

REALIZZAZIONE DI UN NUOVO ASILO NIDO IN BIOEDILIZIA - LA MONGOLFIERA  
POSTO IN VOLTERRA, LOC. L'ORTINO A VALLE DI VIA TRENTO E TRIESTE.  
- PROGETTO PRELIMINARE -

MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO ED  
ELEMENTI PER LA MODELLAZIONE GEOTECNICA

COMMITTENTE: Comune di Volterra

DATA: novembre 2013

***Dott. Tiziano Chessari***  
*Geologo*

Via S. Isidoro n. 33  
56021 Cascina (Pisa)  
E-mail [AL1484A@geologitoscana.net](mailto:AL1484A@geologitoscana.net)  
P. Iva 01761780509

\_\_\_\_\_  
Geol. Tiziano Chessari

**RELAZIONE GEOLOGICA SULLE INDAGINI  
CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO**

## **PREMESSA**

La presente indagine è stata svolta a supporto del progetto preliminare, redatto dall'Arch. Marco Occhipinti del Comune di Volterra, per la costruzione del nuovo asilo nido denominato "La Mongolfiera". Il nuovo asilo sarà realizzato subito al di fuori della cinta muraria del centro storico, in località L'Ortino, poco a valle della Via Trento e Trieste, sul versante Sud del capoluogo (appendice 1).

Il progetto preliminare prevede la realizzazione di una struttura dimensionata per 40 bambini e comprende le sistemazioni esterne: movimenti terra, allestimento del resede con verde e giochi, recinzioni.

Partendo dagli elementi di conoscenza contenuti negli studi geologici di supporto al P.R.G. vigente del Comune di Volterra e negli elaborati del "P.A.I." dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno, si sono svolti approfondimenti in merito all'assetto geologico-tecnico del sottosuolo ed alle condizioni di pericolosità dell'area.

Per la caratterizzazione stratigrafica e geotecnica del substrato sono state effettuate in sito quattro prove penetrometriche i cui risultati sono stati correlati e calibrati su quelli di un sondaggio a carotaggio continuo, nel corso del quale sono state effettuate prove penetrometriche standard in foro e prelevato un campione indisturbato per successive analisi in laboratorio geotecnico. Le prove in sito e di laboratorio sono state affidate alla ditta Ichnogeo s.a.s., certificata ai sensi di legge.

I risultati delle indagini geognostiche sono stati correlati con quelli di altre prove penetrometriche e stratigrafie a disposizione, contenute nella banca dati geognostica della variante gestionale al R.U. del Comune di Volterra.

La caratterizzazione sismica è stata in prima battuta effettuata sulla base di una prospezione sismica in sito con onde superficiali (MASW) e misure di rumore sismico ambientale già a disposizione e riferite alla stessa zona.

Le caratteristiche del sottosuolo da un punto di vista sismico, saranno compiutamente definite non appena sarà possibile effettuare all'interno del sondaggio la prova sismica in foro (Down-hole), già inserita nel programma delle prove in sito approvato dal Comune di Volterra ed affidato alla ditta Ichnogeo.

La morfologia dell'area di intervento è stata ricostruita mediante rilievo strumentale di dettaglio effettuato dallo Studio Tecnico Migliorini e Rubicini di Certaldo (FI).

I risultati acquisiti nell'ambito dell'indagine condotta hanno permesso di giungere alla ricostruzione del modello geologico dell'area di intervento e delle caratteristiche del substrato di fondazione, e di individuare le problematiche di tipo geologico-geotecnico connesse all'intervento.

## **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

- P.R.G. vigente del Comune di Volterra;
- D.PG.R. 25 ottobre 2011 n.53/R: "Regolamento di attuazione dell'Art. 62 L.R. n.1/2005";
- Autorità di Bacino del Fiume Arno, D.P.C.M. 6 maggio 2005: "Approvazione del Piano di Bacino del fiume Arno, stralcio assetto idrogeologico";
- D.P.G.R. 9 luglio 2009, n.36/R: "Regolamento di attuazione dell'Art. 117, commi 1 e 2 della L.R. n.1/2005";
- D.M. 14 gennaio 2008 T.U.: "Norme Tecniche per le Costruzioni";
- Circolare C.S.L.P. 2 febbraio 2009, n. 617: "Istruzioni per l'applicazione delle NTC di cui al D.M. 14 gennaio 2008";

## **CARATTERISTICHE DELL'INTERVENTO**

Il progetto riguarda la realizzazione di una struttura da destinarsi ad asilo nido per 40 bambini, articolata in un unico piano terra e con ingombro di circa 26 x 13 m.

