

Rif. L3223

Comune di

**Cesate**

(Città Metropolitana di Milano)



Vermeer, *Il Geografo* - 1668

**GEOARBOR STUDIO  
PROFESSIONALE**

**Dr. Geol. Carlo D. Leoni**

Iscrizione N° 776 all'Albo  
dell'Ordine dei Geologi  
della Regione Lombardia  
C.F. LNECLD59T23F205Z  
Partita IVA 06708220964

- *Geologia*
- *Geotecnica*
- *Idrogeologia*
- *Indagini ambientali*
- *Pianificazione territoriale*
- *Cave, discariche*
- *Ripristini ambientali*
- *Indagini geognostiche*
- *Ingegneria naturalistica*
- *Pozzi*
- *Rilievi topografici*
- *Rilievi GPS*
- *Laboratorio geotecnico*
- *Studi Idroelettrici*

**Realizzazione nuovo Centro Polifunzionale in Via Arno**

## **RELAZIONE GEOLOGICA e SISMICA (R1+R3)**

**ai sensi del D.M. 17-01-2018 e della DGR IX 2616/2011**

## **RELAZIONE GEOTECNICA (R2)**

**ai sensi del D.M. 17-01-2018 e della L.R. 33-2015**

**Committente: AMMINISTRAZIONE Comunale di Cesate (MI)**

Vaprio D'Adda, 05/12/2022

Dott. Geol. Carlo Leoni



## Sommario

<b>1. Premessa</b> .....	<b>2</b>
<b>2. Inquadramento geologico, geomorfologico ed idrogeologico dell'area in esame</b> .....	<b>5</b>
<b>3. Indagini di riferimento</b> .....	<b>7</b>
3.1. Prove penetrometriche dinamiche continue SCPT di riferimento .....	7
3.2. Prova sismica MASW di riferimento .....	8
<b>4. Modello geotecnico del sottosuolo e scelta dei parametri caratteristici del terreno</b> .....	<b>10</b>
<b>5. Tipologie fondazionali verificate</b> .....	<b>14</b>
<b>6. Analisi dell'azione sismica</b> .....	<b>15</b>
<b>7. Verifica alla liquefazione</b> .....	<b>21</b>
<b>8. Verifiche di sicurezza sulle fondazioni ai sensi delle NTC 2018</b> .....	<b>22</b>
8.1. Verifiche nei confronti degli stati limite ultimi (SLU) - Determinazione delle resistenze (Rd) .....	22
8.2. Verifiche nei confronti degli stati limite di esercizio (SLE) – Analisi dei cedimenti .....	26
<b>9. Pericolosità sismica locale</b> .....	<b>28</b>
9.1. Analisi sismica di primo livello .....	28
<b>10. Verifica della compatibilità dell'intervento con i vincoli e la fattibilità geologica locale ai sensi della DGR 2616/2011</b> .....	<b>29</b>
<b>11. Considerazioni conclusive</b> .....	<b>31</b>

## Allegati

- ✓ *Tabulati e grafici prove penetrometriche dinamiche SCPT di riferimento;*
- ✓ *Prova sismica masw di riferimento*
  
- ✓ *Mod. 9 - asseverazione relazione geologica R1 e R3*
- ✓ *Mod. 10 - asseverazione relazione geotecnica R2*

*pag.1*

**Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovo Centro Polifunzionale in Via Arno a Cesate (MI)**

Rif.Geo. L3223		Referente: J.M.
Data elaborato: dicembre 2022	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

## 1. Premessa

In seguito all'incarico conferito dall'**AMMINISTRAZIONE Comunale di Cesate (MI)** è stata redatta la presente relazione volta alla definizione delle caratteristiche geologiche, idrogeologiche, geotecniche e sismiche internamente all'area di Via Arno, nell'ambito del progetto di realizzazione di un nuovo Centro Polifunzionale.

L'area si trova nel settore centro settentrionale del territorio comunale di Cesate e si presenta come una superficie planare ad una quota media di circa 195 m s.l.m.



*Inquadramento corografico dell'area di intervento su foto satellitare (fonte: Google Earth)*

La presente relazione geologica viene redatta ai sensi della **D.M. 17/11/2018 - NTC2018 (relazione geologica R1)** e ai sensi della **DGR 2616/2011 (relazione geologica R3)**.

La prima (ai sensi delle **NTC 2018 – D.M. 17/01/2018**) è finalizzata a ricostruire il modello geologico necessario all'estensore della relazione geotecnica per poter estendere i risultati delle indagini geologiche, geofisiche e geotecniche a tutto il volume significativo coinvolto dalla costruzione, nonché ad approfondire eventuali ulteriori criticità che il geologo dovesse aver riscontrato in sito oltre a quelle segnalate nel PGT. La seconda (ai sensi della **DGR 2616/2011**) è finalizzata a verificare la fattibilità dell'intervento proposto sviluppando le indagini geologiche, geofisiche e geotecniche nonché le verifiche richieste dalle norme di attuazione del PGT per la specifica classe di fattibilità geologica e per la specifica classe di pericolosità sismica che l'estensore dello studio geologico del PGT ha attribuito all'area dove ricade l'intervento, indicando eventuali opere di mitigazione del rischio che si dovranno realizzare per rendere fattibile l'opera.

*pag.2*

**Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovo Centro Polifunzionale in Via Arno a Cesate (MI)**

Rif.Geo. L3223		Referente: J.M.
Data elaborato: dicembre 2022	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

La **relazione geotecnica R2** (ai sensi delle NTC) è finalizzata a ricostruire il modello geotecnico a supporto delle verifiche di stabilità dell'opera, attribuendo a ciascun corpo geologico le sue caratteristiche geotecniche, nonché all'elaborazione dei calcoli di stabilità dell'opera.

Sono state considerate le prove eseguite nell'area adiacente a quella in esame in data 20/06/2017, che consistono in **n.2 prove penetrometriche dinamiche SCPT e n.1 stendimento sismico MASW**, con le quali si sono potute verificare le caratteristiche geotecniche del sottosuolo di fondazione delle opere in progetto.

Come superficie di riferimento (0 RIF.) a cui riportare tutte le quote riportate di seguito è stato scelto il piano campagna sul quale sono state eseguite le prove.

Considerata l'omogeneità litostratigrafia e geomeccanica dei terreni presenti nell'ambito della zona indagata e tenuto in considerazione l'estensione del lotto da indagare, si ritiene che le indagini eseguite siano sufficienti per poter caratterizzare i terreni in oggetto. Tale scelta è avvalorata dalla conoscenza delle aree circostanti a quella di intervento che in un intorno significativo presentano caratteristiche litostratigrafiche e geomeccaniche simili.

Sulla base del **D.g.r. 11 luglio 2014 - n. X/2129** "Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d)", **il territorio comunale di Cesate è stato classificato come ZONA 4**. In riferimento all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20/03/2003, sulla base della litostratigrafia rilevata e dell'indagine sismica MASW di riferimento, è possibile attribuire ai terreni indagati il profilo stratigrafico del **suolo di fondazione di "tipo C"**.

Nello specifico la relazione viene così articolata:

- ✓ definizione delle condizioni geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche locali;
- ✓ definizione del modello geotecnico del sottosuolo e parametrizzazione dei terreni;
- ✓ valutazione degli effetti sismici di sito e definizione della categoria sismica del suolo di fondazione;
- ✓ valutazione della capacità portante dei terreni;
- ✓ verifica dei cedimenti fondazionali;
- ✓ valutazione della permeabilità dei terreni superficiali;
- ✓ verifica della compatibilità dell'intervento con la fattibilità geologica locale ai sensi della DGR 2616/2011.

#### **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

- ✓ D.M. 14 Gennaio 2008: Norme tecniche per le costruzioni
- ✓ CIRCOLARE 2 febbraio 2009, n. 617: Istruzioni per l'applicazione delle 'Nuove norme tecniche per le costruzioni' di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008. (GU n. 47 del 26-2-2009 - Suppl. Ordinario n.27)
- ✓ Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20/03/2003
- ✓ Eurocodice 7: Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali.
- ✓ Eurocodice 8: Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.
- ✓ D.G.R. n. 2616/2011 criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell'art. 57 della l.r. 11 marzo 2005, n. 12 – testo integrale

pag.3

**Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovo Centro Polifunzionale in Via Arno a Cesate (MI)**

Rif.Geo. L3223		Referente: J.M.
Data elaborato: dicembre 2022	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

- ✓ D.G.R. n. 2129/14 Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia. Disposizioni in materia di opere o di costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche
- ✓ LR 33/15 Disposizioni in materia di opere o di costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche. Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica
- ✓ D.G.R. n. 5001/16 Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica
- ✓ D.M. 17 Gennaio 2018: Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"
- ✓ CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n. 7: Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018. (GU n. 42 del 20-2-2018)

*pag.4*

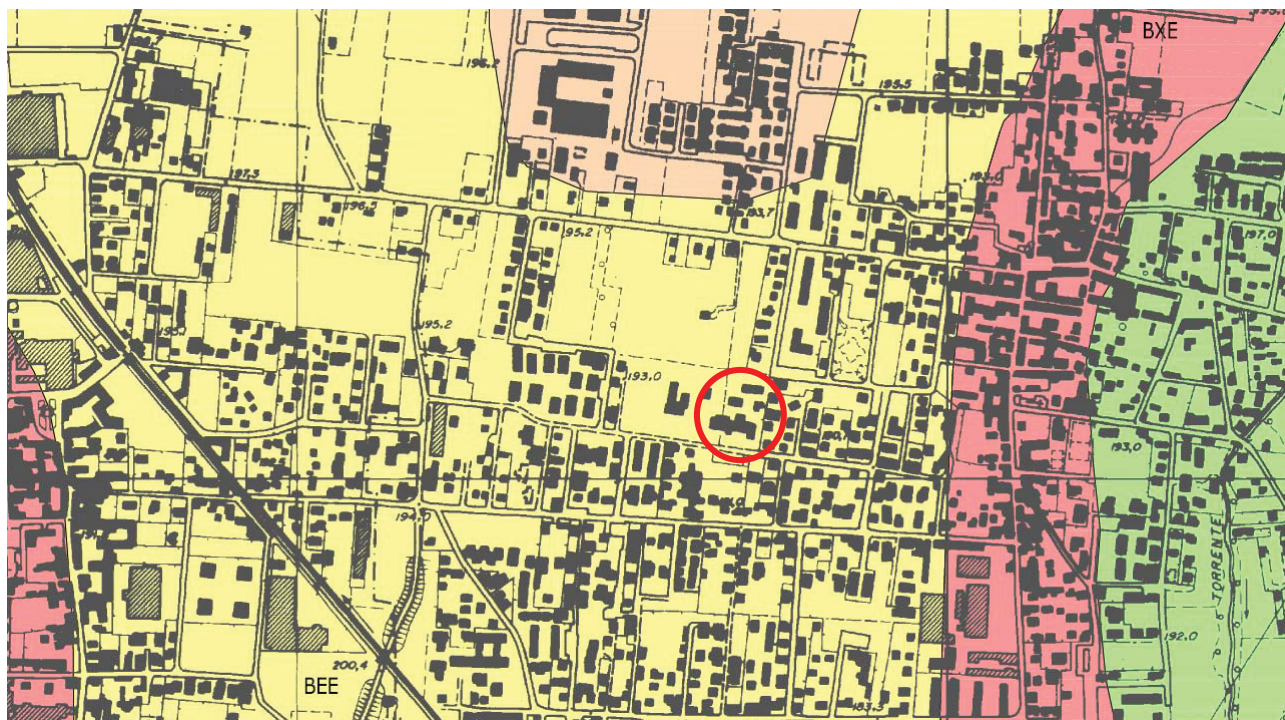
**Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovo Centro Polifunzionale in Via Arno a Cesate (MI)**

