo del territorio in cui ricade l'area in esame.

Da -4,1 m, e fino a -25,4 m dal p.c., si rilevano valori di  $V_s$  in graduale aumento con la profondità, compresi tra 340 e 500 m/s, propri di depositi nel complesso da addensati a molto addensati. Deboli inversioni dei valori di velocità delle onde  $S$ , come quella riscontrata tra -8,3 e -11,8 m dal p.c. ( $V_s=340$  m/s), possono essere dovute alla presenza di uno o più orizzonti meno addensati rispetto all'intera sequenza deposizionale indagata.

Oltre -25,4 m dal p.c., si segnala un valore di velocità delle onde  $S$  pari a 630 m/s per il quale è possibile ipotizzare la presenza di orizzonti particolarmente addensati.

Il profilo sismostratigrafico ottenuto risulta correlabile con il quadro geologico dell'area oggetto di indagine e i valori di velocità delle onde  $S$  nei primi metri sono compatibili con l'andamento delle prove penetrometriche eseguite contestualmente all'indagine sismica.

**ALLEGATO 7**  
**Interpretazione e risultati della prova geofisica HVSR**

AOO CERNUSCO SUL NAVIGLIO  
Protocollo Arrivo N. 14704/2025 del 17-03-2025  
Allegato 3 - Class. 6.1 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente

### 3 - ANALISI HVSR

Allo scopo di migliorare la definizione del profilo verticale  $V_s$  nelle porzioni più profonde e di calcolare la possibile frequenza di risonanza di sito, si è scelto di eseguire, in corrispondenza dello stendimento sismico MASW, una misurazione dei microtremori sismici ambientali per la definizione e l'analisi del rapporto spettrale H/V.

#### 3.1 - Cenni sulla metodologia HVSR

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è basata sulla misura dei rapporti medi fra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali e verticale del rumore sismico ambientale. La prova a stazione singola consiste nella valutazione sperimentale dei rapporti di ampiezza spettrale fra le componenti orizzontali (H) e la componente verticale (V) delle vibrazioni ambientali sulla superficie del terreno misurati in un punto con un apposito sismometro a tre componenti. Il risultato di questa prova è una curva sperimentale, che rappresenta il valore del rapporto fra le ampiezze spettrali medie delle vibrazioni in funzione della frequenza di vibrazione. Le frequenze alla quali la curva H/V mostra dei massimi, sono legate alle frequenze di risonanza del terreno al di sotto del punto di misura. L'ampiezza di questi massimi è proporzionale (anche se non linearmente) all'entità del contrasto di impedenza sismica esistente alla base della copertura.

In particolare, in presenza di forti variazioni nel profilo di velocità delle onde  $S$  nel sottosuolo (legate per esempio alla transizione fra sedimenti soffici e basamento rigido), la funzione H/V mostra dei massimi marcati in corrispondenza della frequenza di risonanza  $f_r$  relativa alla configurazione stratigrafica del sito (con  $f_r$  circa uguale al rapporto fra la velocità media delle onde  $S$  fino alla profondità del salto di velocità e il quadruplo di questa profondità). Pertanto, questa prova ha lo scopo principale di mettere in luce la presenza di fenomeni di risonanza sismica e consentire una stima delle frequenze alle quali il moto del terreno può risultare amplificato a causa di questi fenomeni.

#### 3.2 - Acquisizione dei dati

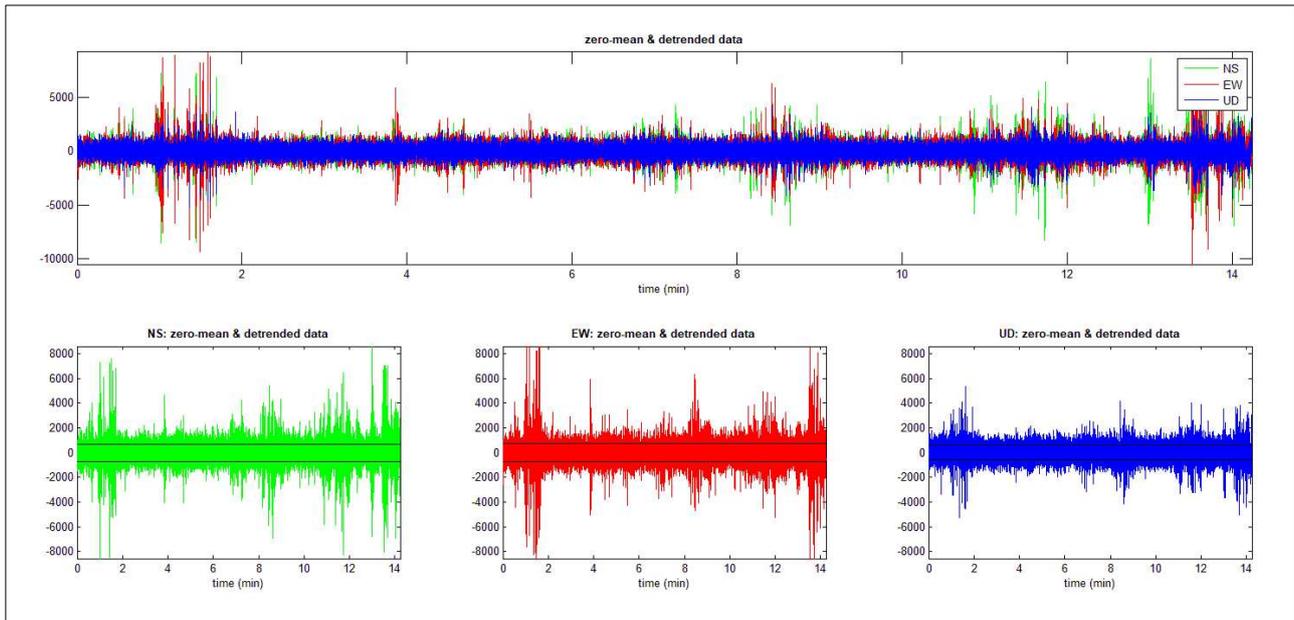
Nell'area d'indagine è stata eseguita, mediante stazione singola o tromometro, una misura di rumore sismico ambientale per un tempo di registrazione massimo di 15 minuti.

La strumentazione utilizzata si compone nello specifico di:

- un sistema di ricezione costituito da un tromometro CGE a 3 componenti geofoniche con frequenza propria di 2 Hz per acquisizioni del microtremore lungo la direzione verticale e le due direzioni orizzontali ortogonali.
- un sistema di acquisizione e memorizzazione costituito da un sismografo modulare in grado di registrare in modo digitale le forme d'onda generate (*Geode Geometrics Mod. 3-1000*); il sismografo A/D è in grado di campionare segnali tra 0.025 ms e 16 ms (campionamento eseguito a 4 ms). Il sistema di acquisizione è completato da un computer per l'analisi e la memorizzazione del segnale e appositi cavi di collegamento.

### 3.3 - Analisi ed elaborazione dei segnali acquisiti

I risultati delle analisi presentati in questo lavoro sono stati ottenuti con il software *winMASW* versione *Acd 7.1*, che permette di determinare i rapporti medi fra le componenti spettrali del rumore, misurate sul piano orizzontale e verticale. A questo scopo, l'acquisizione del rumore ambientale è stata suddivisa in una serie di finestre temporali di uguale durata (finestre di 20 ms), per ciascuna delle quali è stato determinato lo spettro del moto.