Il nuovo asilo sarà realizzato subito a valle del complesso scolastico già esistente, dove hanno sede le scuole medie inferiori e superiori, all'interno di un'area debolmente acclive che si inserisce in un contesto più generale a pendenza medio-elevata (appendice 1).

L'intervento ricade in una zona destinata dall'attuale Regolamento Urbanistico ad L1, F e Sb (servizi per l'istruzione di base) cui si accede dalla Str 68 all'altezza dell'incrocio con V.le Trento e Trieste. La viabilità, attualmente costituita da una sola corsia, sarà ampliata e resa idonea alla nuova funzione.

Il progetto in esame prevede al contorno dell'asilo la realizzazione di un'area verde pianeggiante, alla stessa quota del piano di calpestio dell'asilo, che comporterà operazioni non trascurabili di riporto, così come rappresentate nelle sezioni ambientali di progetto.

Il dislivello tra la porzione più elevata dell'area (quota 472,5 m s.l.m. rilievo strumentale), e lo spigolo lato valle (quota intorno ai 469 m s.l.m.) è infatti rilevante.

Visto l'assetto morfologico dell'area, nel progetto preliminare è già indicata la necessità di realizzare strutture di fondazione profonde, in grado di superare il dislivello morfologico tra una parte e l'altra dell'edificio e fondare su litologie consistenti in grado di garantire le necessarie condizioni di stabilità all'insieme opera-terreno.

Per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati del progetto preliminare redatti dall'Arch. Marco Occhipinti.

Nella seguente tabella si riportano le caratteristiche che possono essere attribuite alla

struttura in progetto ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008:

TIPO DI COSTRUZIONE	VITA NOMINALE	CLASSE D'USO	COEFF. D'USO	PERIODO DI RIFERIMENTO Vr
2	≥ 50 anni	III	1,5	75 anni

Ai sensi del D.P.G.R. n. 36/R del 2009, Art. 7 comma 3, la classe di indagine relativa all'intervento in oggetto risulta essere la n. 4.

## **1 - CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA**

L'area di indagine si inserisce all'interno del versante sud del colle volterrano il cui assetto geologico, documentato da numerosi sondaggi eseguiti sia dall'Amministrazione Comunale che dai privati, è notoriamente fragile.

Partendo dal tetto, la successione stratigrafica è rappresentata da uno spessore di calcari (noti in letterature come Calcari di Volterra) sui quali si sviluppa la parte più antica dell'edificato. A monte dell'area in esame, i calcari affiorano immediatamente al di sopra del Viale Trento e Trieste fino alla quota di 492 m.s.l.m.

Al di sotto di questi si sviluppa una sequenza di sabbie, da addensate a cementate, che affiorano fino alla quota di 450-460 m.sl.m.

Intercalate a diverse altezze all'interno delle sabbie, si ritrovano bancate di arenarie, con spessori generalmente compresi entro 50/100 cm. Uno di tali livelli è stato intercettato sia nel Sondaggio S1 che nella prova penetrometrica P1 eseguite nel corso dell'indagine di cui la presente costituisce documentazione (vedasi sezioni in Tavola Unica fuori testo).

Verso il basso, le sabbie poggiano su un potente spessore di argille ed argille sabbiose di età pliocenica: Formazione delle Argille Azzurre localmente conosciute con il termine di "Mattaione". Sparse all'interno di tali argille, ma a quote inferiori rispetto a quelle di interesse per la nostra area, si ritrovano alcuni livelli e banchi di sabbie.

Lungo l'intero versante sud di Volterra, la gran parte del substrato consistente plio-pleistocenico, sia esso costituito dalle argille o dalle sabbie, appare mascherato da una coltre detritica che ricopre diffusamente la pendice collinare.

La composizione di tale coltre è prevalentemente sabbioso-limosa, derivando in gran parte dal disfacimento delle sabbie sommitali; la granulometria del deposito è comunque eterogenea potendosi ritrovare anche blocchi e grossi frammenti di "panchino" inglobati nella matrice sottile. Quando la coltre detritica affiora a quote altimetriche superiori alle argille plioceniche, come nel caso in esame, la matrice è sempre costituita da sabbie limose con una tipica colorazione giallastra.

La coltre detritica (o deposito colluviale) poggia sul substrato plio-pleistocenico colmando

depressioni ed antiche incisioni realizzatesi durante l'ultimo episodio glaciale ("Wurm" con termine a circa 10.000 anni fa).

Per questo motivo il suo spessore è estremamente variabile anche su brevi distanze, al pari del suo grado di addensamento che può variare da sciolto a poco addensato fino a mediamente addensato.

