

**COMUNE DI MISSAGLIA**  
Provincia di Lecco

Procedura negoziata ai sensi dell'art. 63 del D.Lgs. n.50/2016, per l'affidamento di una concessione mista di beni e servizi per la realizzazione degli "interventi finalizzati all'efficienza energetica e allo sviluppo delle fonti rinnovabili sugli edifici di proprietà comunale al raggruppamento di Missaglia", a valere su risorse messe a disposizione dalla Fondazione Cariplo nell'ambito dell'iniziativa "100 comuni sostenibili" indetta dal Comune di Missaglia (LC) in qualità di Comune Capofila di altri Comuni

**OPERE EDILI E STRUTTURALI PRESSO LA CENTRALE TERMICA  
SCUOLA PRIMARIA "E.T. MONETA"**

**RELAZIONE GEOLOGICO - GEOTECNICA e SISMICA**

**Committente:**  
**COMUNE DI MISSAGLIA**

**Redatto da:**  
Dott. Geol. Mauro Saleri



Casatoma (PV), maggio 2019

## INDICE

---

1.0 Premessa.....	pag. 3
1.1 Normativa di riferimento.....	>> 4
2.0 Stato di fatto e breve descrizione dell'intervento.....	>> 5
3.0 Inquadramento geologico-geomorfologico.....	>> 6
4.0 Fattibilità - Vincoli Geologici, Idrogeologici e Idraulici.....	>> 8
5.0 Caratterizzazione sismica del sito.....	>> 10
5.1 Caratteristiche macrosismiche dell'area.....	>> 10
5.2 Categoria di sottosuolo e categoria topografica.....	>> 11
5.3 Parametri sismici di riferimento.....	>> 12
6.0 Condizioni litostratigrafiche generali dell'area.....	>> 15
7.0 Determinazione dei parametri geotecnici.....	>> 16
8.0 Valutazione del potenziale di liquefazione.....	>> 17
9.0 Fondazioni - Scelta della tipologia e verifica della capacità portante.....	>> 19
9.1 Cedimenti.....	>> 20
9.2 Coefficiente di sottofondo.....	>> 22
10.0 Stabilità delle fronti di scavo.....	>> 24
11.0 Terre e rocce da scavo.....	>> 25

## ALLEGATI

---

- Allegato 1 - Corografia generale con ubicazione area in esame

## 1.0 Premessa

---

La presente relazione, redatta per conto del Comune di Missaglia, costituisce il supporto geologico-geotecnico e sismico preliminare alla progettazione dei lavori per la realizzazione di un nuovo deposito per cippato in corrispondenza della centrale termica pertinente la scuola primaria "E.T. Moneta" sita in Missaglia (LC).

Lo studio è finalizzato alla definizione delle caratteristiche geologico-geomorfologiche dell'area e dell'assetto litostratigrafico e geotecnico nonché la caratterizzazione sismica dei terreni di imposta delle strutture in progetto; in particolare lo scopo dell'indagine è quello di fornire al Progettista utili indicazioni fra le possibili tipologie fondazionali, in funzione dei carichi di esercizio e delle effettive condizioni litostratigrafiche del volume significativo di terreno interessato dalle opere di fondazione.

Per tale scopo, i dati raccolti tramite il rilievo morfologico dell'area sono stati integrati con quelli esistenti, derivanti da studi pregressi in zone limitrofe, dalla letteratura di riferimento e dalla cartografia tecnica disponibile. In fase di progettazione esecutiva degli interventi verranno effettuati i necessari riscontri.

Pertanto, considerando gli obiettivi sopra esposti, l'indagine si è articolata attraverso la successione delle seguenti fasi:

- esame dei dati geologici ed idrogeologici disponibili tramite bibliografia e di quelli raccolti nel corso di indagini già realizzate nella stessa zona;
- caratterizzazione sismica dell'area attraverso riscontri normativi e dati acquisiti in sito;
- ricostruzione delle condizioni litostratigrafiche generali e caratterizzazione geologico-tecnica dei terreni di fondazione con la definizione dei parametri geomeccanici;
- determinazione della capacità portante del terreno;
- valutazione delle scelte fondazionali in relazione alle possibili interazioni tra terreno e sovrastruttura.

## **1.1 Normativa di riferimento**

Lo studio è stato condotto in accordo con quanto previsto dalla normativa vigente:

- D.M. LL.PP. 11.03.1988 *"Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione"*;
- D.M. LL.PP. 17.01.2018 *"Norme tecniche per le costruzioni – Testo aggiornato delle norme tecniche per le costruzioni, di cui alla legge 5 novembre 1971, n.1086, alla legge 2 febbraio 1974, n.64, al decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n.380, ed al decreto-legge 28 maggio 2004, n.136, convertito con modificazioni, dalla legge 27 luglio 2004, n.186"*;
- Eurocodice 7 *"Progettazione geotecnica – parte I: Regole Generali (1997) – parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002) – parte III: progettazione assistita con prove in sito (2002)"*;
- Eurocodice 8 (1998) *"Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture – parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici"*;
- O.P.C.M. n.3274 20.03.03 *"Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"*;
- O.P.C.M. n.3519 28.04.2006 *"Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone"*;
- Allegato al voto n.36 del Consiglio superiore dei Lavori Pubblici 27.07.07 *"Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale"*;
- D.G.R. n. IX/2616 30.11.2011 *"Aggiornamento dei 'Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n.12', approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, n.8/1566 e successivamente modificati con d.g.r. 28 maggio 2008, n.8/7374"*, pubblicata sul BURL n.50 Serie ordinaria del 15 dicembre 2012;
- D.P.R. n.120 13.06.2017 *"Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell'articolo 8 del decreto-legge 12 settembre 2014, n.133, convertito, con modificazioni, della legge 11 novembre 2014, n.164"*;
- P.G.T. (Piano di Governo del Territorio) del Comune di Missaglia *"Componente Geologica, Idrogeologica e Sismica"*.