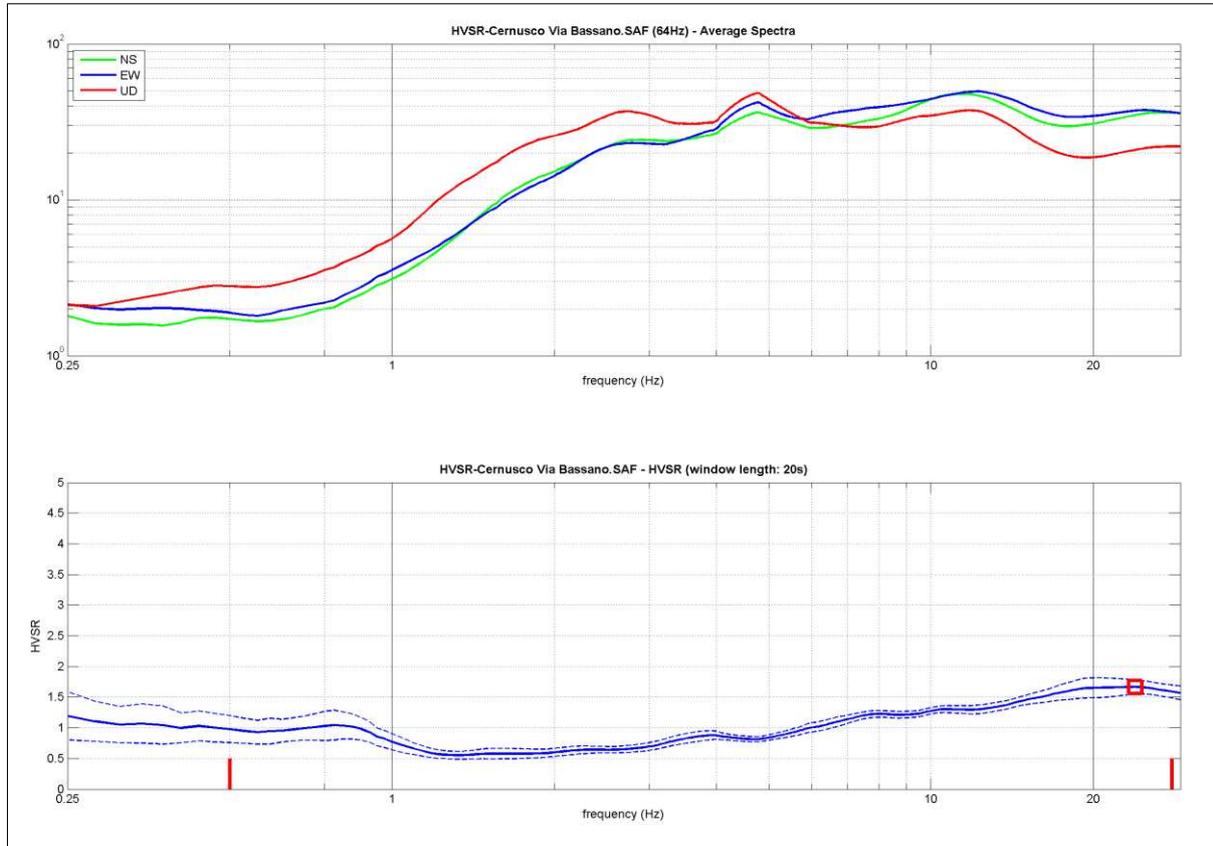


**Fig. 3 - Visualizzazione dei dati dopo la rimozione di eventi transienti.**

La determinazione della curva HVSR ha previsto in sintesi i seguenti steps:

- 1) Eliminazione manuale da parte dell'utente delle parti di segnale costituite dal disturbo arrecato da eventi non conformi al rumore ambientale (transienti). Questa operazione produce una diminuzione della lunghezza del segnale analizzato (vedi figura precedente).
- 2) Definizione della lunghezza degli intervalli entro cui calcolare le curve HVSR (20 ms).
- 3) Calcolo delle trasformate di Fourier delle tre componenti x, y, z del moto.
- 4) Operazione di smoothing degli spettri di Fourier.
- 5) Somma delle due componenti orizzontali x e y.
- 6) Calcolo delle curve HVSR come rapporto spettrale tra la componente orizzontale H e la componente verticale V negli N intervalli temporali stazionari.
- 7) Calcolo della curva HVSR media tra le n curve HVSR.

I risultati parziali ottenuti, durante le fasi di elaborazione delle curve H/V, sono stati iterativamente controllati andando a valutare la direttività e la stabilità nel tempo della curva HVSR.



**Fig. 4** - Visualizzazione HVSr e spettro medio di ampiezza del sito indagato.

La curva HVSr calcolata, indica un picco principale a circa 23,9 Hz; la sua validità viene verificata, mediante software *winMASW*, secondo i criteri di ammissibilità del progetto *SESAME* (che definiscono la robustezza statistica della curva HVSr e degli eventuali picchi presenti).

**Criteria for a reliable H/V curve** (Criteri per una curva affidabile)

- #1.  $[f_0 > 10/Lw]$ :  $23.898 > 0.5$  (OK)
- #2.  $[nc > 200]$ :  $36803 > 200$  (OK)
- #3.  $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$  (OK)

**Criteria for a clear H/V peak** (Criteri per un picco H/V chiaro)

- #1.  $[\text{exists } f^- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2]$ : (NO)
- #2.  $[\text{exists } f^+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2]$ : (NO)
- #3.  $[A_0 > 2]$ :  $1.7 < 2$  (NO)
- #4.  $[f_{\text{peak}}[A_{h/v}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$ : (NO)
- #5.  $[\sigma_A < \epsilon(f_0)]$ :  $9.451 > 1.195$  (NO)
- #6.  $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$ :  $0.116 < 1.58$  (OK)



UNI EN ISO 9001:2015

**EUROGEO S.R.L. - INDAGINI GEOGNOSTICHE**

Via Sentirone, 10 – 20037 Paderno Dugnano (MI)

Tel. 02.91084691 - Fax 02.99108919

info@eurogeosrl.it - eurogeosrl@pec.eurogeosrl.it

[www.eurogeosrl.it](http://www.eurogeosrl.it)

### **3.4 - Descrizione dei risultati**

Il picco a 23,9 Hz con ampiezza pari a 1,7 rispetta tutti i criteri *SESAME* per una curva affidabile; tuttavia, non è rispettata la condizione che prevede la verifica di un minimo di 5 criteri su 6 per un picco chiaro, nonostante siano stati modificati, in diverso modo, i parametri di elaborazione affinché essi fossero tutti verificati.

Dall'analisi della curva HVSR, eseguita tra 0,5 Hz e 28,0 Hz (frequenze utili ai fini ingegneristici, tali da includere anche il picco principale) è quindi risultata una possibile frequenza principale attorno a 23,9 Hz. Questa non può essere definita come certamente significativa ai fini dell'individuazione di una possibile frequenza di risonanza di sito.