<i>Rif. Geo. L3223</i>		<i>Referente: J.M.</i>
<i>Data elaborato: dicembre 2022</i>	<i>Rev1:</i>	<i>Rev2:</i>
<i>GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda</i>	<i>Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964</i>	<i>www.geoarbor.it info@geoarbor.it</i>



## 2. Inquadramento geologico, geomorfologico ed idrogeologico dell'area in esame

Il Comune di Cesate è collocato nel contesto morfologico dell'alta pianura della Provincia di Milano, al confine con la Provincia di Varese. Il territorio presenta andamento sostanzialmente sub-pianeggiante con quote altimetriche decrescenti verso Sud.



- BEE** UNITA' DI CADORAGO  
Ghiaie a supporto clastico o di matrice, con matrice sabbiosa; intercalazioni sabbiose, sabbie limoso-argillose; limi con clasti sparsi (depositi fluvio-glaciali). Superficie limite superiore caratterizzata da suoli con spessore compreso tra 1,5 e oltre 2 m. Copertura loessico-colluviale semplice localmente conservata (ad Ovest delle Groane).  
PLEISTOCENE MEDIO- PLEISTOCENE SUPERIORE

*Carta geologica allegata al PGT comunale (nel cerchio rosso l'area in esame)*

L'unità sub affiorante che caratterizza l'area in esame è il Supersintema di Besnate, che corrisponde al Würm e si identifica con il "Livello fondamentale della Pianura". Il Supersintema di Besnate occupa l'intera porzione occidentale del territorio comunale, di cui costituisce il settore più depresso. Il territorio comunale è rappresentato da tre delle quattro unità informali in cui è suddiviso, ovvero Unità di Bulgarograsso, l'Unità di Minoprio e l'Unità di Cadorago. Quest'ultima interessa l'area di indagine ed è caratterizzata da depositi di origine fluvio-glaciale, costituiti da ghiaie medio grossolane massive e localmente isorientate, a supporto principalmente di matrice sabbiosa o a supporto clastico; intercalazioni sabbiose; sabbie limoso-argillose; limi con clasti sparsi. La matrice è costituita da sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi. Superficie limite superiore caratterizzata da suoli con spessore compreso tra 1,5 e oltre 2 m.

*pag.5*

**Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovo Centro Polifunzionale in Via Arno a Cesate (MI)**

Rif.Geo. L3223		Referente: J.M.
Data elaborato: dicembre 2022	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

L'indagine geognostica, secondo le attese, non ha rilevato la presenza di una falda idrica superficiale, che dalle conoscenze idrogeologiche locali si trova a profondità superiori a 20 m rispetto al piano campagna.

Considerando le caratteristiche strutturali in progetto e le condizioni idrogeologiche generali è da escludere un'interazione della falda con il settore di sottosuolo interessato dai cunei di rottura e dai bulbi di pressione generabili inferiormente alle fondazioni.

*pag.6*

**Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovo Centro Polifunzionale in Via Arno a Cesate (MI)**

Rif.Geo. L3223		Referente: J.M.
Data elaborato: dicembre 2022	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

### 3. Indagini di riferimento

Per la caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni è stata presa in considerazione la campagna geologica eseguita in data 20/06/2017 nell'area adiacente a quella in esame, così articolata:

- ✓ n.2 prove penetrometriche dinamiche SCPT;
- ✓ n.1 prova sismica con metodologia MASW

Come superficie di riferimento (0 RIF.) a cui riportare tutte le quote riportate di seguito è stato scelto il piano campagna sul quale sono state eseguite le prove.

#### 3.1. Prove penetrometriche dinamiche SCPT di riferimento

Le prove sono state eseguite con penetrometro dinamico PAGANI tipo TG 63/100 KN che, secondo la normativa europea I.S.S.M.F.E. '88, è paragonabile ad un DPSH (Dynamic Probing Super Heavy). Le caratteristiche dello strumento utilizzato corrispondono alla nuova categoria di standard internazionale.

La prova consiste nell'infissione lungo la direzione del filo a piombo di una punta conica metallica, posta all'estremità di un'asta d'acciaio, in seguito alla discesa di un maglio di peso pari a 73 Kg direttamente sulla testa di battuta da un'altezza di caduta di 75cm. Viene registrato il numero di colpi necessari per l'infissione di 30 cm delle aste nel terreno ( $N_{SCPT}$ ) in modo continuo, fornendo delle indicazioni sui parametri geotecnici in funzione della resistenza che il terreno stesso offre alla penetrazione.

Per quanto riguarda la conversione dei valori di resistenza alla penetrazione dinamica nei corrispondenti valori di Standard Penetration Test (SPT) la relazione tra i due valori è generalmente regolata da rapporti empirici basati sullo studio di esperienze pratiche (funzione della litologia e del rendimento dello strumento).

Le caratteristiche tecniche principali vengono riassunte di seguito:

- ✓ peso massa battente                      73 Kg
- ✓ altezza di caduta                            0.75 m
- ✓ lunghezza aste                                0.90 m
- ✓ diametro aste                                 34 mm
- ✓ diametro punta conica                    51 mm
- ✓ angolo del cono                              60°

In nessuna delle due prove è stata raggiunta la situazione di rifiuto meccanico all'avanzamento della punta, corrispondente al superamento di 100 colpi/piede, ed hanno raggiunto una profondità più che sufficiente per la comprensione delle problematiche inerenti il sistema terreno-fondazione.

Di seguito si riportano le profondità raggiunte in corrispondenza di ciascuna prova. Le tabelle e i diagrammi delle prove penetrometriche vengono riportati in allegato.

pag.7

**Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovo Centro Polifunzionale in Via Arno a Cesate (MI)**

Rif. Geo. L3223		Referente: J.M.
Data elaborato: dicembre 2022	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it



Prova	Profondità in metri da p.c. (0 RIF.)	Rifiuto
P1	-9,0 m	no
P2	-9,0 m	no

### 3.2 Prova sismica MASW di riferimento

Per la valutazione della compatibilità dell'intervento con il rischio sismico locale è stata presa in considerazione una prova sismica MASW, con la quale si è ricostruito l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (onde S) fino alla profondità di 31 m dall'attuale piano di campagna.

Il modello sismico monodimensionale ( $V_s$ -profondità) costituisce infatti l'aspetto principale sia nella stima degli effetti sismici di sito che nella definizione dell'azione sismica di progetto, in quanto consente di conoscere l'incidenza delle locali condizioni stratigrafiche nella modifica della pericolosità sismica di base (amplificazioni di natura litologica). Ciò permette una corretta progettazione strutturale in relazione alle condizioni sito-specifiche, garantendo un adeguato livello di protezione antisismica delle costruzioni (O.P.C.M. 3274 e s.m.i; D.M. 14.01.2008 "Norme tecniche sulle costruzioni").

Il metodo MASW è basato sul tempo necessario perché la perturbazione elastica, indotta nel sottosuolo da una determinata sorgente di energia, giunga agli apparecchi di ricezione (geofoni) percorrendo lo strato superficiale con onde dirette e gli strati più profondi con onde rifratte.

L'apparecchiatura utilizzata per le prospezioni è costituita da una serie di 24 geofoni che vengono spazati regolarmente lungo un determinato allineamento e da un sismografo che registra l'istante di partenza della perturbazione ed i tempi di arrivo delle onde a ciascun geofono.

La registrazione, sia del momento dell'energizzazione che del segnale amplificato da ciascun geofono, avviene simultaneamente su di un unico diagramma (sismogramma). La sorgente di energia nel nostro caso è rappresentata da una mazza battente avente un peso di 5 Kg.

Caratteristiche tecniche strumentazione:

Canali	24
Canale aggiuntivo	segnale di starter non filtrato
Risoluzione	16 bit
Dinamica	equiv. 22 bit su 24 canali camp 0.1 ms/canale con sovracampionamento
Pretrigger	automatico
Rumore	paria a 1 lsb con ingressi canali in corto
Trasmissione dati	GPRS
Trigger	segnale, apertura e chiusura
Filtri analogici	antialias 4° ordine
Alimentazione	12 V - 3A

pag.8

**Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovo Centro Polifunzionale in Via Arno a Cesate (MI)**

Rif. Geo. L3223		Referente: J.M.
Data elaborato: dicembre 2022	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

Nello specifico è stato eseguito n.1 stendimento sismico tipo MASW secondo le modalità riportate in precedenza. La lunghezza di uno stendimento è pari a 48 metri. L'ubicazione è riportata nella planimetria in allegato.

Di seguito viene riportato il profilo delle Vs con la profondità.