## 2.0 Stato di fatto e breve descrizione dell'intervento

L'edificio scolastico in questione è ubicato nella porzione sud-occidentale dell'abitato di Missaglia (fig. 1), in un ambito interamente urbanizzato da insediamenti di carattere prettamente residenziale.



Figura 1: Foto aerea con ubicazione area di intervento (Google Earth).

Il progetto prevede l'utilizzo della attuale centrale termica interrata, sita nel sedime di terreno ad ovest rispetto all'edificio adibito a palestra scolastica, e la realizzazione, in adiacenza al suo lato ovest, di un nuovo deposito per lo stoccaggio del cippato che presenterà pianta quadrata di mq 6 x 5 circa, altezza di circa 3 metri e che sarà completamente interrato.

### 3.0 Inquadramento geologico-geomorfologico

L'area si trova nel contesto dei depositi morenici più meridionali del sistema lago di Como-lago di Lecco e connessi. Il territorio presenta leggero gradiente verso sud-est, la quota del punto in esame è di circa 300 metri s.l.m. La successione stratigrafica del sottosuolo è rappresentata da sedimenti di natura glaciale e fluvio-glaciale che hanno colmato il Paleobacino Padano, perpetrati dai locali corsi d'acqua nelle fasi di scioglimento delle coltri glaciali quaternarie oltre che dagli stessi ghiacciai. A causa delle modalità di formazione di tali depositi, è comune osservare una locale variazione delle granulometrie, in senso sia verticale che orizzontale. A ciò si aggiungono le variazioni di origine antropica che localmente possono avere alterato l'assetto stratigrafico originario, almeno nei livelli più superficiali. Il contesto geologico di pertinenza è stato desunto dall'esame del Foglio 097 (Vimercate) della Carta Geologica d'Italia, alla scala 1:50.000 (Progetto C.A.R.G., fig. 2): l'area si colloca sui terreni appartenenti al "Supersintema di Besnate" suddiviso in diverse unità le quali sono contraddistinte da depositi di origine fluvio-glaciale e glaciale di età pleistocenica medio-superiore con profili di alterazione poco evoluti; in particolare l'area ricade in corrispondenza dell'"Unità di Cadorago - BEE", litologicamente caratterizzata da terreni essenzialmente ghiaioso-sabbiosi (ghiaie poligeniche massive a supporto di clasti o di matrice, con ciottoli di dimensioni massime da centimetriche a 30cm) con possibili locali intercalazioni o banchi limosi (di esondazione). Superficialmente sussiste una coltre diluviale di spessore generalmente esiguo.

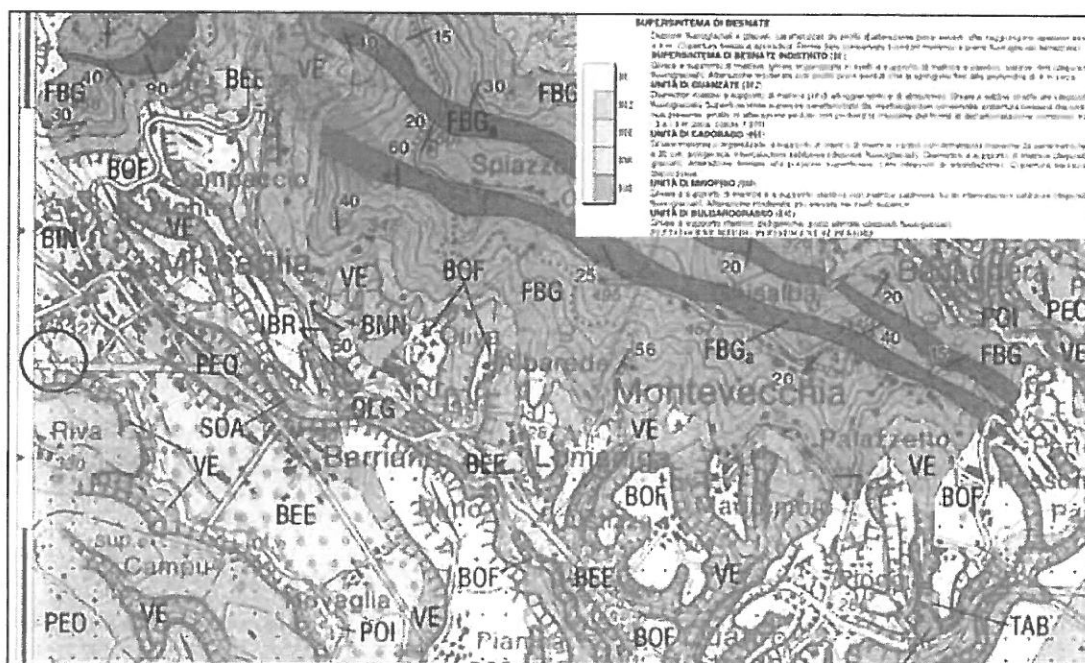


Figura 2: Estratto Carta Geologica d'Italia - Foglio 097 Vimercate.

Per quanto riguarda l'idrografia di superficie si segnala il torrente Lavandaia scorre a circa 20 metri in direzione ovest rispetto all'area dell'intervento mentre le campagne circostanti la stessa risultano caratterizzate da una modesta rete di fossi di scolo e canalizzazioni ad uso irriguo asservite principalmente alle pratiche agricole.

L'idrogeologia è caratterizzata dalla presenza di una falda freatica la cui soggiacenza si attesta ad una quota di circa 295 metri s.l.m. (Studio Geologico a supporto del P.G.T. comunale, Dott. Geol. Maurizio Penati, Dott.ssa Geol. Marialuisa Todeschini – novembre 2011) corrispondente a profondità dell'ordine di 4÷5 metri dal piano campagna, verosimilmente direttamente interconnessa al sub-alveo del T.Lavandaia in considerazione della vicinanza allo stesso; per tale motivo non si escludono innalzamenti anche significativi del livello di falda.