Dall'andamento delle tre componenti del segnale acquisito, si specifica che il picco di risonanza del sito indagato, poco pronunciato, nonostante non siano verificati tutti i criteri *SESAME*, possa essere ritenuto comunque di origine stratigrafica, ma correlabile ad un debole contrasto di impedenza sismica superficiale e poco significativo per la ricostruzione sismostratigrafica affidabile del profilo di Vs.

In generale, l'assenza di un picco di frequenza significativo è correlabile alla mancanza di forti contrasti di impedenza sismica a profondità di interesse sismostratigrafico all'interno della sequenza deposizionale indagata e/o all'aumento graduale, con la profondità, delle caratteristiche di addensamento dei terreni stessi.

Alla luce dei risultati ottenuti si è pertanto opportunamente scelto di non modellare la curva HVSR per trarre informazioni di tipo sismostratigrafico, quest'ultime desunte invece dall'analisi MASW di seguito riportata.

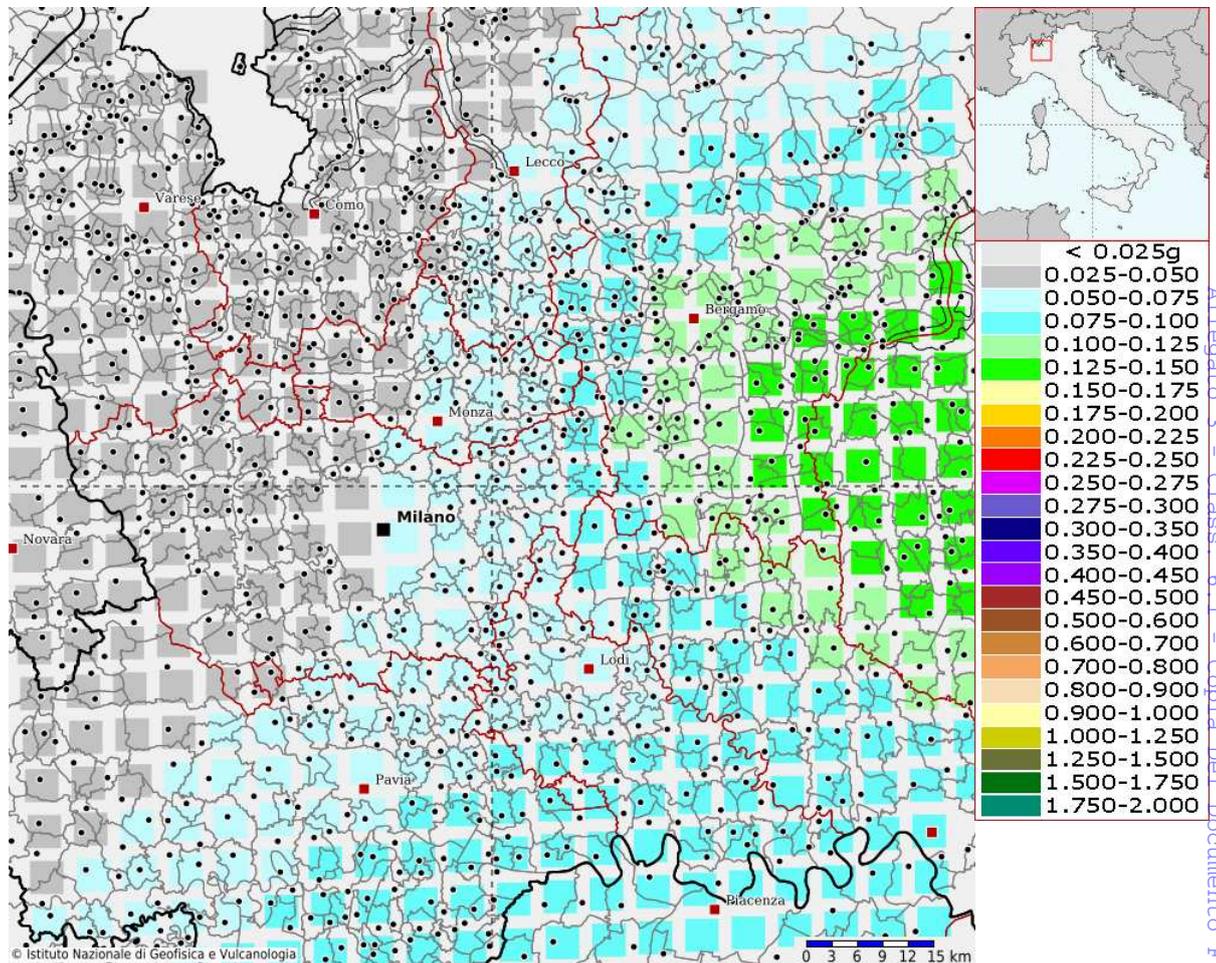
## **ALLEGATO 8**

### **Spettri di risposta elastici calcolati con analisi 1D di RSL**



### Modello di pericolosità sismica del territorio nazionale MPS04-S1 (2004)

Informazioni sul nodo con ID: 12041 - Latitudine: 45.514 - Longitudine: 9.356



AOO CERNUSCO SUL NAVIGLIO  
Protocollo Arrivo N. 14704/2025 del 17-03-2025  
Allegato 3 - Class. 6.1 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente

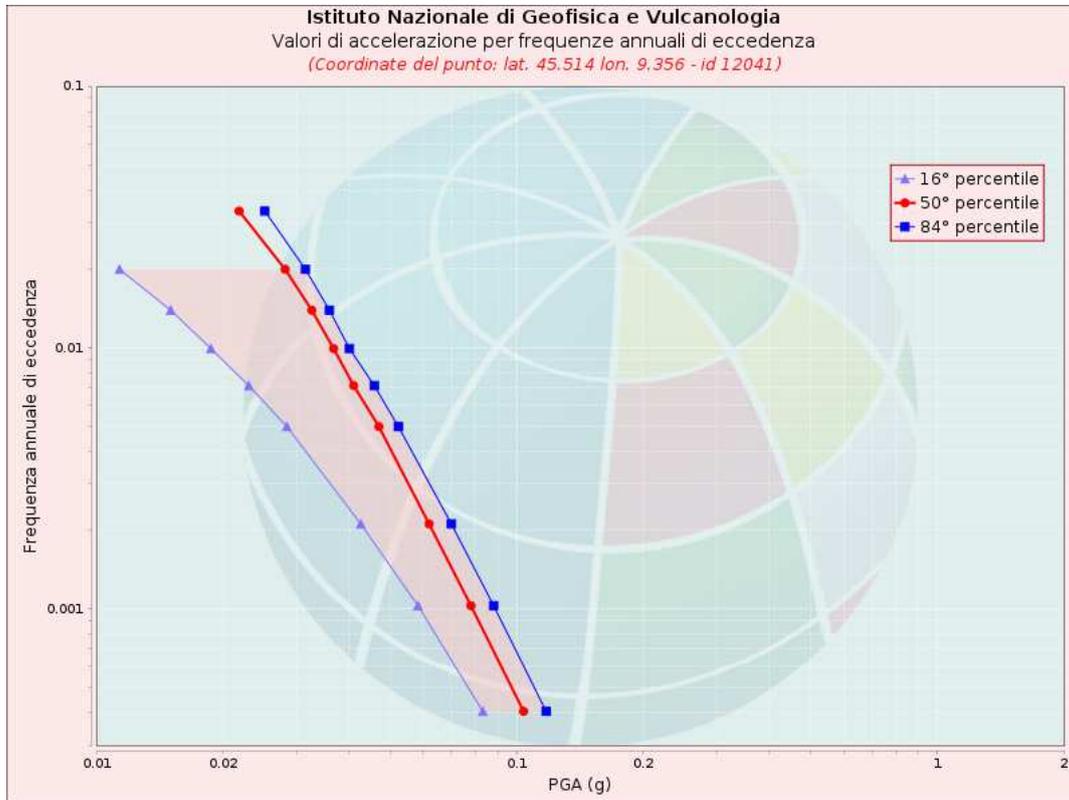
La mappa rappresenta il modello di pericolosità sismica per l'Italia e i diversi colori indicano il valore di scuotimento (PGA = Peak Ground Acceleration; accelerazione di picco del suolo, espressa in termini di g, l'accelerazione di gravità) atteso con una probabilità di eccedenza pari al 10% in 50 anni su suolo rigido (classe A, Vs30 > 800 m/s) e pianeggiante.