Strato	Da prof	A prof	Vs
1	0.0	1.0	<b>219.9</b>
2	1.0	2.1	<b>250.9</b>
3	2.1	4.0	<b>335.0</b>
4	4.0	9.1	<b>350.6</b>
5	9.1	16.8	<b>349.7</b>
6	16.8	26.0	<b>351.5</b>
7	26.0	31.0	<b>352.7</b>

La Vs30, velocità media di propagazione entro 31 m di profondità delle onde di taglio, viene calcolata con la seguente espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^n H_i / V_i}$$

dove  $H_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio  $< 10^{-6}$ ) dello strato  $i$ -esimo, per un totale di  $N$  strati presenti nei 30 m superiori.

A partire dai profili Vs-profondità propri dell'area in esame, ottenuto mediante le indagini MASW appositamente realizzate, è possibile calcolare, con la formula sopra riportata, il valore di Vs30 che risulta:

$$\mathbf{Vs30 = 345.1 \text{ m/s}}$$

In riferimento all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20/03/2003, che definisce le "Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici", sulla base dell'indagine eseguita è possibile far rientrare l'area indagata nella categoria di suolo di fondazione **tipo C**: "Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate o argille di media consistenza, caratterizzati da valori di Vs compresi tra 180 e 360 m/s".

pag.9

**Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovo Centro Polifunzionale in Via Arno a Cesate (MI)**

Rif.Geo. L3223		Referente: J.M.
Data elaborato: dicembre 2022	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

#### 4. Modello geotecnico del sottosuolo e scelta dei parametri caratteristici del terreno

La ricostruzione delle caratteristiche del sottosuolo della zona indagata è basata sul censimento dei dati esistenti (stratigrafie dei pozzi comunali, indagini geotecniche, scavi, ecc.), oltre che ovviamente dall'esame indiretto delle prove penetrometriche dinamiche prese in considerazione.

Lo schema litostratigrafico del sottosuolo può essere così riassunto:

- ✓ da 0,0 a 2,0 m da 0 RIF. sabbie limose poco/moderatamente addensate - **ORIZZONTE A**
- ✓ da 2,0 a 9,0 m da 0 RIF. ghiaie e sabbie in matrice limosa mediamente addensate - **ORIZZONTE B**

Le risultanze delle prove, confrontate con i dati a disposizione dello scrivente per questo settore del territorio comunale, contribuisce a definire un modello in cui i terreni di substrato si presentano geomeccanicamente e litostratigraficamente abbastanza uniformi su tutta la superficie indagata.

L'indagine eseguita ha consentito di individuare terreni alluvionali in cui la litozona superficiale (**ORIZZONTE A**) è costituita da sabbie limose poco/moderatamente addensate fino ad una profondità media di -2,0 m dal p.c. per l'intera area di indagine (-2,0 m dallo 0 RIF.). Oltre tale profondità si riscontrano terreni mediamente addensati (**ORIZZONTE B**), costituiti da ghiaie e sabbie in matrice limosa.

Per il modello geotecnico del sottosuolo utile per le elaborazioni analitiche contenute di seguito, i terreni investigati possono essere quindi suddivisi in n. 2 unità litotecniche (orizzonti) sovrapposte, sulla base dei valori di resistenza penetrometrica e probabilmente delle caratteristiche litologiche prevalenti. Ciascuna unità risulta contraddistinta da caratteristiche omogenee dal punto di vista geologico-tecnico.

I parametri geotecnici vengono ricavati dalle correlazioni proposte in letteratura in funzione dei valori di  $N_{spt}$ , a loro volta ricavati dai valori della prova penetrometrica dinamica ( $N_{scpt}$ ), tramite la seguente relazione:  $N_{spt} = N_{scpt} \times 1.5$ , considerata la presenza di terreno incoerente di natura prevalentemente sabbioso/ghiaiosa (fattore di conversione normalmente usato in terreni simili a quello in esame).

Ai tre livelli determinati si attribuiscono i seguenti parametri geotecnici. I valori di  $\phi$  e di  $E$  sono in realtà i "valori caratteristici" ( $f_k$ ) ottenuti partendo dai valori medi. Per definizione il valore caratteristico rappresenta la soglia al di sotto della quale si colloca non più del 5% dei valori desumibili da una serie teoricamente illimitata di prove.

pag.10

**Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovo Centro Polifunzionale in Via Arno a Cesate (MI)**

Rif. Geo. L3223		Referente: J.M.
Data elaborato: dicembre 2022	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.georbor.it info@georbor.it

### Orizzonte A

Costituisce la porzione di terreno più superficiale, in corrispondenza di valori di  $N_{scpt}$  oscillanti attorno a 3-6 colpi/piede, indicativi di terreni sciolti con caratteristiche geologico-tecniche limitate. Litologicamente viene assunta a composizione sabbioso-limosa. Di seguito si propone la relativa parametrizzazione.

Parametro	Valore	Unità di misura
$N_{scpt}$ (colpi da prova Scpt)	3-6	colpi/piede
$N_{spt}$ (colpi da prova Spt)	5-9	colpi/piede
$\gamma$ (peso di volume)	17,5	KN/m <sup>3</sup>
$\phi$ (angolo di attrito)	27	°
c (coesione)	-	Kg/cm <sup>2</sup>
E (modulo di deformazione)	100	Kg/cm <sup>2</sup>
Dr (densità relativa)	35	%

### Orizzonte B

Viene individuata inferiormente alla precedente in corrispondenza di valori di  $N_{scpt}$  oscillanti attorno ai 10-15 colpi/piede, indicativi di terreni mediamente addensati con caratteristiche geotecniche discrete. Litologicamente si assume a composizione ghiaioso-sabbiosa in matrice limosa. Di seguito si propone la relativa parametrizzazione.

Parametro	Valore	Unità di misura
$N_{scpt}$ (colpi da prova Scpt)	10-15	colpi/piede
$N_{spt}$ (colpi da prova Spt)	15-22	colpi/piede
$\gamma$ (peso di volume)	18,5	KN/m <sup>3</sup>
$\phi$ (angolo di attrito)	30	°
c (coesione)	-	Kg/cm <sup>2</sup>
E (modulo di deformazione)	180	Kg/cm <sup>2</sup>
Dr (densità relativa)	50	%

Il comportamento del terreno nei confronti delle sollecitazioni indotte dai carichi fondazionali viene considerato di tipo prevalentemente frizionale, per la predominanza delle componenti grossolane su quelle fini coesive, con resistenza al taglio in condizioni drenate e assenza di significative componenti secondarie per consolidazione.

Nella tabella seguente si fornisce la visualizzazione delle diverse litozone con relativi spessori rilevati in corrispondenza delle prove eseguite.

	<b>Orizzonte A</b> – terreno poco/moderatamente addensato
	<b>Orizzonte B</b> – terreno mediamente addensato

*pag.11*

**Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovo Centro Polifunzionale in Via Arno a Cesate (MI)**

Rif.Geo. L3223		Referente: J.M.
Data elaborato: dicembre 2022	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

Profondità (m)		P1	P2
0,00	-0,30	11	18
-0,30	-0,60	2	5
-0,60	-0,90	2	9
-0,90	-1,20	3	7
-1,20	-1,50	3	8
-1,50	-1,80	5	7
-1,80	-2,10	6	10
-2,10	-2,40	12	23
-2,40	-2,70	16	30
-2,70	-3,00	16	24
-3,00	-3,30	14	28
-3,30	-3,60	6	17
-3,60	-3,90	4	12
-3,90	-4,20	11	13
-4,20	-4,50	7	14
-4,50	-4,80	5	13
-4,80	-5,10	7	12
-5,10	-5,40	9	13
-5,40	-5,70	10	18
-5,70	-6,00	13	20
-6,00	-6,30	9	18
-6,30	-6,60	6	17
-6,60	-6,90	9	14
-6,90	-7,20	13	19
-7,20	-7,50	11	12
-7,50	-7,80	5	10
-7,80	-8,10	7	9
-8,10	-8,40	10	9
-8,40	-8,70	8	11
-8,70	-9,00	9	16

*I parametri geotecnici sono stati calcolati a partire dal numero di colpi mediante le correlazioni proposte in letteratura, specificate di seguito.*

*pag.12*

**Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovo Centro Polifunzionale in Via Arno a Cesate (MI)**

Rif.Geo. L3223		Referente: J.M.
Data elaborato: dicembre 2022	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964 <a href="http://www.geoarbor.it">www.geoarbor.it</a> <a href="mailto:info@geoarbor.it">info@geoarbor.it</a>		



**Densità relativa**

La densità relativa è stata ricavata con la seguente relazione di Gibbs & Holtz (1957), valida per terreni sabbiosi normal consolidati:

$$D_r = 21 [N_{spt} / (\sigma + 0.7)].$$

**Angolo di attrito**

L'angolo di attrito interno è stato ricavato dalla seguente correlazione proposta da Meyerhof che meglio si adatta alle connotazioni geotecniche in esame:

$$\phi = 23.7 + 0.57 N_{spt} - 0.006 (N_{spt})^2$$

**Modulo di deformazione**

il modulo elastico è stato calcolato attraverso la media delle seguenti correlazioni di Webb-D'Apollonia che lo legano ai valori di resistenza penetrometrica e alla litologia predominante:

$$E = 320 (N+15) \quad [x \text{ sabbie argillose}]$$

$$E = 300 (N+6) \quad [x \text{ sabbie limose}]$$

$$E = 600 (N+6) \quad [x \text{ sabbie ghiaiose}]$$

(Dove  $N = N_{spt} \cdot 70/55$  - fattore correttivo)

**Coesione**

Considerata la natura incoerente dei terreni si è considerato un valore nullo di coesione.

pag.13

**Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovo Centro Polifunzionale in Via Arno a Cesate (MI)**

Rif. Geo. L3223		Referente: J.M.
Data elaborato: dicembre 2022	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

## 5. Tipologie fondazionali verificate

L'intervento in progetto consiste nella realizzazione di un nuovo Centro Polifunzionale.

Le risultanze dell'indagine geognostica vengono riassunte di seguito, al fine di poter avanzare le ipotesi per l'adozione delle più idonee soluzioni fondazionali:

- La falda freatica, secondo i dati contenuti nel PGT comunale, si trova nell'area in esame ad una profondità maggiore di -20 m dal p.c.; si esclude pertanto un'interazione tra la falda e le opere in progetto.
- L'indagine eseguita ha consentito di individuare terreni alluvionali in cui la litozona superficiale (**ORIZZONTE A** - Nscpt medio = 3-6 colpi/piede) è costituita da sabbie limose poco/moderatamente addensate fino ad una profondità media di -2,0 m dal p.c. per l'intera area di indagine (-2,0 m dallo 0 RIF.). Oltre tale profondità si riscontrano terreni mediamente addensati (**ORIZZONTE B** - Nscpt medio = 10-15 colpi/piede), costituiti da ghiaie e sabbie in matrice limosa.