Nella tavola fuori testo, abbiamo riportato le isopache della coltre detritica, calcolate a partire dal piano di campagna, dedotte dai risultati delle prove penetrometriche e del sondaggio eseguiti a supporto della presente indagine, e dai dati di ulteriori indagini geognostiche a disposizione (vedasi Appendice 2).

Come dato di partenza abbiamo preso in considerazione l'andamento delle isopache già definite nel corso degli studi "...per l'analisi dell'assetto geologico e geomorfologico del versante sud di Volterra" eseguiti nel Giugno 2010, e riportate nella Tavola 3 del suddetto lavoro, a disposizione sul sito del Comune.

Nei vari punti di indagine, la coltre detritica presenta spessori notevolmente diversi, con un minimo di circa 2,2 m in corrispondenza della P2 , fino ad un massimo intorno ai 9 metri in corrispondenza della P4.

Anche all'interno del piccolo areale di interesse per l'asilo in progetto, abbiamo riscontrato sensibili differenze di spessore della coltre: mentre nella prova P2 è di circa 2,2 metri, in corrispondenza del sondaggio S1, si approfondisce fino a circa 3,4 metri dal p.d.c. per poi raggiungere poco più a valle, in corrispondenza della prova P1, i 6 metri di spessore.

Le sezioni riportate nella Tavola fuori testo, ben evidenziano quanto descritto.

In generale, i salti repentini di spessore della coltre detritica mascherano orli di scarpate ricoperte dai detriti di scarico delle sabbie e dei calcari superiori. E' quindi presumibile che procedendo ancora verso valle, gli spessori della coltre tendano ad aumentare, per raggiungere spessori anche superiori ai 10 metri.

Ciò trova conferma anche nel fatto che ancora più a valle, all'interno dell'impluvio del Botro dello Sgricciolo, le argille plioceniche risultano ancora sormontate da un consistente spessore di coltre detritica.

La presenza di una coltre detritica di spessore variabile, appoggiata su un substrato caratterizzato da pronunciati cambi di pendenza, favorisce l'innescò di scivolamenti lenti. Tali scivolamenti difficilmente riconducibili ad evidenze di campagna sono senza dubbio la causa dei diffusi fenomeni di lesionamento riconoscibili sui fabbricati al contorno, tra cui quello esistente subito a valle dell'area di intervento, già consolidato e sottofondato con pali di lunghezza compresa tra 9 e 12 metri.

## **2 - PERICOLOSITA' DELL'AREA E FATTIBILITA' DELL'INTERVENTO**

### Pericolosità geologica:

Per la verifica degli elementi di pericolosità si è fatto riferimento alla Carta della Pericolosità geomorfologica del R.U. Comunale, di cui all'appendice 3a, secondo la quale l'area di intervento ricade nella Classe G.2 ai sensi del D.P.G.R. 26/R 2007, *pericolosità media*, in cui rientrano le "... aree ... da cui risulta una bassa propensione al dissesto".

Ai sensi della normativa regionale vigente, D.P.G.R. 25 ottobre 2011 n.53/R, ed alla luce delle indagini svolte, all'area di intervento può corrispondere la Classe G3: pericolosità geologica "elevata" in relazione alla potenziale instabilità dei corpi detritici presenti (appendice 5a).

### Pericolosità sismica:

Secondo la carta della pericolosità sismica locale del R.U. vigente, redatta ai sensi del D.P.G.R. 26/R 2007, l'area di intervento ricade in classe S2 "pericolosità sismica locale media" (appendice 3b).

Riferendosi al vigente D.P.G.R. 53/R, per inquadrare il livello di pericolosità sismica della zona in esame sono state perciò utilizzate le informazioni acquisite sull'assetto geologico e sulle caratteristiche geotecniche del sottosuolo, correlandole con i risultati delle indagini sismiche in sito. I dati geologici e geofisici acquisiti permettono di inquadrare l'area di intervento tra le situazioni corrispondenti alla Classe S.3 di pericolosità sismica (appendice 5b): "*Pericolosità sismica locale elevata*" ("... zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti che possono dar luogo a cedimenti diffusi ...").

### Fattibilità secondo il R.U.:

Secondo la Carta della Fattibilità del Regolamento Urbanistico comunale redatta ai sensi della D.P.G.R. 26/R 2007, l'area in esame ricade in una zona con Classe di fattibilità F3: "*fattibilità condizionata*". Per questa classe, " ... ai fini della individuazione delle condizioni di compatibilità degli interventi con le situazioni di pericolosità riscontrate, è necessario definire la tipologia degli approfondimenti di indagine da svolgersi in sede di predisposizione ... dei progetti edilizi". Le NTA del R.U. prescrivono indagini di dettaglio a livello di area complessiva.