Le coordinate selezionate individuano un nodo della griglia di calcolo identificato con l'ID **12041** (posto al centro della mappa). Per ogni nodo della griglia sono disponibili numerosi parametri che descrivono la pericolosità sismica, riferita a diversi periodi di ritorno e diverse accelerazioni spettrali.



## Curva di pericolosità

La pericolosità è l'insieme dei valori di scuotimento (in questo caso per la PGA) per diverse frequenze annuali di eccedenza (valore inverso del periodo di ritorno). La tabella riporta i valori mostrati nel grafico, relativi al valore mediano (50mo percentile) ed incertezza, espressa attraverso il 16° e l'84° percentile.



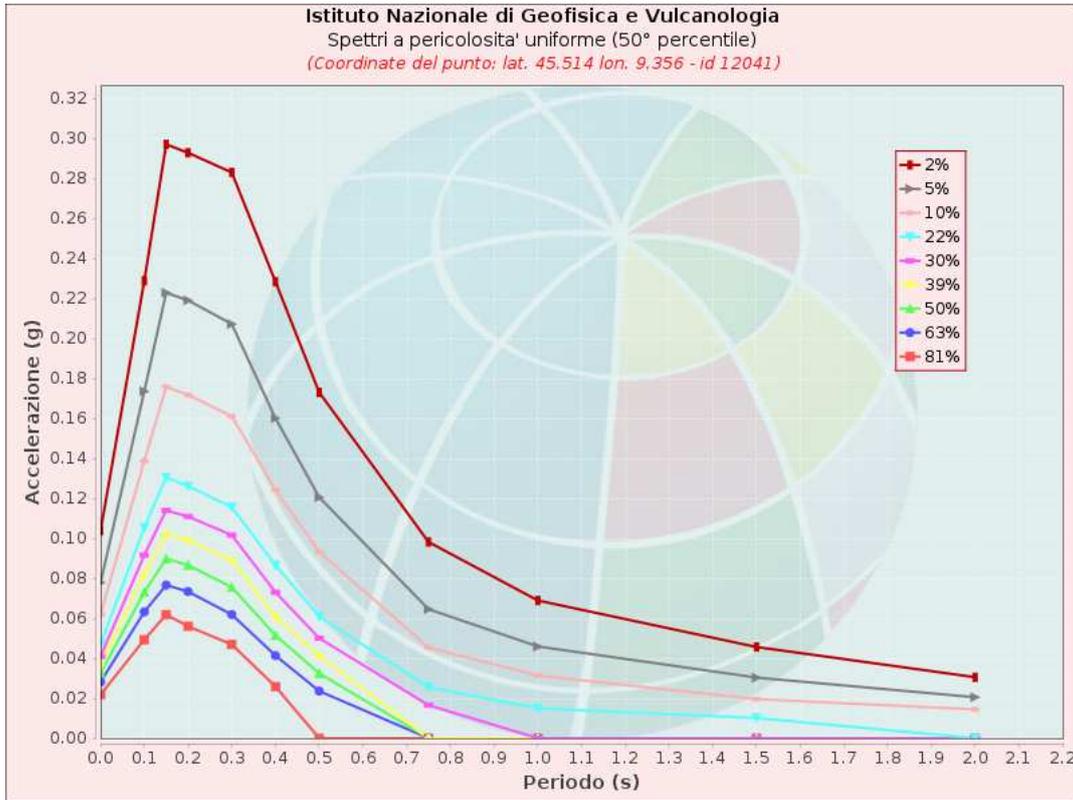
Frequenza annuale di ecc.	PGA (g)		
	16° percentile	50° percentile	84° percentile
0.0004	0.083	0.104	0.118
0.0010	0.058	0.078	0.088
0.0021	0.043	0.062	0.070
0.0050	0.028	0.047	0.052
0.0071	0.023	0.041	0.046
0.0099	0.019	0.037	0.040
0.0139	0.015	0.033	0.036
0.0199	0.011	0.028	0.031
0.0332	0.000	0.022	0.025



**Spettri a pericolosità uniforme**

Gli spettri indicano i valori di scuotimento calcolati per 11 periodi spettrali, compresi tra 0 e 2 secondi. La PGA corrisponde al periodo pari a 0 secondi. Il grafico è relativo alle stime mediane (50mo percentile) proposte dal modello di pericolosità.

I diversi spettri nel grafico sono relativi a diverse probabilità di eccedenza (PoE) in 50 anni. La tabella riporta i valori mostrati nel grafico.