Per contro si segnala la possibile presenza nel primo sottosuolo di filtrazioni idriche sottoforma di microfalde "sospese", generalmente di modesta entità ed attive nei periodi di intensa piovosità, impostate negli orizzonti costituiti da materiali permeabili per porosità.



#### 4.0 Fattibilità - Vincoli Geologici, Idrogeologici e Idraulici

L'area in esame non ricade entro aree sottoposte a vincolo idrogeologico e/o idraulico, come riportato nella cartografia geologico-tecnica di riferimento. In particolare nella *Carta dei Vincoli Esistenti* (fig. 3) pertinente lo Studio Geologico a supporto del P.G.T. comunale (Dott. Geol. Maurizio Penati, Dott.ssa Geol. Marialuisa Todeschini – novembre 2011); l'area risulta invece compresa nella fascia di 150 metri di rispetto del torrente Lavandaia soggetta a vincolo paesistico-ambientale ai sensi della Legge Galasso 431/85.

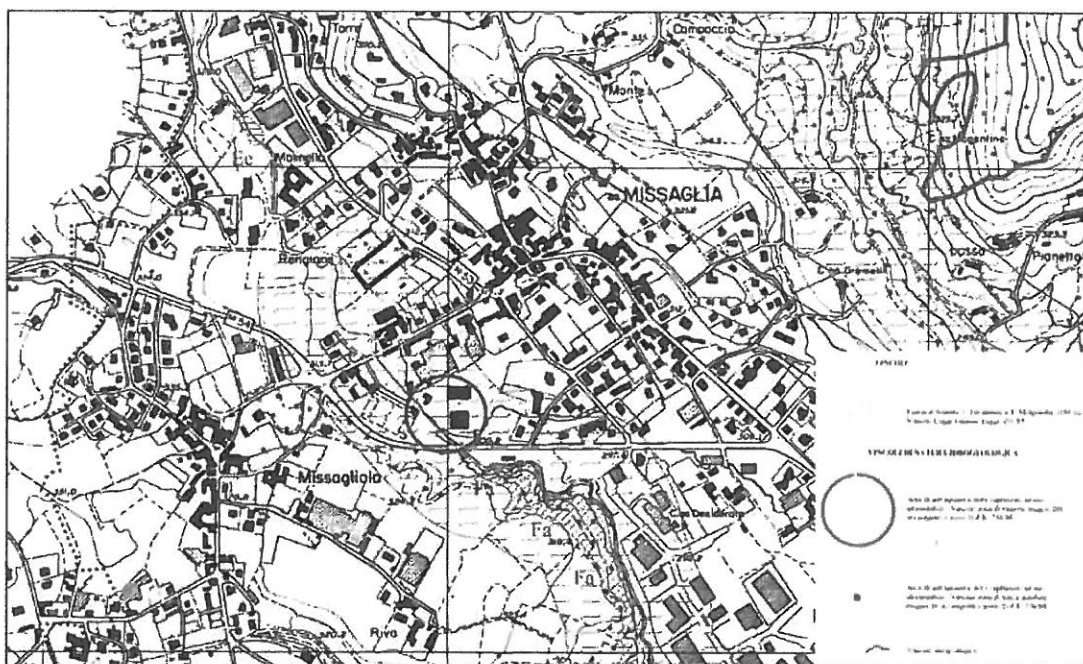
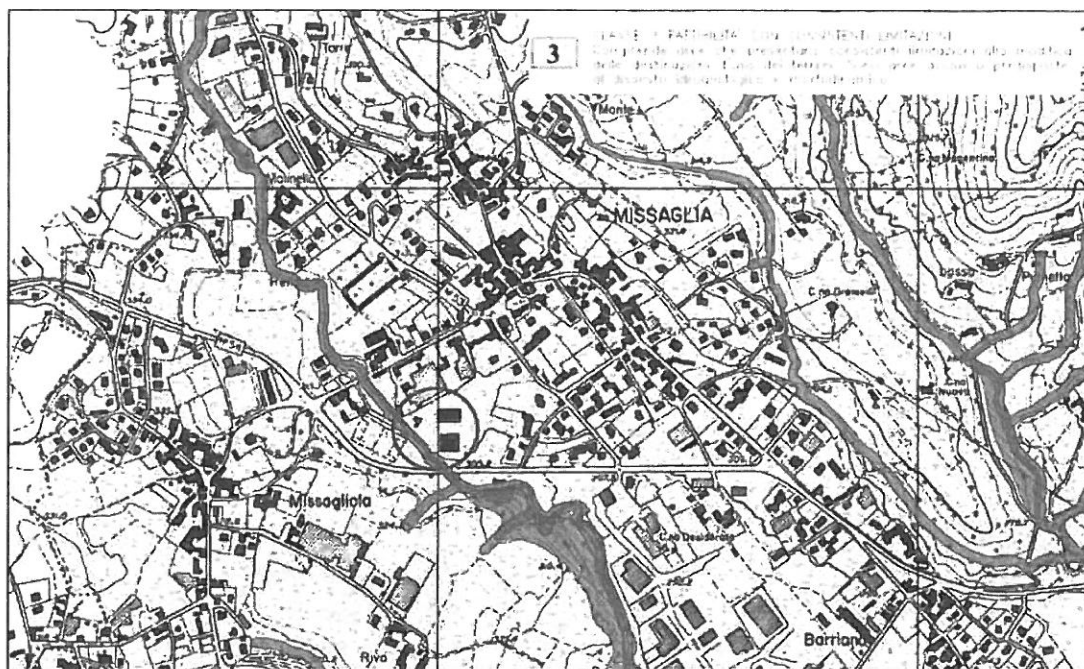


Figura 3: Estratto della *Carta dei Vincoli* (P.G.T. Comune di Missaglia).