Valutate le caratteristiche geomeccaniche e litologiche dei terreni, in relazione all'intervento in esame, verranno verificate fondazioni superficiali di tipo PLINTI, impostati ad una profondità di circa -1,6 m dal p.c., nell'orizzonte A (sabbie limose poco/moderatamente addensate).

Sono state pertanto verificate le seguenti tipologie fondazionali:

- ✓ **PLINTI** a base quadrata con dimensioni di 180cm x 180cm e spessore di 125cm (comprensivo dello strato di magrone di 10cm), con piano di imposta a circa -1,6m dal p.c., nell'orizzonte A (sabbie limose poco/moderatamente addensate)

*pag.14*

**Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovo Centro Polifunzionale in Via Arno a Cesate (MI)**

Rif.Geo. L3223		Referente: J.M.
Data elaborato: dicembre 2022	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

## 6. Analisi dell'azione sismica

Il territorio comunale di **Cesate** ricade, per quanto indicato in Allegato A della D.g.r. 11 luglio 2014 - n. X/2129 "elenco dei comuni con indicazione delle relative zone sismiche e dell'accelerazione massima (agmax) presente all'interno del territorio comunale" in **ZONA 4**.

Dal 1 luglio 2009 con l'entrata in vigore delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008, per ogni costruzione ci si deve riferire ad una accelerazione di riferimento "propria" individuata sulla base delle coordinate geografiche dell'area di progetto e in funzione della vita nominale dell'opera. Un valore di pericolosità di base, dunque, definito per ogni punto del territorio nazionale, su una maglia quadrata di 5 km di lato, indipendentemente dai confini amministrativi comunali. La classificazione sismica (zona sismica di appartenenza del comune) rimane utile solo per la gestione della pianificazione e per il controllo del territorio da parte degli enti preposti (Regione, Genio civile, ecc.).

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$  (come definite di seguito), nel periodo di riferimento  $V_R$  (come definito di seguito). In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito. Le forme spettrali di interesse sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- ✓  $a_g$  accelerazione orizzontale massima al sito ( $m/s^2$ );
- ✓  $F_0$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale (-).
- ✓  $TC^*$  = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale (sec).

### 6.1 Definizione della vita nominale dell'opera

La vita nominale di un'opera strutturale  $V_N$  è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. La vita nominale dei diversi tipi di opere è quella riportata nella Tab. seguente.

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale $V_N$ (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva <sup>1</sup>	$\leq 10$
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	$\geq 50$
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	$\geq 100$

Vita nominale  $V_N$  per diversi tipi di opere.

Per l'opera in oggetto la vita nominale si assume pari a **50 anni**.

pag.15

**Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovo Centro Polifunzionale in Via Arno a Cesate (MI)**

Rif.Geo. L3223		Referente: J.M.
Data elaborato: dicembre 2022	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.gearbor.it info@gearbor.it

## 6.2 Definizione delle classi d'uso per l'opera

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

*Classe I:* Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

*Classe II:* Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

*Classe III:* Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

*Classe IV:* Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Per l'opera in oggetto la classe d'uso di riferimento è la **Classe III**: costruzioni il cui uso preveda **AFFOLLAMENTI SIGNIFICATIVI**.

## 6.3 Definizione del periodo di riferimento per l'opera

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ :

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

Il valore del coefficiente d'uso  $C_U$  è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato nella tabella seguente.

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE $C_U$	0,7	1,0	1,5	2,0

Valori del coefficiente d'uso  $C_U$ .

Se  $V_R \leq 35$  anni si pone comunque  $V_R = 35$  anni.

Per il caso in esame ne consegue che  $V_R = V_N \cdot C_U = 50 \cdot 1,5 = 75$  anni.

pag.16

**Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovo Centro Polifunzionale in Via Arno a Cesate (MI)**

Rif. Geo. L3223		Referente: J.M.
Data elaborato: dicembre 2022	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

#### 6.4 Stati limite e relative probabilità di superamento

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite di esercizio sono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;

- **Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella successiva tabella.

Stati Limite		$P_{VR}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Probabilità di superamento  $P_{VR}$  al variare dello stato limite considerato.

La scelta dello stato limite di riferimento per il caso in esame è lo SLO (con  $P_{VR}$  81%).

pag.17

**Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovo Centro Polifunzionale in Via Arno a Cesate (MI)**

Rif.Geo. L3223		Referente: J.M.
Data elaborato: dicembre 2022	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it



## 6.5 Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche

### Categorie di sottosuolo

Le categorie di suolo di fondazione, secondo l'OPCM 3274 e s.m.i. e il D.M. 17.01.2018 risultano così identificate (le profondità si riferiscono al piano di posa delle fondazioni):

TIPO DI TERRENO	PROFILO STRATIGRAFICO	PARAMETRI
		<b>V<sub>s30</sub> m/s</b>
<b>A</b>	<i>Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi</i>	<b>V<sub>s</sub> &gt; 800</b>
<b>B</b>	<i>Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità</i>	<b>360 &lt; V<sub>s</sub> &lt; 800</b>
<b>C</b>	<i>Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza</i>	<b>180 &lt; V<sub>s</sub> &lt; 360</b>
<b>D</b>	<i>Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti</i>	<b>V<sub>s</sub> &lt; 180</b>
<b>E</b>	<i>Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di V<sub>S30</sub> simili a quelli dei tipi C o D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con V<sub>S30</sub> &gt; 800m/s</i>	

### Categorie sismiche di suolo di fondazione

Per il terreno in esame la categoria di suolo è assimilabile al **Tipo C**, "Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza, caratterizzati da valori di V<sub>s</sub> compresi tra 180 e 360 m/s".

### Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la classificazione della tabella seguente.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
<b>T1</b>	<b>Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media <math>i \leq 15^\circ</math></b>
<b>T2</b>	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
<b>T3</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
<b>T4</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Le suddette categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

pag.18

**Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovo Centro Polifunzionale in Via Arno a Cesate (MI)**

Rif. Geo. L3223		Referente: J.M.
Data elaborato: dicembre 2022	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

## Amplificazione topografica

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico  $S_T$  riportati nella Tab precedente, in funzione delle categorie topografiche definite e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$ .

Per il caso in esame la categoria di riferimento è la T1, da cui  $S_T = 1,0$ .

pag.19

**Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovo Centro Polifunzionale in Via Arno a Cesate (MI)**


Rif.Geo. L3223		Referente: J.M.
Data elaborato: dicembre 2022	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

## 6.6 Calcolo dei coefficienti sismici


Sulla base dei dati tipici del sito in esame citati nei precedenti paragrafi vengono calcolati i seguenti parametri sismici.


- **Coordinate WGS84:** Lat 45.595388 - Lng 9.072585
- **Classe d'uso:** III. Costruzioni il cui uso preveda affollamenti SIGNIFICATIVI
- **Vita nominale:** 50 [anni]

**Stati limite**

 Classe Edificio

III. Affollamento significativo...

 Vita Nominale 50

 Interpolazione Media ponderata

**CU = 1.5**

Stato Limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	45	0.020	2.537	0.182
Danno (SLD)	75	0.025	2.586	0.195
Salvaguardia vita (SLV)	712	0.048	2.690	0.294
Prevenzione collasso (SLC)	1462	0.057	2.756	0.311
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	75			

**Coefficienti sismici**

 Tipo Stabilità dei pendii e fondazioni

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

H (m) 1 us (m) 0.1

 Cat. Sottosuolo C

 Cat. Topografica T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,50	1,50
CC Coeff. funz categoria	1,84	1,80	1,57	1,54
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

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

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.006	0.008	0.014	0.017
kv	0.003	0.004	0.007	0.009
Amax [m/s²]	0.297	0.368	0.707	0.843
Beta	0.200	0.200	0.200	0.200

Parametri sismici attesi al sito per i diversi Stati Limite

pag.20

**Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovo Centro Polifunzionale in Via Arno a Cesate (MI)**

Rif.Geo. L3223		Referente: J.M.
Data elaborato: dicembre 2022	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

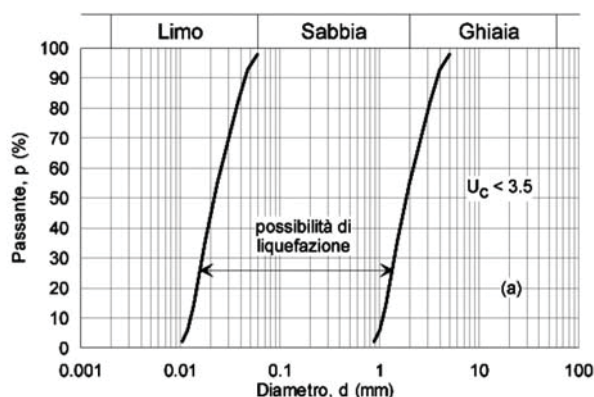
## 7. Verifica alla liquefazione

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

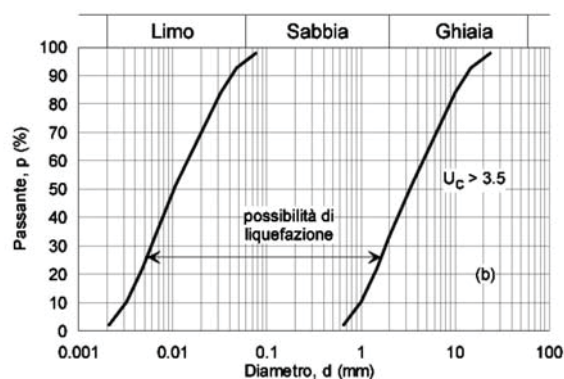
I fenomeni di liquefazione possono verificarsi in particolari condizioni, come quelle indotte da un sisma di Magnitudo superiore a 6, in terreni a granulometria fine (sabbioso-limosi), allo stato sciolto o poco addensato, in falda oppure interessati dalla oscillazione della falda stessa.