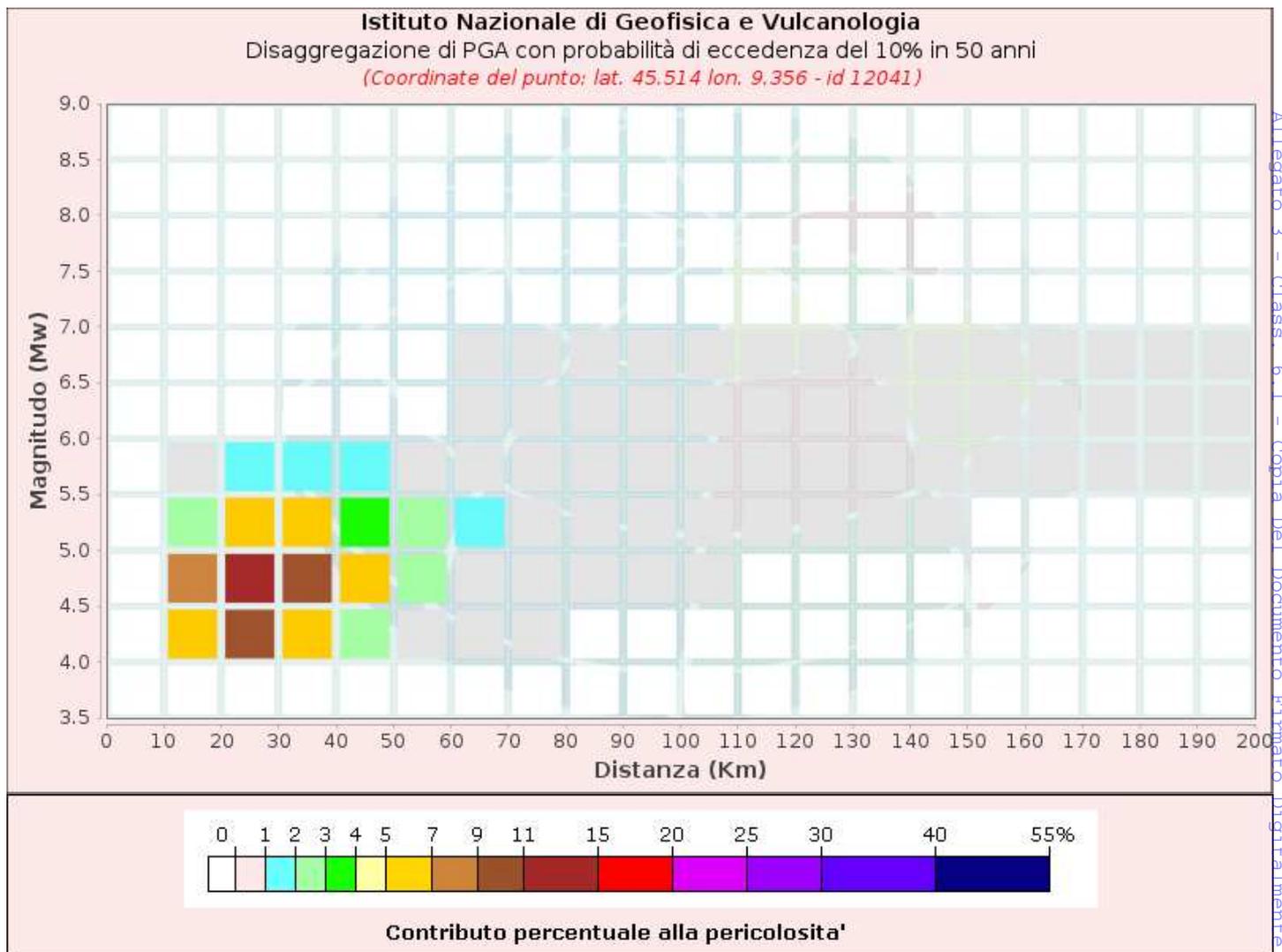
Spettri a pericolosità uniforme (50° percentile)											
PoE in 50 anni	Accelerazione (g)										
	Periodo (s)										
	0.0	0.1	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0
2%	0.104	0.229	0.297	0.293	0.283	0.228	0.173	0.098	0.069	0.046	0.031
5%	0.078	0.174	0.223	0.219	0.207	0.160	0.121	0.065	0.046	0.030	0.020
10%	0.062	0.139	0.176	0.172	0.161	0.124	0.093	0.045	0.031	0.020	0.014
22%	0.047	0.105	0.131	0.126	0.116	0.087	0.061	0.025	0.015	0.010	0.000
30%	0.041	0.092	0.114	0.111	0.102	0.073	0.050	0.017	0.000	0.000	0.000
39%	0.037	0.082	0.102	0.099	0.089	0.061	0.041	0.000	0.000	0.000	0.000
50%	0.033	0.073	0.090	0.087	0.076	0.051	0.032	0.000	0.000	0.000	0.000
63%	0.028	0.063	0.077	0.073	0.062	0.041	0.024	0.000	0.000	0.000	0.000
81%	0.022	0.049	0.062	0.056	0.047	0.026	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000



## Grafico di disaggregazione

Il grafico rappresenta il contributo percentuale delle possibili coppie di valori di magnitudo-distanza epicentrale alla pericolosità del nodo, rappresentata in questo caso dal valore della PGA mediana, per una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.

La tabella riporta i valori mostrati nel grafico ed i valori medi di magnitudo, distanza ed epsilon.



AOO CERNUSCO SUL NAVIGLIO  
Protocollo Arrivo N. 14704/2025 del 17-03-2025  
Allegato 3 - Class. 6.1 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente



Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni

Distanza in Km	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	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	5.7400	7.5500	2.4800	0.5710	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	9.2200	14.2000	5.8200	1.5800	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	5.6600	10.5000	5.5400	1.6500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	2.5400	5.6900	3.7300	1.2300	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.8000	2.4300	2.0000	0.7260	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.1610	0.9920	1.1500	0.5260	0.0996	0.0146	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0033	0.3500	0.7250	0.5070	0.2660	0.0409	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.1020	0.5450	0.5500	0.2900	0.0472	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0165	0.3430	0.5080	0.2770	0.0476	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0003	0.1600	0.4070	0.2920	0.0544	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0561	0.2770	0.2520	0.0506	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0161	0.2120	0.1990	0.0385	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0042	0.1520	0.1530	0.0282	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0746	0.1040	0.0206	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0312	0.0637	0.0138	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0131	0.0387	0.0094	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0060	0.0305	0.0068	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0027	0.0292	0.0050	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0006	0.0264	0.0040	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi: magnitudo = 4.88 ; distanza = 36.9 ; epsilon = 1.28

## FONDAZIONI SUPERFICIALI - Equazione di Brinch-Hansen

## CARICO LIMITE DI PROGETTO DEI TERRENI DI FONDAZIONE (SLU) SECONDO LE NTC D.M. 17/01/18

## Approccio 2, combinazione A1+M1+R3

## Condizioni statiche

<b>Committente</b>	Consorzio Cevedale - Bassano	<b>UNITA' A</b> <b>FONDAZIONI A -1,0 M</b>	<b>Z<sub>q</sub>, Z<sub>γ</sub></b>	<b>Z<sub>c</sub></b>
<b>Cantiere:</b>	PA m1_3, Via Cevedale		[-]	[-]
<b>Località:</b>	Cernusco sul Naviglio			
<b>Data:</b>	Marzo 2024		1,00	1,00

## Angolo di resistenza a taglio, coesione, coefficienti di sicurezza parziali, fattori di capacità portante

$\phi'_k$	D <sub>r</sub>	$\phi'_{kr}$	$\gamma_{\phi'}$	$\phi'_d$	c' <sub>k</sub>	$\gamma_{c'}$	c' <sub>d</sub>	$\delta_d$	N <sub>q</sub>	N <sub>γ</sub>	N <sub>c</sub>
[°]	[-]	[°]	[-]	[°]	[kPa]	[-]	[°]	[°]	[-]	[-]	[-]
29,0	0,35	27,22	1,00	27,2	0	1,00	0,0	18,9	13,52	12,89	24,34

## Pesi di volume del terreno, profondità del piano di posa e del livello piezometrico, tensione verticale efficace, coefficienti di accelerazione sismica

$\gamma_n$	$\gamma_{sat}$	$\gamma'_r$	D <sub>f</sub>	z <sub>w</sub>	D <sub>w</sub>	$\sigma'_{vo}$	k <sub>H</sub>	k <sub>V</sub>
[kN/m <sup>3</sup> ]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[m]	[m]	[m]	[kPa]	[-]	[-]
18,0	21,0	18,0	1,00	-	-	18	0,0000	0,0000

## Forma e profondità della fondazione, eccentricità del carico - PLATEA

B	L	e <sub>B</sub>	B'	e <sub>L</sub>	L'	$\gamma_c$	D	s <sub>q</sub>	s <sub>γ</sub>	s <sub>c</sub>
[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[kN/m <sup>3</sup> ]	[m]	[-]	[-]	[-]
3,60	18,00	0,00	3,60	0,00	18,00	18,0	0,5	1,09	0,94	1,10