Nella *Carta della Fattibilità Geologica estesa a tutto il territorio comunale* (fig. 4) l'area in esame è classificata nella Classe 3 di Fattibilità Geologica, "fattibilità con consistenti limitazioni" la quale comprende "aree generalmente caratterizzate dalla presenza di terreni acclivi o predisposti al dissesto idrogeologico e/o morfodinamico".





**Figura 4:** Estratto della *Carta della Fattibilità Geologica* (P.G.T. Comune di Missaglia).

In tali aree sono necessari opportuni approfondimenti di carattere geologico-tecnico, volti in particolare alla precisazione delle destinazioni d'uso dei terreni, delle volumetrie ammissibili, delle tipologie costruttive e delle eventuali opere di sistemazione e di bonifica.

In conclusione, dal punto di vista della fattibilità geologica l'area è giudicata idonea ad accogliere l'intervento di edificazione programmato, fatte salve le osservazioni e le prescrizioni di carattere geologico-geotecnico indicate nei successivi capitoli.

## 5.0 Caratterizzazione sismica del sito

### 5.1 Caratteristiche macrosismiche dell'area

Secondo l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3519 del 28 aprile 2006 – *"Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone"* riferita all'intero territorio nazionale, e recepita dalla Regione Lombardia tramite la D.G.R. n.X/2129 - 11.07.2014 (fig. 5) il territorio comunale di Missaglia è classificato in **zona sismica 3** a "sismicità bassa", cui corrisponde un valore massimo di  $a_g$  pari a 0.15g.

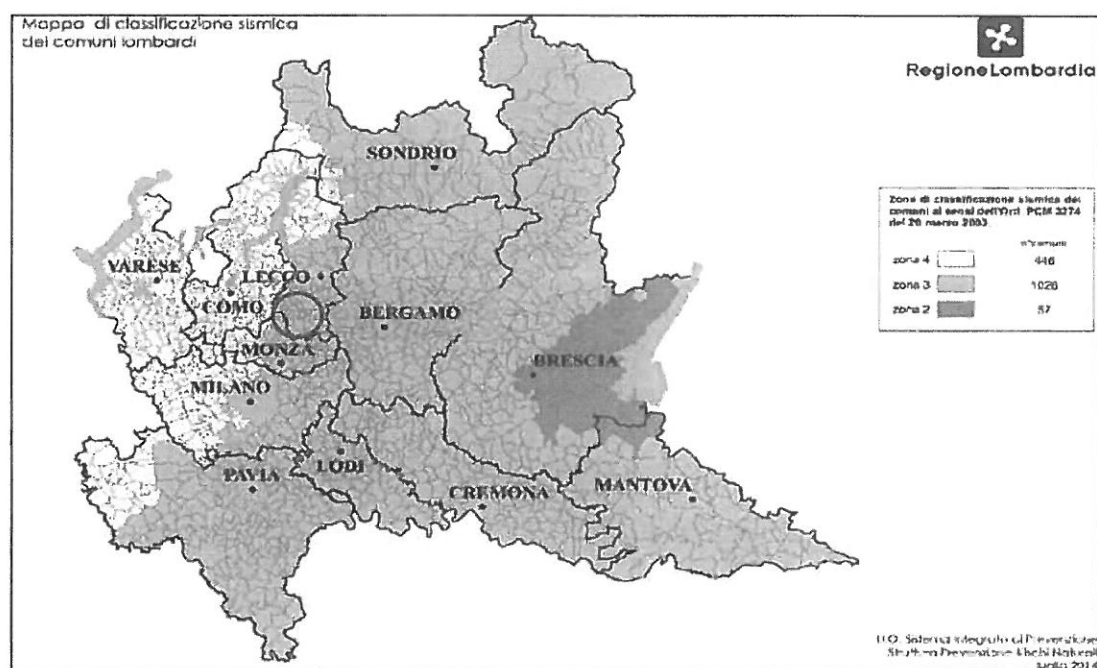


Figura 5: Classificazione sismica dei comuni della Lombardia a seguito della D.G.R. n. X/2129.

Allo stesso modo i valori di  $a_g$  agli SLU dinamici, calcolati secondo il D.M. 14.01.08 *"Norme tecniche per le costruzioni"* (e riportati nei successivi paragrafi) per le coordinate che identificano il sito ovvero lat. 45.70705° e long. 9.33459°, risultano compresi nel range  $0.05 < a_g \leq 0.15g$  relativo alla **zona sismica 3** (Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, Allegato al Voto n.36 del 27.07.2007 – *"Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale"*).

## 5.2 Categoria di sottosuolo e categoria topografica

Per quanto riguarda la determinazione della categoria di sottosuolo il D.M. 17.01.2018 prevede una classificazione in cinque categorie principali riportate nella tabella 3.2.II (fig. 6) definite in base ai valori della velocità equivalente  $V_{s,eq}$  corrispondente alla velocità media di propagazione delle onde sismiche di taglio a partire dal piano di fondazione (per fondazioni superficiali e per muri di sostegno di terrapieni), dalla testa dei pali o dalla testa dell'opera (per opere di sostegno di terreni naturali), fino alla profondità del substrato sismico, definito come quella formazione caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s. Per depositi con profondità di tale substrato superiore a 30m la velocità equivalente  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s,30}$ , considerando le proprietà degli strati di terreno fino alla profondità di 30m. Infine, nel caso in cui tale parametro non sia disponibile la classificazione può essere effettuata tramite relazioni empiriche con i risultati di altre prove in sito, quali prove penetrometriche dinamiche per terreni a grana grossa e prove penetrometriche statiche per i terreni coesivi. Per il sito in esame la categoria di sottosuolo è stata stimata, in assenza di misure dirette della velocità equivalente  $V_{s,30}$ , su dati acquisiti nel corso di studi analoghi in aree limitrofe. Il terreno di fondazione della struttura può essere assunto di **categoria C** "*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti*", con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s. La esatta definizione della categoria di sottosuolo potrà avvenire mediante specifiche prospezioni geofisiche.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Figura 6: Tabella 3.2.II "Categorie di sottosuolo" – D.M. 17.01.2018.