Al paragrafo 7.11.3.4 del DM 17.01.2018 è ribadito che tali analisi possono essere omesse 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  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $qc1N > 180$  dove  $(N1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $qc1N$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella figura seguente (a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  e in (b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .



a)



b)

Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione

Nel caso in esame sono verificate la **condizione n.1** (accelerazione massima  $a_g < 0,1$ ) e la **condizione n.2** (profondità della falda  $> 15$  m dal p.c.), quindi l'analisi alla liquefazione può essere omessa.

**Si ritiene pertanto che nelle profondità indagate non siano presenti orizzonti sciolti potenzialmente liquefacibili.**

pag.21

**Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovo Centro Polifunzionale in Via Arno a Cesate (MI)**

Rif.Geo. L3223		Referente: J.M.
Data elaborato: dicembre 2022	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.georbor.it info@georbor.it

## 8. Verifiche di sicurezza sulle fondazioni ai sensi delle NTC 2018

### 8.1. Verifiche nei confronti degli stati limite ultimi (SLU) - Determinazione delle resistenze (Rd)

Per ogni stato limite per perdita di equilibrio (EQU) deve essere rispettata la condizione:

$$E_{inst,d} \leq E_{stb,d}$$

dove  $E_{inst,d}$  è il valore di progetto dell'azione instabilizzante,  $E_{stb,d}$  è il valore di progetto dell'azione stabilizzante.

La verifica della suddetta condizione deve essere eseguita impiegando come fattori parziali per le azioni i valori  $\gamma_F$  riportati nella colonna EQU della tabella 6.2.1.

Per ogni stato limite ultimo che preveda il raggiungimento della resistenza di un elemento strutturale (STR) o del terreno (GEO) deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d \quad [6.2.1]$$

essendo  $E_d$  il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione, definito dalle relazioni [6.2.2a] o [6.2.2b]

$$E_d = E \left[ \gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right] \quad [6.2.2a]$$

$$E_d = \gamma_E \cdot E \left[ F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right] \quad [6.2.2b]$$

e  $R_d$  è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico definito dalla relazione [6.2.3].

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left[ \gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right] \quad [6.2.3]$$

Effetto delle azioni e resistenza di progetto sono espresse nelle [6.2.2a] e [6.2.3] rispettivamente in funzione delle azioni di progetto  $\gamma_F F_k$ , dei parametri geotecnici di progetto  $X_k/\gamma_M$  e dei parametri geometrici di progetto  $a_d$ . Il coefficiente parziale di sicurezza  $\gamma_R$  opera direttamente sulla resistenza del sistema. L'effetto delle azioni di progetto può anche essere valutato direttamente con i valori caratteristici delle azioni come indicato dalla [6.2.2b] con  $\gamma_E = \gamma_F$ .

la verifica della condizione [6.2.1] deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3).

I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti e alternativi.

pag.22

**Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovo Centro Polifunzionale in Via Arno a Cesate (MI)**

Rif. Geo. L3223		Referente: J.M.
Data elaborato: dicembre 2022	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it



Nel primo approccio progettuale (**Approccio 1**) le verifiche si eseguono con due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti ognuna delle quali può essere critica per differenti aspetti dello stesso progetto.

Nel secondo approccio progettuale (**Approccio 2**) le verifiche si eseguono con un'unica combinazione di gruppi di coefficienti.

I fattori parziali per il gruppo R1 sono sempre unitari; quelli del gruppo R2 possono essere maggiori o uguali all'unità e, in assenza di indicazioni specifiche per lo stato limite ultimo considerato, devono essere scelti dal progettista in relazione alle incertezze connesse con i procedimenti adottati.

#### Azioni

I coefficienti parziali  $\gamma_F$  relativi alle azioni sono indicati nella Tab. 6.2.I. Si deve comunque intendere che il terreno e l'acqua costituiscono carichi permanenti (strutturali) quando, nella modellazione utilizzata, contribuiscono al comportamento dell'opera con le loro caratteristiche di peso, resistenza e rigidezza.

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

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_{Q1}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

<sup>(1)</sup> Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G1}$

#### Resistenze

Il valore di progetto della resistenza  $R_d$  può essere determinato:

- in modo analitico, con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno, diviso per il valore del coefficiente parziale  $\gamma_M$  specificato nella successiva Tab. 6.2.II e tenendo conto, ove necessario, dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  specificati nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera;
- in modo analitico, con riferimento a correlazioni con i risultati di prove in sito, tenendo conto dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera;
- sulla base di misure dirette su prototipi, tenendo conto dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  riportati nelle tabelle contenute nei paragrafi relativi a ciascun tipo di opera.

**Tab. 6.2.II** – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

pag.23

**Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovo Centro Polifunzionale in Via Arno a Cesate (MI)**

Rif.Geo. L3223		Referente: J.M.
Data elaborato: dicembre 2022	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.georbor.it info@georbor.it

Nelle verifiche di sicurezza per le FONDAZIONI SUPERFICIALI devono essere presi in considerazione tutti i meccanismi di stato limite ultimo, sia a breve sia a lungo termine.

Gli stati limite ultimi delle fondazioni superficiali si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono la fondazione stessa.

Nel caso di fondazioni posizionate su o in prossimità di pendii naturali o artificiali deve essere effettuata la verifica anche con riferimento alle condizioni di stabilità globale del pendio includendo nelle verifiche le azioni trasmesse dalle fondazioni.

Le verifiche devono essere effettuate almeno nei confronti dei seguenti stati limite, accertando che la condizione [6.2.1] sia soddisfatta per ogni stato limite considerato:

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

La verifica di stabilità globale deve essere effettuata secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'Approccio 1, tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II per le azioni e i parametri geotecnici e nella Tab. 6.8.I per le resistenze globali.

Le rimanenti verifiche devono essere effettuate applicando la **combinazione (A1+M1+R3) di coefficienti parziali prevista dall'Approccio 2**, tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.4.I.

Nelle verifiche nei confronti di SLU di tipo strutturale (STR), il coefficiente  $\gamma_R$  non deve essere portato in conto.

**Tab. 6.4.I – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali**

Verifica	Coefficiente parziale (R3)
Carico limite	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,1$

L'analisi della capacità portante del terreno, ossia la verifica ai SLU di collasso per carico limite dell'insieme fondazione – terreno, è stata effettuata con l'ausilio di specifico programma di calcolo "Loadcap" (con licenza concessa da "Geostru S.r.l.").

Il calcolo è stato effettuato con il metodo di **Brinch-Hansen**, ritenuto il più idoneo per il caso in esame:

$$Q_{SLU} = 1/2 * B * \gamma * N * \gamma_s * \gamma_i * \gamma_b * \gamma_g * \gamma_z * \gamma + c * N_c * s_c * i_c * b_c * g_c * d_c * z_c + q * N_q * s_q * i_q * b_q * g_q * d_q * z_q$$

pag.24

**Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovo Centro Polifunzionale in Via Arno a Cesate (MI)**

Rif.Geo. L3223		Referente: J.M.
Data elaborato: dicembre 2022	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

dove:

- $N_c N_q$  = Fattori di capacità portante dipendenti dall'angolo di resistenza al taglio;  
 $N_\gamma$   
 $sc sq sy$  = Fattori di forma della fondazione;  
 $ic iq i\gamma$  = Fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione del carico;  
 $bc bq b\gamma$  = Fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione della base;  
 $gc gq g\gamma$  = Fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione del p. c.;  
 $zc zq zy$  = Fattori correttivi che tengono dell'inerzia dovuta al sisma (solo per condizioni dinamiche)  
 $D_c dq$  = Fattori dipendenti dalla profondità del piano di posa;  
 $\gamma$  = Peso specifico del terreno sotto il piano di fondazione;  
 $q$  = Carico litostatico presente sopra il piano di fondazione (proporzionale all'altezza del confinamento laterale);  
 $Q_{SLU}$  = Capacità portante determinata allo stato limite ultimo

Di seguito vengono riassunti i risultati ottenuti in riferimento alle diverse configurazioni fondazionali considerate ed **utilizzando l'Approccio 2**, come indicato dalla normativa, allo scopo di dare utili indicazioni al calcolatore delle strutture. Le resistenze sono i corrispondenti valori limite che producono il collasso del complesso fondazione-terreno; esse sono valutabili mediante l'estensione di procedure classiche al caso di azione sismica, tenendo conto dell'effetto dell'inclinazione e dell'eccentricità delle azioni in fondazione. Se, nel calcolo del carico limite, si considera esplicitamente l'effetto delle azioni inerziali sul volume di terreno significativo (e.g. Richards et al., Paolucci e Pecker), il coefficiente  $\gamma_R$  può essere ridotto a 1,8. In *Tab. seguente* si riportano i valori calcolati delle Resistenze ( $R_d$ ), depurate del fattore di sicurezza a partire dai valori di  $Q_{ult}$ .

**PLINTI** a base quadrata con dimensioni di 180cm x 180cm e spessore di 125cm (comprensivo dello strato di magrone di 10cm), con piano di imposta a circa -1,6m dal p.c., nell'orizzonte A (sabbie limose poco/moderatamente addensate)

	<b>Parametri</b>	<b><math>\gamma_R</math></b>	<b><math>Q_{ult}</math></b>	<b><math>R_d</math></b>	<b>u.m.</b>
CONDIZIONI STATICHE	Approccio 2	2,3	<b>3,3</b>	<b>1,4</b>	(kg/cm <sup>2</sup> )
CONDIZIONI DINAMICHE (SISMA)	Approccio 2	1,8	<b>3,3</b>	<b>1,8</b>	(kg/cm <sup>2</sup> )

### Coefficiente di Winkler

Il coefficiente di Winkler è stato calcolato con il metodo di **Bowles**:

$$k = 40 \text{ (SF)} q_a$$

dove SF è il Safety Factor, ovvero il coefficiente di sicurezza adottato, e  $q_a$  è la pressione ammissibile sul terreno.

$q_a = Q_{ult} / SF$  dove  $Q_{ult}$  è la pressione ultima sul terreno, corrispondente ad un cedimento DH di 1 pollice,  
 pag.25

**Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovo Centro Polifunzionale in Via Arno a Cesate (MI)**

Rif.Geo. L3223		Referente: J.M.
Data elaborato: dicembre 2022	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

ovvero 2,5 cm.