## Inclinazione del carico, inclinazione del piano di posa e del piano campagna

V <sub>d</sub>	carichi orizzontali paralleli a B'				carichi orizz. paralleli a L'			α	ω	b <sub>q</sub> = b <sub>γ</sub>	g <sub>q</sub> = g <sub>γ</sub>
	H <sub>d</sub>	i <sub>γ</sub>	i <sub>q</sub>	i <sub>c</sub>	H <sub>d</sub>	i <sub>q</sub> = i <sub>γ</sub>	i <sub>c</sub>				
[kN]	[kN]	[-]	[-]	[-]	[kN]	[-]	[-]	[°]	[°]	[-]	[-]
14801	0	1,00	1,00	1,00	0	1,00	1,00	0	0	1,00	1,00

## Resistenza limite di progetto

$\gamma_r$	R <sub>d</sub> /A'	A' = B' L'	R <sub>d</sub>
[-]	[kPa]	[m <sup>2</sup> ]	[kN]
2,30	228	64,80	14801

## Verifica alla rottura per carico limite

R <sub>d</sub> ≥ V <sub>d</sub>
SI

## Verifica alla rottura per scorrimento

$\gamma_r$	S <sub>d</sub>	S <sub>d</sub> ≥ H <sub>d</sub>
[-]	[kN]	
1,10	4615	SI

AOO CERNUSCO SUL NAVIGLIO  
 Protocollo n. 14704/2025 del 17/03/2025  
 Allegato 3 - Classe 5.1 - Copia Del Documento Firmato Digitalmente

## FONDAZIONI SUPERFICIALI - Equazione di Brinch-Hansen

## CARICO LIMITE DI PROGETTO DEI TERRENI DI FONDAZIONE (SLU) SECONDO LE NTC D.M. 17/01/18

## Approccio 2, combinazione A1+M1+R3

## Condizioni statiche

<b>Committente</b>	Consorzio Cevedale - Bassano	<b>UNITA' A</b> <b>FONDAZIONI A -1,0 M</b>	<b>Z<sub>q</sub>, Z<sub>γ</sub></b>	<b>Z<sub>c</sub></b>
<b>Cantiere:</b>	PA m1_3, Via Cevedale		[-]	[-]
<b>Località:</b>	Cernusco sul Naviglio			
<b>Data:</b>	Marzo 2024		0,99	0,99

## Angolo di resistenza a taglio, coesione, coefficienti di sicurezza parziali, fattori di capacità portante

$\phi'_k$ [°]	D <sub>r</sub> [-]	$\phi'_{kr}$ [°]	$\gamma_{\phi'}$ [-]	$\phi'_d$ [°]	c' <sub>k</sub> [kPa]	$\gamma_{c'}$ [-]	c' <sub>d</sub> [°]	$\delta_d$ [°]	N <sub>q</sub> [-]	N <sub>γ</sub> [-]	N <sub>c</sub> [-]
29,0	0,35	27,22	1,00	27,2	0	1,00	0,0	18,9	13,34	12,52	23,83

## Pesi di volume del terreno, profondità del piano di posa e del livello piezometrico, tensione verticale efficace, coefficienti di accelerazione sismica

$\gamma_n$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma'_r$ [kN/m <sup>3</sup> ]	D <sub>f</sub> [m]	z <sub>w</sub> [m]	D <sub>w</sub> [m]	$\sigma'_{vo}$ [kPa]	k <sub>H</sub> [-]	k <sub>V</sub> [-]
18,0	21,0	18,0	1,00	-	-	18	0,0200	0,0100

## Forma e profondità della fondazione, eccentricità del carico - PLATEA

B [m]	L [m]	e <sub>B</sub> [m]	B' [m]	e <sub>L</sub> [m]	L' [m]	$\gamma_c$ [kN/m <sup>3</sup> ]	D [m]	s <sub>q</sub> [-]	s <sub>γ</sub> [-]	s <sub>c</sub> [-]
3,60	18,00	0,00	3,60	0,00	18,00	18,0	0,5	1,09	0,94	1,10

## Inclinazione del carico, inclinazione del piano di posa e del piano campagna

V <sub>d</sub> [kN]	carichi orizzontali paralleli a B'				carichi orizz. paralleli a L'			α [°]	ω [°]	b <sub>q</sub> = b <sub>γ</sub> [-]	g <sub>q</sub> = g <sub>γ</sub> [-]
	H <sub>d</sub> [kN]	i <sub>γ</sub> [-]	i <sub>q</sub> [-]	i <sub>c</sub> [-]	H <sub>d</sub> [kN]	i <sub>q</sub> = i <sub>γ</sub> [-]	i <sub>c</sub> [-]				
13657	270	0,94	0,96	0,96	0	1,00	1,00	0	0	1,00	1,00

## Resistenza limite di progetto

$\gamma_r$ [-]	R <sub>d</sub> /A' [kPa]	A' = B' L' [m <sup>2</sup> ]	R <sub>d</sub> [kN]
2,30	211	64,80	13657

## Verifica alla rottura per carico limite

R <sub>d</sub> ≥ V <sub>d</sub>
SI

## Verifica alla rottura per scorrimento

$\gamma_r$ [-]	S <sub>d</sub> [kN]	S <sub>d</sub> ≥ H <sub>d</sub>
1,10	4258	SI

## LEGENDA

$\phi'_k$	=	angolo di resistenza al taglio del terreno in termini di sforzi efficaci (valore caratteristico)
$D_{rk}$	=	densità relativa del terreno di fondazione (valore caratteristico)
$\phi'_{kr}$	=	angolo di resistenza al taglio del terreno ridotto in funzione di $D_r$ (valore caratteristico)
$\gamma_\phi$	=	coefficiente di sicurezza parziale per l'angolo di resistenza al taglio del terreno
$\phi'_d$	=	angolo di resistenza al taglio del terreno in termini di sforzi efficaci (valore di progetto)
$c'_k$	=	coesione intercetta in termini di sforzi efficaci (valore caratteristico)
$\gamma_c$	=	coefficiente di sicurezza parziale per la coesione intercetta del terreno
$c'_d$	=	coesione intercetta in termini di sforzi efficaci (valore di progetto)
$\delta_d$	=	angolo resistenza al taglio tra terreno e fondazione (valore di progetto)
$z_q, z_\gamma, z_c$	=	fattori correttivi di Paolucci & Pecker (1997)
$N_q, N_\gamma, N_c$	=	fattori di capacità portante
$\gamma_n$	=	peso di volume naturale del terreno sopra falda
$\gamma_{sat}$	=	peso di volume naturale del terreno sotto falda (saturato)
$\gamma'_r$	=	peso di volume efficace del terreno sopra il piano di posa della fondazione
$D_f$	=	profondità da p.c. del piano di posa della fondazione
$z_w$	=	profondità da p.c. della superficie piezometrica
$D_w$	=	profondità della superficie piezometrica dal piano di posa della fondazione
$\sigma'_{vo}$	=	tensione verticale efficace alla quota di imposta della fondazione
$B$	=	larghezza della fondazione
$L$	=	lunghezza della fondazione
$e_B$	=	eccentricità del carico lungo la dimensione B
$B'$	=	larghezza efficace equivalente della fondazione
$e_L$	=	eccentricità del carico lungo la dimensione L
$L'$	=	lunghezza efficace equivalente della fondazione
$\gamma'_c$	=	peso di volume efficace del terreno di calcolo
$D$	=	profondità di incasso della fondazione
$s_q, s_\gamma, s_c$	=	fattori di forma
$H_d$	=	carico di progetto (componente orizzontale)
$V_d$	=	carico di progetto (componente verticale)
$i_q, i_\gamma, i_c$	=	fattori di inclinazione del carico
$\alpha$	=	inclinazione del piano di posa della fondazione
$\omega$	=	inclinazione del piano campagna
$b_q = b_\gamma$	=	fattori di inclinazione del piano di posa della fondazione
$g_q = g_\gamma$	=	fattori di inclinazione del piano campagna
$\gamma_r$	=	coefficienti parziali per le verifiche agli SLU di fondazioni superficiali
$R_d$	=	resistenza limite di progetto (nei confronti dei carichi verticali)
$S_d$	=	resistenza limite di progetto (nei confronti dei carichi orizzontali)