In riferimento alle categorie topografiche riportate nella tabella 3.2.IV del D.M. (fig. 7), il sito può essere classificato nella **categoria T1**.

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

Figura 7: Tabella 3.2.III "Categorie topografiche" – D.M. 17.01.2018.

### 5.3 Parametri sismici di riferimento

Di seguito si riportano i parametri di riferimento, propri del sito in questione, per la definizione della pericolosità sismica di base ed i parametri sismici necessari per la valutazione delle azioni sismiche di progetto attese. Nel caso in esame il sito presenta le seguenti coordinate (sistema di riferimento ED50):

Latitudine	Longitudine
45.70705°	9.33459°

Per il calcolo delle grandezze  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T^*_C$  si devono considerare i seguenti parametri:

- **Classe d'uso: 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.
- **Vita nominale  $V_N$ :  $\geq 50$  anni** (tabella 2.4.I - tipologie costruttive classe 2): Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale.
- **Coefficiente d'uso  $C_U$ : 1.0** relativo alla classe d'uso II.
- **Periodo di riferimento per l'azione sismica:  $V_R = V_N * C_U = 50 * 1.0 = 50$  anni.**

Pertanto, a partire dai dati sopra riportati, in funzione della probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$  vengono calcolati i valori  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T^*_c$  e del periodo di ritorno  $T_R = -V_R/\ln(1-P_{VR})$ :

Stati limite		$P_{VR}$	Periodo di ritorno (anni)	$a_g$ (g)	$F_0$	$T^*_c$ (sec)
SLE	SLO	81%	30	0.020	2.564	0.162
	SLD	63%	50	0.026	2.539	0.192
SLU	SLV	10%	475	0.057	2.626	0.280
	SLC	5%	975	0.071	2.639	0.294

Da questi ultimi è possibile ricavare, sulla base della **categoria C** del suolo di fondazione, gli ulteriori parametri:

Stati limite		$S_s$	$C_c$	$S_t$	$T_B$ (s)	$T_c$ (s)	$T_D$ (s)	$F_v$
SLE	SLO	1.50	1.916	1.00	0.103	0.310	1.680	0.49
	SLD	1.50	1.810	1.00	0.116	0.348	1.704	0.55
SLU	SLV	1.50	1.599	1.00	0.149	0.447	1.828	0.85
	SLC	1.50	1.573	1.00	0.154	0.462	1.885	0.95

Dove:

**SLE** = stati limite di esercizio;

- **SLO** = Stato Limite di Operatività;
- **SLD** = Stato Limite di Danno;

**SLU** = stati limite ultimi:

- **SLV** = Stato Limite di salvaguardia della Vita;
- **SLC** = Stato Limite di prevenzione del Collasso;

$S_s$  = coefficiente di amplificazione stratigrafica;

$C_c$  = coefficiente di categoria i sottosuolo;

$S_t$  = coefficiente di amplificazione topografica;

$T_B$  = periodo corrispondente all'inizio del tratto ad accelerazione costante spettro delle componenti orizzontali;

$T_C$ = periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante spettro delle componenti orizzontali;

$T_D$ = periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante spettro delle componenti orizzontali;

$F_V$ = fattore di amplificazione spettrale.

Per calcolare il valore di  $A_{max}$  (accelerazione massima) occorre moltiplicare il valore di  $a_g$  per i coefficienti di amplificazione sismica ( $S$ ) tramite la relazione:  $A_{max}=a_g \text{ (m/s}^2\text{)} \cdot S$ ; l'accelerazione massima deve essere fornita in  $\text{m/s}^2$ , pertanto i valori nominali di  $a_g$  precedentemente calcolati vanno moltiplicati per  $9.81 \text{ m/s}^2$  e successivamente moltiplicati per i coefficienti di amplificazione sismica  $S = S_s \cdot S_t$ .

Stati limite		$a_g$ (g)	$a_g$ (m/s <sup>2</sup> )	$S$ ( $S_s \cdot S_t$ )	$A_{max}$ (m/s <sup>2</sup> )
SLE	SLO	0.020	0.196	1.50	0.294
	SLD	0.026	0.255	1.50	0.383
SLU	SLV	0.057	0.559	1.50	0.839
	SLC	0.071	0.697	1.50	1.045

Infine i coefficienti  $K_h$  (coefficiente sismico orizzontale) e  $K_v$  (coefficiente sismico verticale) assumono i seguenti valori:

Stati limite		$K_h$	$K_v$
SLE	SLO	0.006	0.003
	SLD	0.008	0.004
SLU	SLV	0.017	0.008
	SLC	0.021	0.011



## 6.0 Condizioni litostratigrafiche generali dell'area

Sulla base dei dati attualmente disponibili, derivanti da indagini penetrometriche eseguiti in zone limitrofe e assimilabili a quella in esame per gli aspetti geologico-morfologico e geotecnico, è possibile individuare il seguente modello litostratigrafico generale:

### Livello I:

Argille limose localmente sabbiose, consistenza molle, con presenza di ciottoli alterati. Questo strato è caratterizzato da valori di resistenza penetrometrica  $N_{S.C.P.T.}$  compresi tra 2 e 5.

### Livello II:

Sabbie argillose/argille sabbiose con ghiaia da poco a mediamente addensate, con valori caratteristici di  $N_{S.C.P.T.}$  compresi tra 8 e 12. La percentuale di materiali fini tende a diminuire progressivamente con la profondità.

### Livello III:

Ghiaie e sabbie addensate, con presenza di materiale fine argilloso-limoso di intasamento più o meno abbondante e valori caratteristici di  $N_{S.C.P.T.}$  maggiori di 20.