Riferendoci dunque alla relazione del modulo di reazione del terreno, uno dei modi di procedere è il seguente:  $k = Q_{ult} / 2,5$

$K_s$  è stato quindi calcolato come  $Q_{ult} / 2,5$  dove  $Q_{ult} = R_d \times \gamma_R$ . Il  $Q_{ult}$  considerato è quello derivante dall'approccio 2

**PLINTI** a base quadrata con dimensioni di 180cm x 180cm e spessore di 125cm (comprensivo dello strato di magrone di 10cm), con piano di imposta a circa -1,6m dal p.c., nell'orizzonte A (sabbie limose poco/moderatamente addensate)

	<i>Parametri</i>	$\gamma_R$	<i>Coefficiente k Winkler</i>	<i>u.m.</i>
CONDIZIONI STATICHE	Approccio 2	2,3	<b>1,3</b>	(kg/cm <sup>3</sup> )
CONDIZIONI DINAMICHE (SISMA)	Approccio 2	1,8	<b>1,3</b>	(kg/cm <sup>3</sup> )

## 8.2. Verifiche nei confronti degli stati limite di esercizio (SLE) – Analisi dei cedimenti

Le opere e i sistemi geotecnici devono essere verificati nei confronti degli stati limite di esercizio. A tale scopo, il progetto deve esplicitare le prescrizioni relative agli spostamenti compatibili e le prestazioni attese.

La verifica agli stati limite di esercizio implica l'analisi del problema di interazione terreno-struttura (analisi dei cedimenti) al termine della costruzione e nel tempo

Il grado di approfondimento dell'analisi di interazione terreno-struttura è funzione dell'importanza dell'opera.

Per ciascun stato limite di esercizio deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq C_d \quad [6.2.7]$$

dove  $E_d$  è il valore di progetto dell'effetto delle azioni nelle combinazioni di carico per gli SLE e  $C_d$  è il prescritto valore limite dell'effetto delle azioni. Quest'ultimo deve essere stabilito in funzione del comportamento della struttura in elevazione e di tutte le costruzioni che interagiscono con le opere geotecniche in progetto, tenendo conto della durata dei carichi applicati.

Al fine di assicurare che le fondazioni risultino compatibili con i requisiti prestazionali della struttura in elevazione, si deve verificare il rispetto della condizione [6.2.7], calcolando i valori degli spostamenti e delle distorsioni nelle combinazioni di carico per gli SLE, tenendo conto anche dell'effetto della durata delle azioni. Forma, dimensioni e rigidità della struttura di fondazione devono essere stabilite nel rispetto dei summenzionati requisiti prestazionali, tenendo presente che le verifiche agli stati limite di esercizio possono risultare più restrittive di quelle agli stati limite ultimi.

Al fine di fornire delle indicazioni progettuali è stato ipotizzato nel calcolo dei cedimenti un carico di esercizio  $Q_{sle}$  pari a 1,0 kg/cm<sup>2</sup>.

*pag.26*

**Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovo Centro Polifunzionale in Via Arno a Cesate (MI)**

<i>Rif. Geo. L3223</i>		<i>Referente: J.M.</i>
<i>Data elaborato: dicembre 2022</i>	<i>Rev1:</i>	<i>Rev2:</i>
<i>GeoArborStudio di Leoni Carlo</i> <i>Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda</i>	<i>Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942</i> <i>C.F. LNECLD59T23F205Z</i> <i>Partita IVA 06708220964</i>	<i>www.geoarbor.it</i> <i>info@geoarbor.it</i>

Per il calcolo dei cedimenti è stato fatto riferimento alla teoria dell'elasticità adottando la metodologia proposta dal Bowles, 1974:

$$S_d = Q B (1 - \mu^2 / E) I_s I_f$$

dove:

S <sub>d</sub>	=	cedimento
Q	=	carico sul terreno alla base della fondazione
B	=	minima dimensione laterale dell'area caricata
μ	=	rapporto Poisson terreno
E	=	modulo elastico del terreno cedevole (media ponderata)
I <sub>s</sub>	=	$I_1 + [(1-2\mu)/(1-\mu)] \times I_2$
I <sub>1</sub> , I <sub>2</sub>	=	coefficienti di influenza
I <sub>f</sub>	=	fattore di profondità

Nel dimensionamento delle fondazioni è necessario tener conto non solo della resistenza al taglio dei terreni, ma anche dei cedimenti indotti dal carico applicato.

Tali cedimenti dovranno essere ovviamente inferiori ad un valore critico che, se superato, potrebbe generare inconvenienti nella struttura.

E' stata pertanto eseguita una verifica dei cedimenti indotti nel terreno di fondazione dal carico di esercizio determinato nelle ipotesi di fondazione indicate.

Il cedimento calcolato tiene ovviamente conto dell'effetto generato dal sisma. Con tale valore di carico di esercizio i cedimenti primari si sviluppano immediatamente con l'incremento progressivo del carico strutturale, mentre non dovrebbero verificarsi cedimenti differenziali.

La dimensione B viene posta pari a 4B per le travi e 2B per i plinti e B per la platea, dove B è il lato minimo della fondazione (ipotesi di Schmertmann); come modulo elastico (E) è stato preso un valore pari alla media pesata sullo spessore di terreno interessato dal cedimento, e cioè considerando un spessore pari a 4B per le travi, 2B per i plinti e B per la platea; come stratigrafia è stata considerata una situazione media tra quelle riscontrate con le prove eseguite. I valori di seguito definiti sono riferiti a carichi verticali e centrati con momenti pari a zero, in quanto sconosciuti in questa fase di progetto.

**PLINTI** a base quadrata con dimensioni di 180cm x 180cm e spessore di 125cm (comprensivo dello strato di magrone di 10cm), con piano di imposta a circa -1,6m dal p.c., nell'orizzonte A (sabbie limose poco/moderatamente addensate)

Carico Q <sub>sle</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	1,0
Cedimento (cm)	<b>0,7</b>

*pag.27*

**Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovo Centro Polifunzionale in Via Arno a Cesate (MI)**

Rif.Geo. L3223		Referente: J.M.
Data elaborato: dicembre 2022	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it



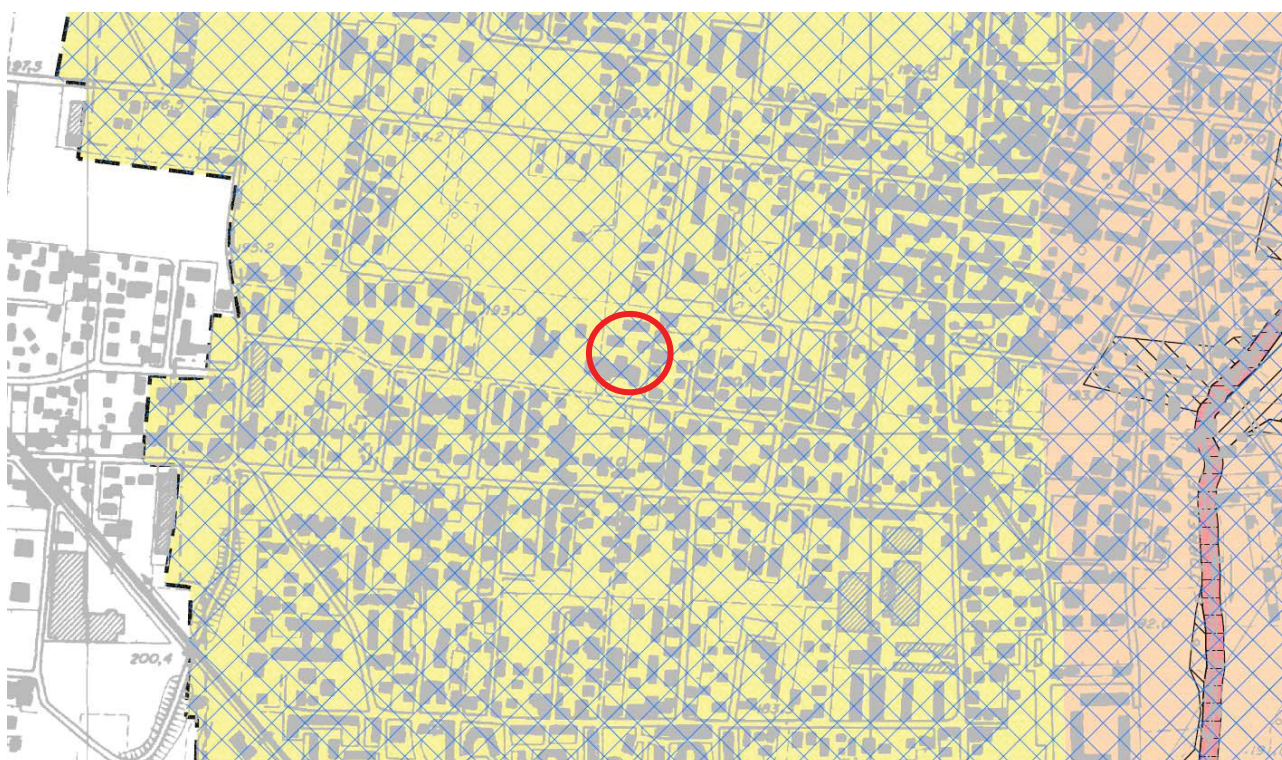
## 9. Pericolosità sismica locale

La valutazione dell'amplificazione sismica locale è stata definita con la metodologia prevista dalla Regione Lombardia nella delibera della giunta regionale n.IX/2616 del 30 novembre 2011 – allegato 5. Tale procedura permette, in relazione alle caratteristiche litologiche, geotecniche e sismiche una valutazione semiquantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi.

In particolare attraverso la definizione del fattore di amplificazione viene valutato il grado di protezione raggiunto dalla normativa vigente nel tenere in considerazione gli effetti sismici. L'analisi viene effettuata tramite 3 livelli di approfondimento.

### 9.1. Analisi sismica di primo livello

Nel PGT comunale l'area in esame viene classificata come soggetta a fenomeni di amplificazioni litologiche e geometriche, ovvero come **Zona Z4a**: "Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi".