## Riferimenti

La descrizione della costruzione del modello di pericolosità sismica MPS04 è contenuta nel sito <http://zonesismiche.mi.ingv.it>

La descrizione della stima di tutti i parametri è contenuta nel sito <http://esse1.mi.ingv.it> , da cui si può accedere anche alle mappe interattive.

Per quanto riguarda le analisi di disaggregazione, i dettagli sono disponibili nella pagina del deliverable D14 del progetto S1 (<http://esse1.mi.ingv.it/d14.html>).

La pubblicazione scientifica di riferimento è:

Stucchi M., Meletti C., Montaldo V., Crowley H., Calvi G.M., Boschi E., 2011. Seismic Hazard Assessment (2003-2009) for the Italian Building Code. Bull. Seismol. Soc. Am. 101(4), 1885-1911. DOI: 10.1785/0120100130.

## CERNUSCO SUL NAVIGLIO (MI) VIA CEVEDALE / MARZO 2024

## SLV - SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICO CALCOLATI CON ANALISI 1D DI RSL

	6956xa	467ya	960xa					MEDIA
T (sec)	Ag (g)							
0,010	0,09954	0,10697	0,10322	0,12625	0,11393	0,11030	0,11503	0,11075
0,011	0,09966	0,10702	0,10334	0,12637	0,11403	0,11045	0,11515	0,11086
0,012	0,09980	0,10709	0,10350	0,12652	0,11415	0,11063	0,11529	0,11100
0,013	0,09996	0,10717	0,10369	0,12671	0,11431	0,11066	0,11548	0,11114
0,015	0,10016	0,10729	0,10393	0,12693	0,11450	0,11094	0,11571	0,11135
0,016	0,10040	0,10748	0,10421	0,12721	0,11473	0,11131	0,11599	0,11162
0,018	0,10069	0,10789	0,10457	0,12756	0,11526	0,11177	0,11634	0,11201
0,020	0,10106	0,10864	0,10499	0,12798	0,11586	0,11236	0,11681	0,11253
0,022	0,10150	0,10748	0,10554	0,12853	0,11689	0,11311	0,11742	0,11292
0,024	0,10204	0,10754	0,10610	0,12923	0,11822	0,11412	0,11818	0,11363
0,027	0,10292	0,10773	0,10704	0,13017	0,11996	0,11549	0,11924	0,11465
0,030	0,10409	0,10802	0,10825	0,13140	0,12225	0,11744	0,12075	0,11603
0,033	0,10543	0,10855	0,10994	0,13343	0,12546	0,12069	0,12285	0,11805
0,036	0,11080	0,11189	0,11203	0,13753	0,12944	0,12974	0,13308	0,12350
0,040	0,10938	0,12248	0,11544	0,13274	0,14184	0,15624	0,15503	0,13331
0,044	0,13914	0,12627	0,11926	0,14717	0,15043	0,15502	0,19212	0,14706
0,048	0,14060	0,12630	0,12678	0,15509	0,14841	0,19516	0,20268	0,15643
0,053	0,15321	0,13788	0,12634	0,16531	0,13864	0,24685	0,19738	0,16651
0,059	0,17029	0,14224	0,12970	0,15915	0,18155	0,23186	0,19923	0,17343
0,065	0,17832	0,13315	0,15282	0,14954	0,16679	0,18831	0,22075	0,16996
0,072	0,23049	0,14473	0,16956	0,17447	0,19282	0,22672	0,24290	0,19739
0,079	0,29555	0,17084	0,21472	0,23940	0,18289	0,27340	0,25962	0,23377
0,088	0,28480	0,19947	0,31893	0,26328	0,24248	0,25760	0,30466	0,26732
0,097	0,21871	0,22760	0,43127	0,27040	0,29081	0,20767	0,24791	0,27062
0,107	0,26774	0,20850	0,36450	0,25755	0,33838	0,26228	0,23348	0,27606
0,118	0,25115	0,19035	0,30624	0,23789	0,35396	0,36518	0,28832	0,28473
0,130	0,19984	0,26038	0,33048	0,24327	0,42184	0,31952	0,22477	0,28573
0,143	0,18034	0,24464	0,31670	0,24033	0,43726	0,40281	0,30577	0,30398
0,158	0,25037	0,22974	0,25337	0,20942	0,34583	0,38350	0,32790	0,28573
0,175	0,27530	0,24006	0,24470	0,21337	0,39022	0,29823	0,30639	0,28118
0,193	0,20740	0,25114	0,25781	0,29232	0,43379	0,31448	0,26014	0,28815
0,213	0,21638	0,26567	0,30034	0,38886	0,45232	0,38807	0,43424	0,34941
0,235	0,21721	0,26491	0,22262	0,36169	0,23838	0,28425	0,46327	0,29319
0,259	0,22101	0,26140	0,19389	0,25745	0,20535	0,26425	0,35516	0,25122
0,286	0,26663	0,30682	0,13530	0,28102	0,20052	0,26476	0,23461	0,24138
0,316	0,26174	0,28532	0,14184	0,31666	0,19507	0,26454	0,18375	0,23556
0,349	0,24610	0,22501	0,16384	0,31563	0,13161	0,20447	0,21510	0,21454
0,385	0,20202	0,17756	0,13802	0,30677	0,11778	0,20482	0,23877	0,19796
0,425	0,18267	0,13885	0,10941	0,21616	0,10734	0,21523	0,22631	0,17085
0,469	0,16298	0,11129	0,09401	0,19157	0,10138	0,17944	0,21404	0,15067
0,517	0,12982	0,08457	0,07746	0,14957	0,09291	0,15454	0,19051	0,12563
0,571	0,10399	0,06168	0,07026	0,12319	0,08439	0,16092	0,14857	0,10757
0,630	0,10797	0,04906	0,07243	0,09827	0,07971	0,19744	0,12248	0,10391
0,695	0,09315	0,03964	0,07557	0,08587	0,07385	0,10417	0,10788	0,08288
0,767	0,08902	0,03899	0,06858	0,07403	0,06424	0,09189	0,09443	0,07445
0,847	0,07544	0,03008	0,05418	0,06911	0,06230	0,05750	0,09223	0,06298
0,935	0,06559	0,02419	0,05662	0,05303	0,05903	0,05812	0,08405	0,05723
1,032	0,06443	0,01921	0,04776	0,04462	0,05892	0,05539	0,07393	0,05204
1,139	0,04418	0,01794	0,04428	0,04517	0,05253	0,04875	0,06900	0,04598
1,257	0,02845	0,01364	0,03205	0,04827	0,04383	0,04789	0,06456	0,03981
1,387	0,02959	0,01110	0,02979	0,03962	0,04260	0,02915	0,05128	0,03330
1,531	0,03359	0,01045	0,02214	0,03376	0,04022	0,02705	0,04650	0,03053
1,689	0,03322	0,01519	0,02134	0,02686	0,03807	0,01863	0,04165	0,02785
1,864	0,02487	0,01083	0,01777	0,02165	0,03694	0,01408	0,04611	0,02461
2,058	0,02900	0,01456	0,01287	0,01907	0,03365	0,01079	0,03605	0,02229
2,271	0,02180	0,00956	0,01032	0,01632	0,02916	0,00894	0,04209	0,01974
2,507	0,02619	0,01517	0,01080	0,01144	0,02619	0,00657	0,04015	0,01950
2,766	0,02478	0,00820	0,00628	0,01056	0,01814	0,00607	0,02517	0,01417
3,053	0,02596	0,00740	0,00504	0,00832	0,01464	0,01006	0,02043	0,01312
3,370	0,04673	0,01496	0,00429	0,00776	0,01866	0,00989	0,01416	0,01664
3,719	0,02227	0,00995	0,00397	0,00612	0,01204	0,00536	0,00740	0,00959
4,105	0,01095	0,00770	0,00447	0,00568	0,01133	0,00483	0,00880	0,00768
4,530	0,00827	0,00911	0,00285	0,00499	0,00652	0,00486	0,00583	0,00606
5,000	0,01040	0,01657	0,00258	0,00288	0,00437	0,00291	0,00437	0,00630