L'insieme delle indagini effettuate ha consentito di inquadrare l'assetto geologico locale del substrato di fondazione e di individuare l'andamento delle geometrie sepolte, e quindi sono risultate idonee per definire i termini delle problematiche geologico-tecniche connesse alla realizzazione delle opere in progetto.

I risultati delle indagini, in ottemperanza alle prescrizioni del R.U., possono consentire al progettista di individuare le tecniche fondazionali più adeguate per la sicurezza dell'intervento e per la salvaguardia della stabilità dei terreni, eventualmente avvalendosi, in funzione del progetto definitivo, di ulteriori indagini volte a dettagliare l'andamento delle morfologie sepolte.

### **3 - INDAGINI GEOGNOSTICHE**

Per inquadrare le caratteristiche stratigrafiche e geotecniche del substrato sono state effettuate quattro prove penetrometriche in sito di cui due di tipo statico e due di tipo dinamico. Le prove sono state spinte fino a profondità comprese tra i -6 ed i -12,6 m dal p.d.c., fino ad attestarsi nei terreni consistenti in posto, che nel caso delle due prove statiche hanno provocato l'arresto delle stesse per rifiuto strumentale (appendice 10).

I risultati di tali prove sono stati anche correlati con quelli di altre prove penetrometriche e dati di sottosuolo ubicati nelle immediate vicinanze, contenuti nella banca dati geognostica del Comune di Volterra (appendice 11).

Per completare la caratterizzazione stratigrafica e geotecnica del sottosuolo è stato effettuato un sondaggio profondo 31,5 metri circa, nel corso del quale sono state eseguite alcune prove penetrometriche standard in foro e prelevato un campione indisturbato sul quale eseguire analisi geotecniche di laboratorio (appendice 9, certificazioni sondaggio e prove in foro).

L'ubicazione delle prove e del sondaggio è indicata nella Tavola fuori testo. Nella stessa tavola è stata anche schematizzata la stratigrafia del sottosuolo ricavata dai dati registrati ed il modello geotecnico preliminare del substrato di fondazione.

Le prove penetrometriche sono state eseguite con un penetrometro statico Pagani mod. TG 73-200, con spinta massima da 20 ton, munito di manicotto (Punta Begemann) per la misura dell'attrito laterale (appendice 10a).

Per quanto riguarda le caratteristiche delle attrezzature ed ulteriori specifiche tecniche sui metodi utilizzati, si rimanda alle schede ed alle certificazioni prodotte dalla Società Ichnogeo (appendici 9 e 10).

#### **3.1 - Prove penetrometriche in sito**

In generale, la stratigrafia del sottosuolo indicata dalle prove è caratterizzata da un primo strato di terreni eterogenei, correlabili alla coltre di suolo/riporto costituita da elementi detritici in abbondante matrice limosa con una componente sabbioso argillosa variabile. La consistenza di questi terreni è molto bassa e lo spessore è variabile, da 1,2 m circa nella zona a monte, ad 1,8 m circa spostandosi verso la zona di valle dell'area di intervento.

Al di sotto della coltre di suolo le prove hanno attraversato litotipi prevalentemente granulari. La prima porzione di questi terreni, che ha offerto una bassa resistenza alla penetrazione, è correlabile ai depositi sabbioso-limosi sciolti che costituiscono il detrito di versante, con resistenza alla punta ( $R_p$ ) intorno ai 10-15 kg/cm<sup>2</sup>.

Il loro spessore è risultato molto variabile da prova a prova: mentre nelle prove P2 e P3 si estende rispettivamente fino a -2,2 e -2,8 m circa dal p.c., in corrispondenza delle prove P1 e P4 lo spessore di tale detrito incoerente, caratterizzato da un numero di colpi per

l'avanzamento di 30 cm di circa 3-6 colpi, è stato registrato fino a -6 e -9 m circa sotto il p.c.

Al di sotto del detrito sciolto, la resistenza dei terreni aumenta repentinamente indicando la presenza di litotipi misti prevalentemente sabbioso-limosi, correlabili alle sabbie limose compatte mostrate dal carotaggio intorno ai 4-5 m di profondità. La resistenza di questi litotipi ha causato l'interruzione delle due prove statiche per rifiuto strumentale alle profondità rispettivamente di -5,8 e -7,8 m dal p.c.

Nel caso delle prove dinamiche P1 e P4, la resistenza di questi terreni ha invece consentito di raggiungere profondità rispettivamente di -10 e -11 m circa dal p.c. Anche in questo caso i terreni attraversati sono correlabili a litotipi prevalentemente granulari o poco coesivi, caratterizzati da un numero di colpi necessari per l'avanzamento di 30 cm, mediamente inferiori a 10.