Z4a

Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi

Amplificazioni  
litologiche e  
geometriche

*Estratto della carta della pericolosità sismica locale allegata al PGT comunale (nel cerchio rosso l'area in esame)*

*pag.28*

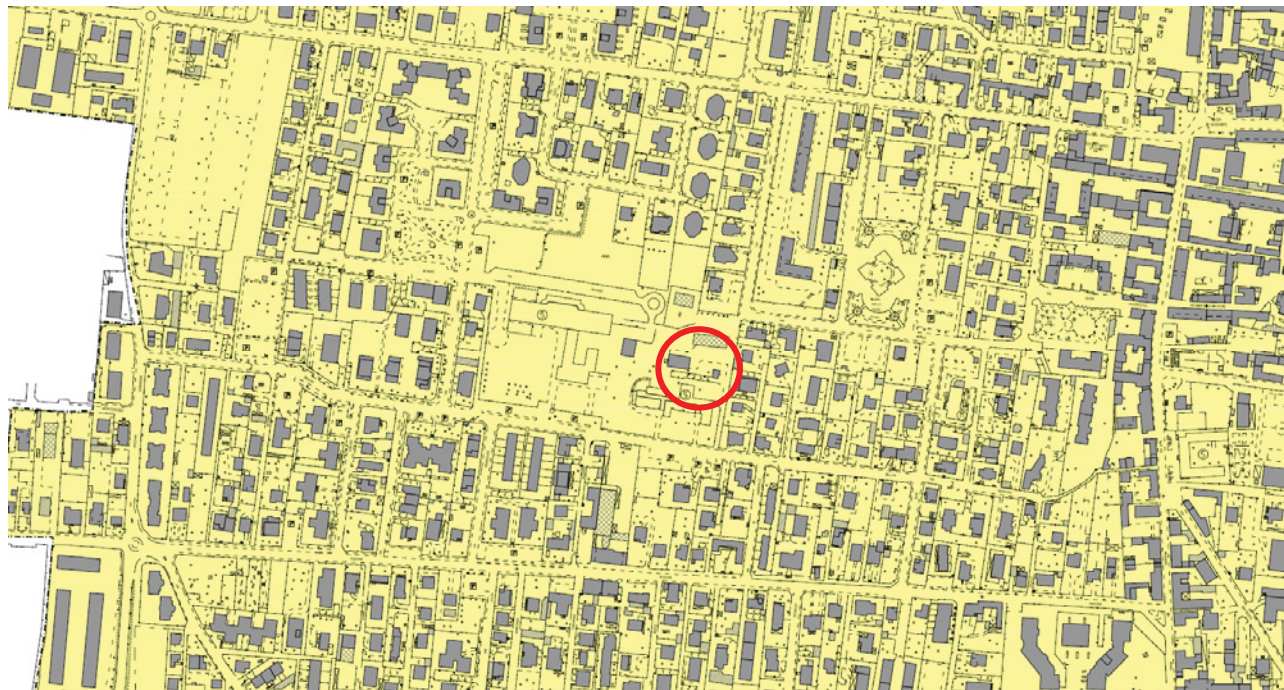
**Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovo Centro Polifunzionale in Via Arno a Cesate (MI)**

Rif.Geo. L3223		Referente: J.M.
Data elaborato: dicembre 2022	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it



## 10. Verifica della compatibilità dell'intervento con i vincoli e la fattibilità geologica locale ai sensi della DGR 2616/2011

LA CARTA DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA allegata al PGT comunale, redatta ai sensi della L.R. 12/05, attribuisce all'area in esame una **CLASSE DI FATTIBILITÀ 2: "fattibilità con modeste limitazioni"**.



2

### CLASSE 2 - FATTIBILITÀ CON MODESTE LIMITAZIONI

La classe comprende le zone nelle quali sono state riscontrate modeste limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso, che possono essere superate mediante approfondimenti di indagine e accorgimenti tecnico-costruttivi e senza l'esecuzione di opere di difesa. Per gli ambiti assegnati a questa classe devono essere indicati gli eventuali approfondimenti da effettuare e le specifiche costruttive degli interventi edificatori.

*Estratto della carta di fattibilità geologica allegata al PGT comunale (nel cerchio rosso l'area in esame)*

Con riferimento alla carta dei vincoli allegata al PGT comunale l'intervento in progetto non interferisce con le aree di pertinenza idraulica (fasce di rispetto) dei corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrografico minore.

L'edificazione prevista risulta però all'interno della zona di rispetto dei pozzi pubblici aventi codice SIF. 0150760011 e 0150760012, delimitata col criterio geometrico (raggio di 200 m dal punto di captazione). Questo vincolo non determina alcuna limitazione dal punto di vista geologico-geotecnico, ma solamente dal punto di vista idrogeologico: nello specifico, **nella zona di rispetto sono vietati l'insediamento di centri di pericolo e lo svolgimento delle attività indicate nell'art. 94, c. IV, D.Lgs. 152/2006, tra cui la dispersione nel sottosuolo di acque meteoriche.**

Si limita pertanto l'ubicazione di opere disperdenti nell'area di intervento.

*pag.29*

**Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovo Centro Polifunzionale in Via Arno a Cesate (MI)**

Rif.Geo. L3223		Referente: J.M.
Data elaborato: dicembre 2022	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

Inoltre l'area in esame non è soggetta a rischio alluvioni come anche evidenziato nelle mappe delle aree allagabili definite nel Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA), predisposto in attuazione del D.lgs. 49/2010 di recepimento della Direttiva 2007/60/CE (cosiddetta "Direttiva Alluvioni").



Aree di salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile



Zona di tutela assoluta captazioni ad uso idropotabile  
(Normativa riferimento: D. lgs. n.152/2006 art.94)



Zona di rispetto captazioni ad uso idropotabile - criterio geometrico  
(Normativa riferimento: D. lgs. n.152/2006 art. 94 - d.g.r. n. 7/12693 del 10 aprile 2003)

*Estratto della carta dei vincoli allegata al PGT comunale (nel cerchio azzurro l'area in esame)*

**Da un punto di vista del rischio geologico, idraulico e sismico locale non si rilevano particolari fattori limitativi o di rischio.**

**Ai sensi della D.G.R. 2616/2011, si ritiene pertanto fattibile da un punto di vista geologico, idraulico e sismico l'intervento prospettato, a patto di seguire le indicazioni summenzionate per non ubicare opere disperdenti nell'area in esame.**

*pag.30*

**Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovo Centro Polifunzionale in Via Arno a Cesate (MI)**

Rif.Geo. L3223		Referente: J.M.
Data elaborato: dicembre 2022	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.georbor.it info@georbor.it



## 11. Considerazioni conclusive

### A – Geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche

Il Comune di Cesate è collocato nel contesto morfologico dell'alta pianura della Provincia di Milano, al confine con la Provincia di Varese. Il territorio presenta andamento sostanzialmente sub-pianeggiante con quote altimetriche decrescenti verso Sud.

L'unità sub affiorante che caratterizza l'area in esame è il Supersintema di Besnate, che corrisponde al Würm e si identifica con il "Livello fondamentale della Pianura". Il Supersintema di Besnate occupa l'intera porzione occidentale del territorio comunale, di cui costituisce il settore più depresso. Il territorio comunale è rappresentato da tre delle quattro unità informali in cui è suddiviso, ovvero Unità di Bulgarograsso, l'Unità di Minoprio e l'Unità di Cadorago. Quest'ultima interessa l'area di indagine ed è caratterizzata da depositi di origine fluvioglaciale, costituiti da ghiaie medio grossolane massive e localmente isorientate, a supporto principalmente di matrice sabbiosa o a supporto clastico; intercalazioni sabbiose; sabbie limoso-argillose; limi con clasti sparsi. La matrice è costituita da sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi. Superficie limite superiore caratterizzata da suoli con spessore compreso tra 1,5 e oltre 2 m.

L'indagine geognostica, secondo le attese, non ha rilevato la presenza di una falda idrica superficiale, che dalle conoscenze idrogeologiche locali si trova a profondità superiori a 20 m rispetto al piano campagna. Considerando le caratteristiche strutturali in progetto e le condizioni idrogeologiche generali è da escludere un'interazione della falda con il settore di sottosuolo interessato dai cunei di rottura e dai bulbi di pressione generabili inferiormente alle fondazioni.

### B – Caratteristiche geotecniche

L'indagine eseguita ha consentito di individuare terreni alluvionali in cui la litozona superficiale (**ORIZZONTE A** - Nscpt medio = 3-6 colpi/piede) è costituita da sabbie limose poco/moderatamente addensate fino ad una profondità media di -2,0 m dal p.c. per l'intera area di indagine (-2,0 m dallo 0 RIF.). Oltre tale profondità si riscontrano terreni mediamente addensati (**ORIZZONTE B** - Nscpt medio = 10-15 colpi/piede), costituiti da ghiaie e sabbie in matrice limosa.

### C – Analisi sismica

Sulla base del **D.g.r. 11 luglio 2014 - n. X/2129** "Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d)", **il territorio comunale di Cesate è stato classificato come ZONA 4**. In riferimento all'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20/03/2003, sulla base della litostratigrafia rilevata e dell'indagine sismica MASW di riferimento, è possibile attribuire ai terreni indagati il profilo stratigrafico del **suolo di fondazione di "tipo C"**.

### D – Soluzioni fondazioni verificate

Valutate le caratteristiche geomeccaniche e litologiche dei terreni, in relazione all'intervento in esame, verranno verificate fondazioni superficiali di tipo PLINTI, impostati ad una profondità di circa -1,6 m dal p.c., nell'orizzonte A (sabbie limose poco/moderatamente addensate).

Sono state pertanto verificate le seguenti tipologie fondazionali:

*pag.31*

**Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovo Centro Polifunzionale in Via Arno a Cesate (MI)**

Rif.Geo. L3223		Referente: J.M.
Data elaborato: dicembre 2022	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

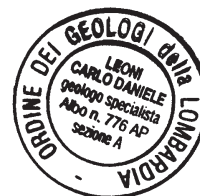
- ✓ **PLINTI** a base quadrata con dimensioni di 180cm x 180cm e spessore di 125cm (comprensivo dello strato di magrone di 10cm), con piano di imposta a circa -1,6m dal p.c., nell'orizzonte A (sabbie limose poco/moderatamente addensate)

Verificando tali ipotesi di fondazione sono stati individuati i valori di capacità portante allo stato limite ultimo e i cedimenti riportati a pag. 25, 26 e 27.

Sarà cura della D.L. avvisare lo scrivente se si dovessero rinvenire anomalie in merito alla granulometria, alla resistenza dei terreni, alle condizioni della falda freatica riscontrabili durante le operazioni di scavo.