Lo spessore del primo livello è da ritenersi dell'ordine di 1.5÷3.0 metri circa, mentre il livello II presenta spessore di circa 3÷3.5 metri; il livello III è pertanto individuato a profondità maggiori di 4.5÷6.5 metri dal piano campagna. La esatta definizione della stratigrafia potrà essere verificata preliminarmente alle fasi di progettazione esecutiva mediante specifiche prospezioni di carattere puntuale nel sedime dell'intervento.

Non si hanno riscontri diretti relativi alla profondità della falda, la cui soggiacenza è indicata nello Studio Geologico a supporto del P.G.T. comunale (Dott. Geol. Maurizio Penati, Dott.ssa Geol. Marialuisa Todeschini – novembre 2011) a circa 4÷5 metri dal piano campagna.

In ogni caso non è possibile escludere la possibilità di riscontrare filtrazioni idriche di entità solitamente poco rilevante e di carattere temporaneo, correlate ai periodi piovosi e localmente presenti nel primo sottosuolo nell'ambito di livelletti di materiali permeabili per porosità.



## 7.0 Determinazione dei parametri geotecnici

Agli strati di terreno descritti possono essere assegnati in via preliminare i seguenti valori dei principali parametri geotecnici:

### Livello I

- Natura dello strato: coesiva
- Peso di volume  $\gamma_t = 1.8 \text{ t/m}^3$
- Coesione non drenata  $C_u = 2\div3 \text{ t/m}^2$
- Coesione efficace  $c' = 0$
- Angolo di attrito efficace  $\varphi' = 20^\circ\div23^\circ$
- Modulo edometrico  $M = 20\div40 \text{ Kg/cm}^2$

### Livello II

- Natura dello strato: mista
- Peso di volume  $\gamma_t = 1.8 \text{ t/m}^3$
- Coesione non drenata  $C_u = 6\div8 \text{ t/m}^2$
- Coesione efficace  $c' = 0 \text{ t/m}^3$
- Angolo di attrito efficace  $\varphi' = 27^\circ\div29^\circ$
- Modulo edometrico  $M = 100\div120 \text{ Kg/cm}^2$

### Livello II

- Natura dello strato: incoerente
- Peso di volume  $\gamma_t = 1.8 \text{ t/m}^3$
- Coesione non drenata  $C_u = 0 \text{ t/m}^2$
- Coesione efficace  $c' = 0 \text{ t/m}^3$
- Angolo di attrito efficace  $\varphi' = 32^\circ\div34^\circ$
- Modulo edometrico  $M = 150\div250 \text{ Kg/cm}^2$

I valori elencati sono da ritenere indicativi e validi quali “ordine di grandezza”; per una loro più precisa definizione si dovrà ricorrere a specifiche indagini geotecniche in sito ed analisi di laboratorio su campioni di terreno indisturbati.

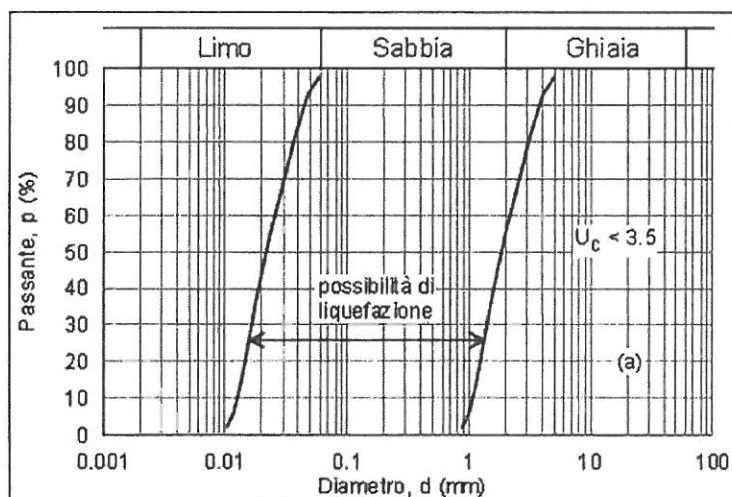
## 8.0 Valutazione del potenziale di liquefazione

---

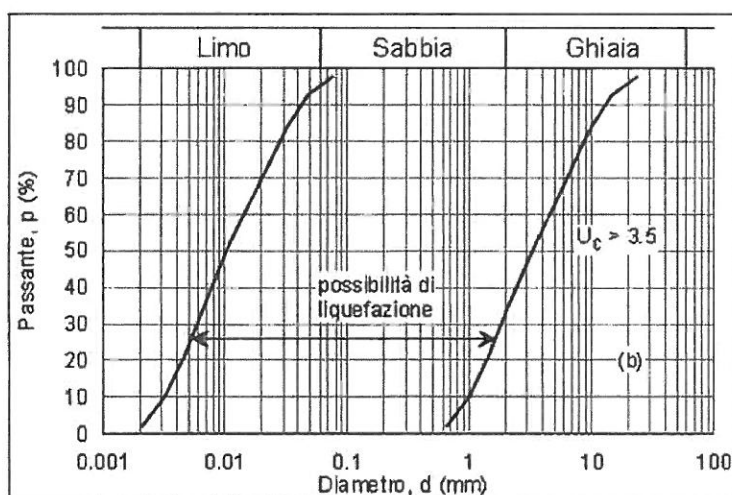
Il fenomeno della liquefazione interessa generalmente depositi sabbiosi e/o sabbioso-limosi sciolti, saturi e a granulometria uniforme, i quali a seguito di una sollecitazione sismica passano dallo stato solido a quello fluido, denotando una diminuzione della resistenza al taglio a causa dell'aumento delle pressioni interstiziali ( $u$ ), tale da generare deformazioni permanenti significative o persino dell'annullamento delle pressioni efficaci ( $\sigma'$ ) nel terreno.

Secondo il D.M. 17.01.2018 la verifica della suscettibilità alla liquefazione può invece 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  $q_{cIN} > 180$ , dove  $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $q_{cIN}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometriche esterne alle zone indicate nella figura 8, nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3.5$  ed in figura 9, nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3.5$ .