La parte finale delle prove dinamiche è correlabile alla presenza di terreni in posto, con una maggior componente coesiva, e numero di colpi in progressivo aumento a partire dai 10-15 colpi.

La campagna di prove penetrometriche ha consentito di ricostruire la geometria dei vari litotipi, rappresentata nella Tavola fuori testo.

### *3.2 - Sondaggio in sito S1*

Per il sondaggio geognostico è stata utilizzata una sonda meccanica composta da una batteria di aste e da un carotiere di diametro pari a circa 101 mm. Fino alla profondità di -25 m la perforazione è stata eseguita con carotaggio continuo, dopodichè, una volta entrati con certezza nelle argille consistenti in posto (Formazione delle Argille Azzurre), il sondaggio è stato effettuato con il sistema a distruzione di nucleo raggiungendo la profondità di -31,5 m circa. Data la litologia argillosa, l'esecuzione a distruzione ha consentito comunque l'osservazione dettagliata delle carote fino a fondo foro.

Il log stratigrafico dettagliato del sondaggio è stato riportato nell'appendice 7a, unitamente ai dati di cantiere. Nell'appendice 7b è stata inserita la documentazione fotografica del carotaggio effettuato.

L'osservazione diretta delle carote recuperate, correlata ai dati forniti dalle prove penetrometriche, ha permesso di definire i litotipi presenti e di dettagliare la stratigrafia del substrato di fondazione.

Nel corso del sondaggio, per la definizione dei parametri geotecnici delle litologie prevalentemente sabbiose presenti fino ai -17,5 m circa, sono state eseguite quattro prove SPT in foro. Oltre tale profondità, per ottenere i parametri fisico-meccanici delle argille consistenti, è stato prelevato un campione indisturbato alla profondità di -19,5 m sotto il p.c. (appendice 9).

Al termine del sondaggio, il foro è stato intasato con cemento e pietrisco ed attrezzato per

la prova sismica down-hole inserendo un'apposita tubazione.

Per ulteriori dettagli si rimanda al log del sondaggio ed alla documentazione fotografica del carotaggio in appendice 7b.

### 3.3 – Successione stratigrafica del sondaggio S1

La successione di litotipi emersa dal carotaggio è caratterizzata da un primo strato eterogeneo di suolo vegetale misto a detrito/riporto di origine antropica, per uno spessore di circa 1,8 m.

Al di sotto del riporto il carotaggio ha mostrato la presenza di un detrito naturale di versante, costituito da sabbie rossastre, fino a circa -3,4 m., la cui consistenza è stata misurata tramite una prova SPT.

A seguire, fino alla profondità di -17,5 m circa, il carotaggio ha portato alla luce terreni sabbioso-limosi in posto, nel complesso compatti, caratterizzati da valori di SPT intorno ai 40 colpi circa, correlabili alla Formazione delle Sabbie di San Giusto. Si evidenzia, all'interno di questo spessore sabbioso, la presenza di un livello litoide di arenaria grigia, di spessore circa 50-60 cm, alla profondità di circa 12,5 m sotto il p.c.

A partire quindi dai -17,5 m circa, la natura dei terreni cambia passando ad argille limoso-sabbiose consistenti, di colore grigio, con rari livelletti di sabbie limose compatte. Questi litotipi, in posto, sono correlabili ai terreni della Formazione delle Argille Azzurre (Appendice 2).

La consistenza delle argille, testata sul cantiere in maniera speditiva tramite un *pocket penetrometer*, è risultata medio-alta, con valori talvolta prossimi al massimo strumentale.

<b>Strato</b>	<b>Profondità dal p.d.c (m)</b>	<b>Litotipo</b>	<b>Consistenza</b>
1	0 – 1,8	Suolo / riporto	molto bassa
2	1,8 / 3,4	Sabbia fine limosa	bassa - media
3	3,4 – 17,5	Sabbia limoso-argillosa (livello di arenaria a -12,5)	compatta
4	17,5 – 31,5	argilla	molto compatta

Per maggiori dettagli si rimanda al log del sondaggio, alla documentazione fotografica ed ai certificati di prova, riportati nelle appendici dalla n. 7 alla n. 10.

Nel corso del sondaggio è stato prelevato un campione indisturbato, rappresentativo dei litotipi argillosi più profondi. La descrizione del campione indicata nella seguente tabella è stata tratta dal log di campagna:

<i>Campione</i>	<i>Profondità (m.)</i>	<i>Descrizione del campione</i>
<i>S1C1</i>	19,5 - 20	"Argilla sabbiosa compatta di colore grigio..."