Vaprio d'Adda, 05/12/2022

Dott. Geol. Carlo Leoni



*pag.32*

**Relazione geologica, geotecnica e sismica (R1+R2+R3) – Realizzazione nuovo Centro Polifunzionale in Via Arno a Cesate (MI)**

Rif.Geo. L3223		Referente: J.M.
Data elaborato: dicembre 2022	Rev1:	Rev2:
GeoArborStudio di Leoni Carlo Via Concesa, 3 - 20069 Vaprio d'Adda	Tel. 0295763037 - Tel/Fax 0295761942 C.F. LNECLD59T23F205Z Partita IVA 06708220964	www.geoarbor.it info@geoarbor.it

## Prova penetrometrica dinamica P1

**Località: Cesate (MI) - Via Arno**

**Data: 20/06/2017**

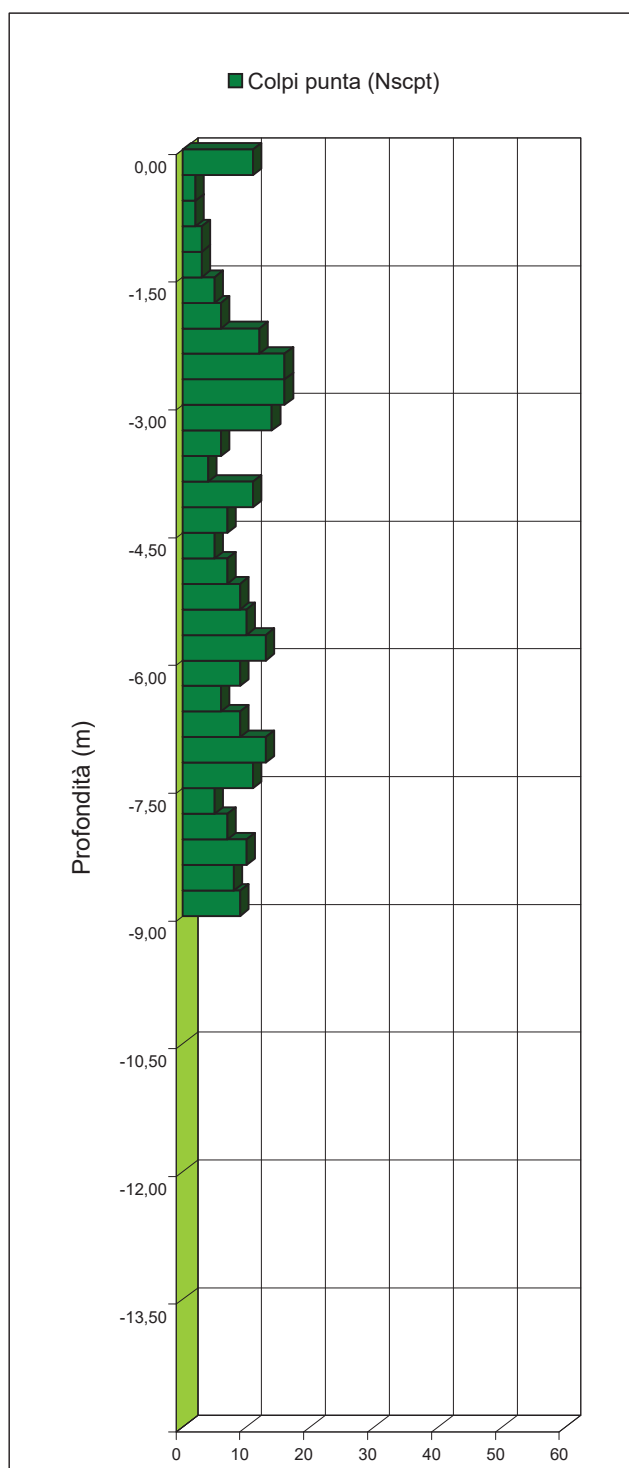
**Ditta esecutrice: GeoArborStudio**

**Attrezzatura: Pagani TG 63/100**

**Committente: Amm. Comunale**

**Sigla cantiere: L2067**

**Falda: n.r.**



Profondità (m)		Colpi Punta (Nscpt)
0,00	-0,30	11
-0,30	-0,60	2
-0,60	-0,90	2
-0,90	-1,20	3
-1,20	-1,50	3
-1,50	-1,80	5
-1,80	-2,10	6
-2,10	-2,40	12
-2,40	-2,70	16
-2,70	-3,00	16
-3,00	-3,30	14
-3,30	-3,60	6
-3,60	-3,90	4
-3,90	-4,20	11
-4,20	-4,50	7
-4,50	-4,80	5
-4,80	-5,10	7
-5,10	-5,40	9
-5,40	-5,70	10
-5,70	-6,00	13
-6,00	-6,30	9
-6,30	-6,60	6
-6,60	-6,90	9
-6,90	-7,20	13
-7,20	-7,50	11
-7,50	-7,80	5
-7,80	-8,10	7
-8,10	-8,40	10
-8,40	-8,70	8
-8,70	-9,00	9
-9,00	-9,30	
-9,30	-9,60	
-9,60	-9,90	
-9,90	-10,20	
-10,20	-10,50	
-10,50	-10,80	
-10,80	-11,10	
-11,10	-11,40	
-11,40	-11,70	
-11,70	-12,00	
-12,00	-12,30	
-12,30	-12,60	
-12,60	-12,90	
-12,90	-13,20	
-13,20	-13,50	
-13,50	-13,80	
-13,80	-14,10	
-14,10	-14,40	
-14,40	-14,70	
-14,70	-15,00	



## Prova penetrometrica dinamica P2

**Località: Cesate (MI) - Via Arno**

**Data: 20/06/2017**

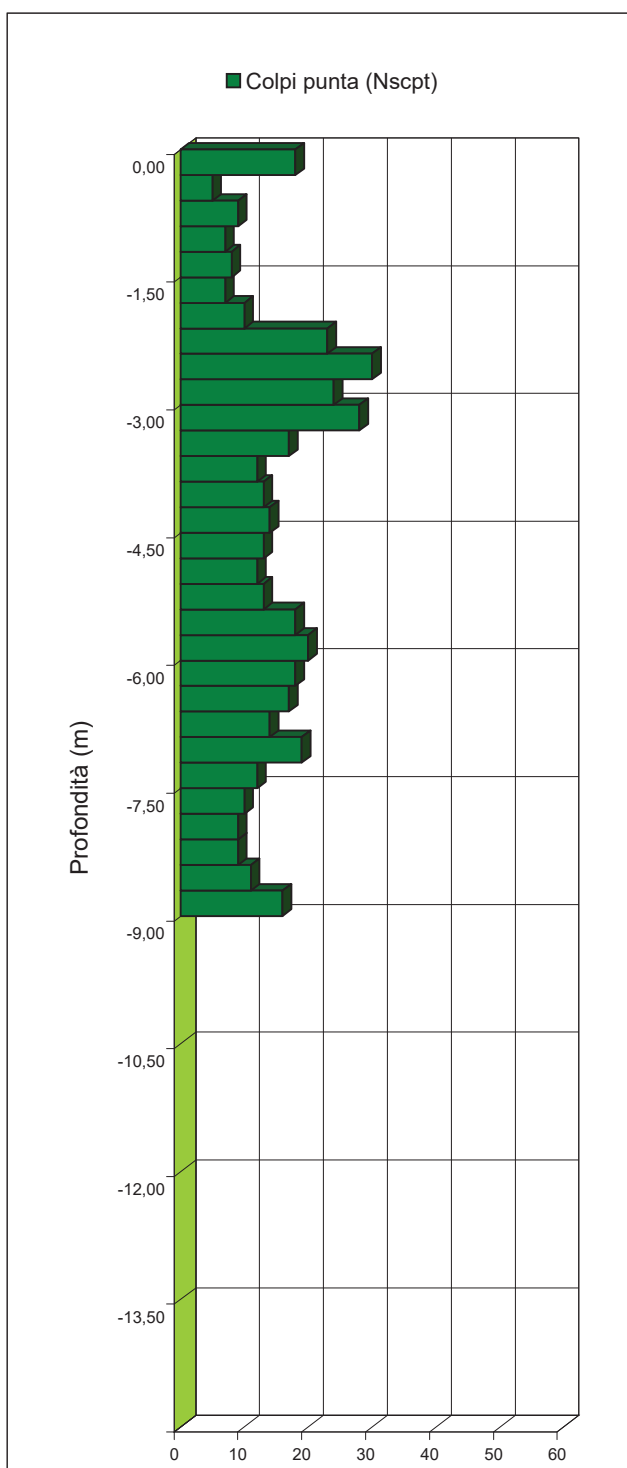
**Ditta esecutrice: GeoArborStudio**

**Attrezzatura: Pagani TG 63/100**

**Committente: Amm. Comunale**

**Sigla cantiere: L2067**

**Falda: n.r.**



Profondità (m)		Colpi Punta (Nscpt)
0,00	-0,30	18
-0,30	-0,60	5
-0,60	-0,90	9
-0,90	-1,20	7
-1,20	-1,50	8
-1,50	-1,80	7
-1,80	-2,10	10
-2,10	-2,40	23
-2,40	-2,70	30
-2,70	-3,00	24
-3,00	-3,30	28
-3,30	-3,60	17
-3,60	-3,90	12
-3,90	-4,20	13
-4,20	-4,50	14
-4,50	-4,80	13
-4,80	-5,10	12
-5,10	-5,40	13
-5,40	-5,70	18
-5,70	-6,00	20
-6,00	-6,30	18
-6,30	-6,60	17
-6,60	-6,90	14
-6,90	-7,20	19
-7,20	-7,50	12
-7,50	-7,80	10
-7,80	-8,10	9
-8,10	-8,40	9
-8,40	-8,70	11
-8,70	-9,00	16
-9,00	-9,30	
-9,30	-9,60	
-9,60	-9,90	
-9,90	-10,20	
-10,20	-10,50	
-10,50	-10,80	
-10,80	-11,10	
-11,10	-11,40	
-11,40	-11,70	
-11,70	-12,00	
-12,00	-12,30	
-12,30	-12,60	
-12,60	-12,90	
-12,90	-13,20	
-13,20	-13,50	
-13,50	-13,80	
-13,80	-14,10	
-14,10	-14,40	
-14,40	-14,70	
-14,70	-15,00	