**Figura 8:** Fusi granulometrici di terreni suscettibili a liquefazione con  $U_c < 3.5$ .



**Figura 9:** Fusi granulometrici di terreni suscettibili a liquefazione con  $U_c > 3.5$ .

Nel caso in esame si esclude il rischio di liquefazione, in ragione della natura coesiva ed eterogenea dei materiali pertinenti agli orizzonti precedentemente descritti, costituiti principalmente da depositi argilloso-limosi (livello I) e sabbioso-argilloso-ghiaiosi (livelli II e II), la cui distribuzione granulometrica ricade verosimilmente all'esterno delle fasce indicate in fig. 8 e fig. 9.

## 9.0 Fondazioni - Scelta della tipologia e verifica della capacità portante

Per la nuova struttura sono previste fondazioni a platea la cui quota di imposta sarà a circa 3.0m di profondità dall'attuale piano campagna, verosimilmente in appoggio sui materiali del descritto livello II. Si suggeriscono le seguenti procedure di intervento, per la realizzazione della platea:

- asportazione del livello I e conseguimento dell'appoggio sul livello II;
- compattazione del fondo dello scavo attraverso modalità idonee;
- stesura di un telo in geotessile (T.N.T.);
- formazione di uno strato di materiale inerte per sottofondi (materiale ghiaioso "stabilizzato"), opportunamente rullato e costipato;
- costruzione della piastra in c.a. di appoggio, adeguatamente dimensionata per prevenire deformazioni dovute alle reazioni differenziali del terreno, con sottostanti guaina impermeabile e magrone di sottofondo.

Il calcolo della capacità portante del terreno può avvenire utilizzando la formula di Terzaghi-Peck:

$$q_{ult.} = \left[ \left( 1 + 0,2 \cdot \frac{B}{L} \right) \cdot c \cdot N_c + \gamma \cdot D \cdot N_q + \left( 1 - 0,2 \cdot \frac{B}{L} \right) \cdot \gamma \cdot \frac{B}{2} \cdot N_\gamma \right]$$

dove:

D = approfondimento del piano di posa dal più vicino piano di calpestio;

B = larghezza del piano di posa;

L = lunghezza del piano di posa;

$N_c$ - $N_q$ - $N_\gamma$  = coefficienti adimensionali funzioni di  $\phi'_k$ .

Considerando in base al D.M. L.L. P.P. 17.01.2018 i coefficienti M1 della tabella 6.2.II ed i parametri geotecnici del livello II, si avrà:

$$\gamma_t = 1.8 \text{ t/m}^3 \quad (A1+M1+R3)$$

$$c_{uk} = 7.0 \text{ t/m}^2 \quad (A1+M1+R3)$$

$$N_c=5.14 \quad N_q=1 \quad N_\gamma=0 \quad \text{per } \phi'_k=0^\circ \quad (A1+M1+R3)$$

$$N_c=14 \quad N_q=11 \quad N_\gamma=8 \quad \text{per } \phi'_k=24^\circ \quad (A1+M1+R3)$$

Sostituendo i rispettivi valori, e considerando le ipotesi fondazionali di progetto ovvero  $B = 5.50$  m,  $L = 6.50$  m e  $D \geq 0.40$  m si avrà:

Livello di appoggio	D (m)	q.ult. (Kg/cmq)	
		(A1+M1+R3)	
		breve termine	lungo termine
II	$\geq 0.40$	4.2	4.0

da suddividere per il coefficiente parziale R3 per le verifiche agli stati limite ultimi  $\gamma_R$  riportato nella tabella 6.4.I del D.M.. Essendo  $\gamma_R = 2.3$  si avrà il seguente valore della capacità portante

Livello di appoggio	D (m)	q.amm. (Kg/cmq)	
		(A1+M1+R3)	
		breve termine	lungo termine
II	$\geq 0.40$	1.8	1.7

## 9.1 Cedimenti

L'applicazione dei carichi fondazionali provocherà cedimenti nel terreno valutabili considerando la distribuzione della pressione del carico trasferito dalle fondazioni su un semispazio elastico, con il contributo degli strati al cedimento totale fino alla profondità in cui la tensione verticale dovuta al sovraccarico esterno è minore al 10% della tensione geostatica effettiva. I cedimenti immediati sono stati calcolati con la seguente formula:

$$s = \sum_i \frac{1}{E_i} [\Delta\sigma_{zi} - \nu_i(\Delta\sigma_{xi} + \Delta\sigma_{yi})] \Delta l_i$$

dove:

$S$  = cedimento

$E_i$  = modulo elastico dello strato  $i$

$\nu$  = modulo di Poisson dello strato  $i$

$\Delta\sigma_{xi}$ ,  $\Delta\sigma_{yi}$ ,  $\Delta\sigma_{zi}$  = incremento di sollecitazione nello strato  $i$ , rispettivamente in direzione  $x$ ,  $y$  e  $z$ .

$\Delta l_i$  = Spessore dello strato  $i$

I cedimenti di consolidazione attesi, per gli strati coesivi, sono stati calcolati con la seguente formula (Skempton):

$$S_c = \mu S_{ed}$$

dove:

$$S_{ed} = \sum \frac{\Delta \sigma_{zi}}{M_i} * \Delta h_i$$

$$\mu = A + \alpha (1 - A)$$

dove:

$S_c$  = cedimento di consolidazione

$\mu$  = coefficiente di correzione

$S_{ed}$  = cedimento edometrico

$\Delta \sigma_{zi}$  = aumento di tensione nello strato i in direzione z

$M_i$  = modulo edometrico dello strato i

$\Delta h_i$  = spessore dello strato i

A = coefficiente di Skempton

$\alpha$  = rapporto tra la tensione orizzontale e quella verticale

In base al D.M. 17.01.2018 è necessario stabilire la massima azione di progetto che causa il cedimento critico pari alla soglia massima tollerabile per l'edificio, vale a dire occorre verificare che il cedimento massimo ammissibile  $S_{cd}$  (che avviene con il Carico Limite  $C_d$  agli stati Limite d'Esercizio) deve essere maggiore del cedimento  $S_d$  che avviene con il carico di progetto  $E_d$  considerato (pertanto  $E_d < C_d$ ). Solitamente per gli edifici e le strutture di uso più comune di impone un valore limite al cedimento complessivo pari a 2.5 cm per le fondazioni in appoggio su litotipi sabbiosi e 4 cm per fondazioni in appoggi su litotipi argillosi in modo tale da evitare cedimenti differenziali di elevata entità. Per le ipotesi fondazionali considerate, nelle condizioni litostratigrafiche ipotizzate e per diverse le condizioni di carico precedentemente determinate, si avrà:

Prof. piano di appoggio (cm)	B (cm)	L (cm)	Resistenza di Progetto ( $R_d$ ) S.L.U. (Kg/cmq)	Cedimento immediato $S_i$ (cm)	Cedimento di consolidaz. $S_c$ (cm)	Cedimento totale $S_{tot}$ (cm)	Cedimento massimo ammissibile $S_{cd}$ (cm)
$\geq 40$	550	650	1.7	1.95	3.00	4.95	4.0

Confrontando i valori del cedimento trovato con il valore ammissibile assunto pari a 4 cm si conclude che affinché venga soddisfatta la verifica agli stati limite di esercizio la resistenza di progetto  $R_d$  dovrà essere quella di seguito riportata, la quale rappresenta la resistenza del sistema geotecnico (carico limite) agli S.L.E. nell'ipotesi di cedimento  $\leq 4.0$  cm per la tipologia fondazionale analizzata ed impostata nell'ambito del descritto livello II.

Prof. piano di appoggio (cm)	B (cm)	L (cm)	Resistenza di Progetto ( $C_d$ ) S.L.E. (Kg/cmq)	Cedimento immediato $S_i$ (cm)	Cedimento di consolidaz. $S_c$ (cm)	Cedimento atteso $S_d$ (cm)	Cedimento massimo ammissibile $S_{cd}$ (cm)
$\geq 40$	550	650	1.35	1.50	2.45	3.95	4.0

I valori dei cedimenti riportati dovranno essere giudicati compatibili da parte dei progettisti, previa le opportune considerazioni relative alle caratteristiche delle strutture, tenendo conto che il cedimento differenziale è in genere considerato circa il 50% di quello assoluto. Si ribadisce infine la necessità di valutare il possibile problema della interferenza tra i bulbi delle pressioni delle nuove fondazioni con quelle esistenti, eventualmente risolvibile ricorrendo a fondazioni di tipo profondo. In ogni caso è da attendere una dislocazione più o meno importante tra le nuove e le esistenti strutture, si suggerisce pertanto di predisporre giunti strutturali nelle posizioni di contatto.

## 9.2 Coefficiente di sottofondo

La determinazione della reazione di sottofondo (Modulo Winkler) per terreni come il livello II in esame deriverà in prima approssimazione dall'applicazione della formula:

$$\kappa_r = \frac{\kappa_{ps}}{1,5B}$$

dove  $\kappa_{ps}$  (in Kg/cm<sup>3</sup>) è il coefficiente relativo ad una piastra circolare con diametro 30cm, mentre B è espresso in metri.



Per terreni come quello in esame  $\kappa_{ps}$  sarà:

Livello II: 2.4÷4.8

Ulteriori precisazioni potranno derivare dalla realizzazione di specifiche prove di carico su piastra.

## 10.0 Stabilità delle fronti scavo

---

La stabilità delle fronti di sbancamento nelle fasi del cantiere per altezze massime come quelle in progetto (circa 3.0÷3.5 metri), verrà garantita adottando scarpate con inclinazioni non superiori a 2/3 (35° sull'orizzontale) laddove impostate nell'ambito del descritto livello I e non superiori a 1/1 (45° sull'orizzontale) laddove impostate nell'ambito del livello II, purché si provveda solertemente alla costruzione delle opere definitive in c.a..

Nel caso tali altezze dovessero essere oltrepassate, si individua l'opportunità di inserire una o più gradonature intermedie, ferma restando l'inclinazione di 45° delle scarpate, valutando altresì di ricorrere a opere provvisionali di sostegno.

I lavori dovranno essere preferibilmente eseguiti nel corso di stagioni meteorologicamente favorevoli, e dovranno essere adottati opportuni accorgimenti per la gestione delle eventuali acque superficiali e di percolazione. In aggiunta si suggerisce di adottare opportuni accorgimenti per l'impermeabilizzazione di tutte le parti interrate delle strutture, per far fronte a possibili "microfalde" sospese, di carattere temporaneo direttamente connesse alle acque meteoriche di precipitazione e di quelle del sub-alveo del limitrofo T.Lavandaia.

### 11.0 Terre e Rocce da scavo

Per l'eventuale riutilizzo dei materiali di risulta degli scavi di fondazione si potrà fare riferimento al D.P.R. n.120 del 13.06.2017 (che riunisce e sostituisce gli articoli n.184, n.185 e n.186 del D.Lgs. n.152 del 03.04.2006 ed il D.M. n.161 del 10.08.2012, disciplinato dall'articolo n.41-bis della L. n.98 del 09.08.2013) o, in caso contrario, essi dovranno essere gestiti come rifiuto secondo quanto previsto dalla parte IV del D.Lgs. n.152 del 03.04.2006.

Casatisma (PV), maggio 2019



The image shows a handwritten signature in black ink over a circular professional stamp. The stamp contains the text "ORDINE DEI GEOLGHI della LOMBARDIA" around the perimeter and "SALERI MAURO n° 326" in the center. Below the signature, the text "Dott. Geol. Mauro SALERI" is printed.

Dott. Geol. Mauro SALERI