I risultati delle prove di laboratorio, in corso di esecuzione, saranno documentati all'interno di una integrazione alla presente relazione che sarà predisposta non appena terminate le analisi.

### 3.4 - Prove geotecniche effettuate nel corso del sondaggio

L'analisi geotecnica dei litotipi sabbiosi è stata affrontata facendo anche riferimento ai risultati delle prove SPT in foro (vedasi certificati allegati in appendice 9).

<b><i>Profondità prova</i></b>	<b><i>Numero colpi SPT (Nspt)</i></b>	Tipo di punta
<i>2,66 – 3,05</i>	19	aperta
<i>5 – 5,45</i>	41	aperta
<i>9 – 9,45</i>	36	aperta
<i>16,5 – 16,95</i>	38	aperta

Gli esiti del sondaggio ed i parametri relativi alle prove in foro risultano omogenei e correlabili con quanto dedotto dall'analisi delle prove penetrometriche.

## **4 - MODELLAZIONE FISICO-MECCANICA DEL SOTTOSUOLO**

I risultati delle indagini effettuate indicano in sintesi che al di sotto del primo spessore di suolo/riporto, si trova una coltre di detrito sabbioso di versante, con spessore variabile lateralmente, a cui seguono le sabbie limoso-argillose in posto della Formazione di San Giusto e poi le Argille Azzurre molto consistenti.

Correlando la stratigrafia ed i valori ottenuti dalle prove penetrometriche con le evidenze litologiche scaturite dal sondaggio, è stato ricostruito il modello geologico del sottosuolo.

Dato l'assetto stratigrafico non piano-parallelo e con spessori variabili lateralmente, nella tabella sottostante è riportata la successione stratigrafica nella verticale del sondaggio. In via preliminare, sulla base dei dati a disposizione, e nel rispetto delle Istruzioni del C.S.L.P., Circolare 2 febbraio 2009, n. 617, sono stati definiti i valori dei parametri di resistenza di ciascun litotipo individuato.

n.	Prof. da p.c. (m)	valori	SPT (colpi)	$\phi'$ (°)	Cu (kg/cm <sup>2</sup> )	$\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	Mv (cm <sup>2</sup> /t)
1	0 – 1,8	medio caratt.	- -	- -	- -	- -	- -
2	1,8 / 3,4	medio caratt.	- 3/4	- 22/23	0,1 0,05	1,8 1,8	- -
3	3,4 – 17,5	medio caratt.	38 36	- 35	- 0,3	1,9 1,9	- -
4	17,5 – 31,5	medio caratt.	- -	- -	- -	- -	- -

Nota:  $\phi'$  = angolo di resistenza al taglio efficace.

## 5 – CARATTERISTICHE SISMICHE DEL SITO

Nella classificazione sismica 2012 della Regione Toscana, "aggiornamento della classificazione sismica della Regione Toscana in attuazione dell'O.P.C.M. 3519/2006 ed ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008", il territorio comunale di Volterra è classificato sismico nella zona "3".

Come valore di riferimento per la magnitudo massima attesa dell'evento sismico, in via preliminare per il caso in esame si può fare riferimento al "Rapporto conclusivo dell'INGV" dell'aprile 2004 (Redazione della Mappa di Pericolosità Sismica), per cui questa porzione di territorio ricade nella zona sismica 916.

Per questa zona, detta pubblicazione propone di adottare, cautelativamente, valori di magnitudo compresi tra 5,68 e 6,14. Anche il documento del Gruppo di lavoro MS, 2008 Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica, fa riferimento a quei valori di magnitudo.

### 5.1 – Categoria di sottosuolo

Ai fini della valutazione dell'azione sismica al sito, viste le caratteristiche geostatigrafiche e gli esiti delle indagini sismiche in sito, in accordo con le NTC si è proceduto facendo riferimento all'approccio semplificato che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento, secondo i criteri contenuti nella tab. 3.2.II della suddetta normativa.

Considerata la categoria dell'intervento, ai sensi del D.P.G.R. 36/R 2009, per definire la categoria sismica di sottosuolo il sondaggio geognostico è stato spinto fino a circa - 32 m ed il foro è stato predisposto per l'esecuzione di una prova del tipo down-hole.

Nelle more dei risultati di tale prova, già programmata ed affidata alla stessa Ditta Ichnogeo esecutrice del foro, la categoria sismica di sottosuolo è stata stimata a partire da

una prova sismica di superficie di tipo MASW, già a disposizione nel sito di intervento, il cui elaborato è riportato in appendice 8.