**ALLEGATO 9**  
**Resistenze dei terreni di fondazione agli SLU**

**ALLEGATO 10**

**Valutazione dei cedimenti in terreni incoerenti dai valori di  $N_{SPT}$  (SLE)**

**VERIFICA DEI CEDIMENTI IN TERRENI INCOERENTI  
DAI VALORI DI  $N_{SPT}$**

**Metodo di Burland e Burbidge (1984)**

<b>Committente</b>	Consorzio Cevedale - Bassano
<b>Cantiere:</b>	PA m1_3, Via Cevedale
<b>Località':</b>	Cernusco sul Naviglio
<b>Data:</b>	Marzo 2024

**Parametri geotecnici dei terreni di fondazione**

	Unità A	Unità B	medio	max.	min..						
	$N_{SPT}$ [colpi/30cm]	$N_{SPT}$ [colpi/30cm]	$I_c$ [-]	$I_c$ [-]	$I_c$ [-]	$\gamma_n$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$D_f$ [m]	$z_w$ [m]	$h_w$ [m]	$\sigma'_{vo}$ [kPa]
6	6	29	0,139	0,139	0,015	18,0	21,0	1,00	-	0,00	18,00

**Fattore tempo**

t	R	$R_3$	$f_t$
[anni]	[-]	[-]	[-]
30	0,2	0,3	1,50

**Fondazioni a PLATEA**

B	L	q	q'	$f_s$	H	$z_i$	$f_h$
[m]	[m]	[kPa]	[kPa]	[-]	[m]	[m]	[-]
3,60	18,00	228	228	1,42	2,53	2,53	1,00
3,60	18,00	228	228	1,42	2,53	2,53	1,00

max.	min.
S	S
[mm]	[mm]
156	17

**VERIFICA DEI CEDIMENTI IN TERRENI INCOERENTI  
DAI VALORI DI  $N_{SPT}$** 
**Metodo di Burland e Burbidge (1984)**

<b>Committente</b>	Consorzio Cevedale - Bassano
<b>Cantiere:</b>	PA m1_3, Via Cevedale
<b>Località':</b>	Cernusco sul Naviglio
<b>Data:</b>	Marzo 2024

**Parametri geotecnici dei terreni di fondazione**

	Unità A	Unità B	medio	max.	min..						
	$N_{SPT}$ [colpi/30cm]	$N_{SPT}$ [colpi/30cm]	$I_c$ [-]	$I_c$ [-]	$I_c$ [-]	$\gamma_n$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$\gamma_{sat}$ [kN/m <sup>3</sup> ]	$D_f$ [m]	$z_w$ [m]	$h_w$ [m]	$\sigma'_{vo}$ [kPa]
6	6	29	0,139	0,139	0,015	18,0	21,0	1,00	-	0,00	18,00

**Fattore tempo**

t	R	$R_3$	$f_t$
[anni]	[-]	[-]	[-]
30	0,2	0,3	1,50

**Fondazioni a PLATEA**

B	L	q	q'	$f_s$	H	$z_i$	$f_h$
[m]	[m]	[kPa]	[kPa]	[-]	[m]	[m]	[-]
3,60	18,00	53	53	1,42	2,53	2,53	1,00
3,60	18,00	53	53	1,42	2,53	2,53	1,00

max.	min.
S	S
[mm]	[mm]
30	3

## LEGENDA

<b><math>N_{SPT}</math></b>	=	resistenza alla penetrazione da prova S.P.T.
<b><math>I_c</math></b>	=	indice di compressibilità
<b><math>\gamma_n</math></b>	=	peso di volume naturale del terreno sopra falda
<b><math>\gamma_{sat}</math></b>	=	peso di volume saturo del terreno sotto falda
<b><math>D_f</math></b>	=	profondità da p.c. del piano di posa della fondazione
<b><math>z_w</math></b>	=	profondità da p.c. della superficie piezometrica
<b><math>h_w</math></b>	=	altezza della superficie piezometrica sopra il piano di posa della fondazione
<b><math>\sigma'_{vo}</math></b>	=	tensione verticale efficace agente alla quota di imposta della fondazione
<b><math>t</math></b>	=	tempo ( $t \geq 3$ anni)
<b><math>R</math></b>	=	coefficiente pari a 0,2 per carichi statici e a 0,4 per carichi pulsanti
<b><math>R_3</math></b>	=	coefficiente pari a 0,3 per carichi statici e a 0,7 per carichi pulsanti
<b><math>f_t</math></b>	=	fattore tempo
<b><math>B</math></b>	=	larghezza della fondazione
<b><math>L</math></b>	=	lunghezza della fondazione
<b><math>q</math></b>	=	pressione totale lorda
<b><math>q'</math></b>	=	pressione efficace lorda
<b><math>f_s</math></b>	=	fattore di forma
<b><math>H</math></b>	=	spessore dello strato compressibile
<b><math>z_i</math></b>	=	profondità significativa per il calcolo del cedimento
<b><math>f_h</math></b>	=	fattore che tiene conto dello spessore dello strato compressibile
<b><math>S</math></b>	=	cedimento
<b><math>\Delta S</math></b>	=	cedimento differenziale tra fondazioni contigue