La metodologia MASW (metodo sismico attivo) ha consentito la misurazione della velocità di propagazione delle onde sismiche nel terreno. Oltre alla misura delle onde di taglio (S), effettuata attraverso la MASW, ed è stata effettuata anche una misurazione dei microtremori ambientali (sismica passiva, metodologia HVSR).

Per quanto riguarda la modalità di acquisizione dati effettuati in campagna ed ulteriori specifiche tecniche sui metodi utilizzati, si rimanda alla specifica relazione sulle indagini geofisiche allegata al presente studio (Appendice 8).

Nell'ambito di detta indagine sismica, effettuata dalla Ditta P3 di Pisa, attraverso la prova sismica di tipo MASW, congiunta con la misura dei microtremori ambientali, è stato possibile determinare un profilo verticale della velocità delle onde S e quindi calcolare i moduli elastici dinamici ed il valore  $V_{s30}$  nell'area di intervento.

L'andamento delle velocità sismiche mostra una  $V_s$  in graduale aumento a partire da velocità intorno ai 185 m/s nella porzione più superficiale di sottosuolo, che poi superano i 300 m/s oltre i -22 m circa di profondità.

Il valore della  $V_{s30}$  fornito dalla indagine sismica è di 304 m/s.

La misura dei microtremori ambientali non ha evidenziato picchi significativi nel campo H/V. Nella verticale di misura l'indagine sismica effettuata non ha delineato particolari frequenze intorno alle quali le onde sismiche di superficie subiscono una significativa amplificazione.

Visti i parametri di resistenza dei litotipi presenti nel sottosuolo dell'area di intervento, l'andamento della  $V_s$ , il valore della  $V_{s30}$  e l'assenza di un bedrock sismico nei primi 30m, il substrato dell'area di intervento si inquadra in un profilo stratigrafico corrispondente alla categoria di sottosuolo "C", definita, secondo il D.M. 14 gennaio 2008, come segue:

...  
C – “*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < N_{spt30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < C_{u30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina)*” ...

Ai sensi del D.M. 14 gennaio 2008 e dell'EC 8, il valore del coefficiente di amplificazione topografica "ST", relativo in questo caso alla categoria topografica T1, è uguale ad 1.

## 5.2 - Risposta sismica di sito

L'azione sismica di progetto in base alla quale verificare il rispetto degli stati limite, è stata valutata a partire da una "pericolosità sismica di base", riferita ad un sito ideale, rigido e con superficie topografica orizzontale (categoria "A" delle NTC), definita a livello nazionale dall'INGV. La risposta sismica locale (coefficienti sismici di sito) è stata poi determinata

correggendo i parametri dell'azione sismica individuata, tenendo conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali del sottosuolo e dalla morfologia della superficie (coefficienti di amplificazione topografica e stratigrafica).

Per far questo si è utilizzato il software "Geostru PS parametri sismici" che, a partire dai dati di input quali Vita Nominale e Classe d'uso dell'edificio, categoria di sottosuolo e categoria topografica, restituisce i coefficienti sismici ( $k_h$ ,  $k_v$ ,  $\beta$ ) che modificano in ampiezza, durata e contenuto in frequenza, l'azione sismica di riferimento e quindi l'accelerazione massima attesa al sito ( $A_{max}$  in  $m/s^2$ ), in relazione ai  $T_r$  considerati. I risultati restituiti dal programma vengono riportati qui di seguito.

### Determinazione dei parametri sismici - Geostru software

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii – fondazioni - Sito in esame:

<b>Latitudine</b>	<b>Longitudine</b>	<b>Classe</b>	<b>Vita nominale</b>
43,401675 [ED50]	10,85743 [ED50]	III	50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 21606	Lat: 43,4040	Lon: 10,8060	Distanza: 4160,387
Sito 2	ID: 21607	Lat: 43,4055	Lon: 10,8748	Distanza: 1467,600
Sito 3	ID: 21829	Lat: 43,3556	Lon: 10,8769	Distanza: 5363,413
Sito 4	ID: 21828	Lat: 43,3540	Lon: 10,8083	Distanza: 6625,354

### Parametri sismici

<b>Categoria sottosuolo</b>	<b>Categoria topografica</b>	<b>Periodo di riferimento</b>	<b>Coefficiente <math>c_u</math></b>
C	T1	75 anni	1,5

<b>Parametri</b>	<b>SLO:</b>		<b>SLD:</b>		<b>SLV:</b>		<b>SLC:</b>	
<b>Probabilità di superamento</b>	81	%	63	%	10	%	5	%
<b>Tr:</b>	45	[anni]	75	[anni]	712		1462	[anni]
<b>ag:</b>	0,056 g		0,070 g		0,159 g		0,196 g	
<b>Fo:</b>	2,491		2,476		2,508		2,546	
<b>Tc*:</b>	0,242		0,252		0,278		0,285	

### Coefficienti Sismici

<b>SLO:</b>		<b>SLD:</b>		<b>SLV:</b>		<b>SLC:</b>	
<b>Ss:</b>	1,500	<b>Ss:</b>	1,500	<b>Ss:</b>	1,460	<b>Ss:</b>	1,400
<b>Cc:</b>	1,680	<b>Cc:</b>	1,650	<b>Cc:</b>	1,600	<b>Cc:</b>	1,590
<b>St:</b>	1,000	<b>St:</b>	1,000	<b>St:</b>	1,000	<b>St:</b>	1,000
<b>Kh:</b>	0,017	<b>Kh:</b>	0,021	<b>Kh:</b>	0,056	<b>Kh:</b>	0,066
<b>Kv:</b>	0,008	<b>Kv:</b>	0,0011	<b>Kv:</b>	0,028	<b>Kv:</b>	0,033
<b>Amax (m/s<sup>2</sup>):</b>	0,824	<b>Amax (m/s<sup>2</sup>):</b>	1,036	<b>Amax (m/s<sup>2</sup>):</b>	2,277	<b>Amax (m/s<sup>2</sup>):</b>	2,686
<b>Beta:</b>	0,200	<b>Beta:</b>	0,200	<b>Beta:</b>	0,240	<b>Beta:</b>	0,240

### 5.3 – Effetti di sito in condizioni sismiche

Le indagini geognostiche in sito hanno mostrato la presenza, nel sottosuolo dell'area di

intervento, di terreni sabbioso-limosi, con evidenze di saturazione a partire da circa -6 -7m sotto il p.c.

Anche se le caratteristiche di granulometria e consistenza di tali litotipi portano evidentemente ad escludere la possibilità di insorgenza di fenomeni di liquefazione, in osservanza della normativa si è effettuata una valutazione preliminare della possibilità di insorgenza di tali fenomeni come possibile effetto di sito in condizioni sismiche.

Per un orientamento preliminare circa il potenziale di liquefacibilità di questo strato si è utilizzato il software *freeware* "Verifica a Liquefazione 2011", della ditta GeoStru Software. Le verifiche sono state effettuate con i metodi semplificati che si basano sui valori di SPT: *metodo di Seed e Idriss e metodo di Tokimatsu e Yoshimi*.

Come numero di colpi SPT utilizzato per le verifiche, si è scelto quello più basso misurato direttamente nel foro del sondaggio.

Il valore di accelerazione sismica utilizzato per la verifica ( $A_g = 0,16 g$ ) è stato ricavato utilizzando il software "parametri sismici" della ditta Geostru e considerando una Classe d'uso III. Come valore della Magnitudo massima attesa dell'evento sismico, sulla base delle precedenti considerazioni è stato utilizzato un valore cautelativo pari a 6,14.

I dati relativi all'elaborazione sono stati esportati direttamente dal programma e riportati nell'Appendice 12. I risultati ottenuti con metodi semplificati indicano che, nello spessore in esame, il fattore di sicurezza rispetto alla potenziale liquefazione è sempre superiore al minimo di legge, con un ampio margine di sicurezza.

Gli esiti delle verifiche indicano quindi che il rischio del fenomeno della liquefazione dei terreni in condizioni sismiche si può trascurare e che la verifica delle strutture e delle fondazioni potrà essere condotta senza tener conto di tale rischio.

## **6 – COMPATIBILITÀ AMBIENTALE DEGLI INTERVENTI E INDICAZIONI PER LA PROGETTAZIONE DEFINITIVA**

### **6.1 – Problematiche geologico-tecniche**

L'indagine svolta ha consentito di rilevare che il substrato della zona da edificare presenta una marcata disomogeneità laterale dell'assetto e delle caratteristiche geologiche-geotecniche, sia in senso longitudinale che trasversale.

Come descritto nei paragrafi precedenti, l'area di intervento è interessata dalla presenza di un primo spessore di terreni con caratteristiche geotecniche complessivamente scadenti (detrito di versante), mentre al di sotto di essi si estendono litotipi di buona consistenza. Gli spessori di detrito sono variabili da punto a punto e raggiungono il maggior approfondimento in direzione valle (vedasi Tavola unica fuori testo).

Per oltrepassare lo strato di terreni scadenti ed impostare ovunque le strutture di fondazione nel substrato consistente, si ritiene perciò necessario adottare fondazioni

profonde del tipo a palo di grosso diametro.

Nella tavola fuori testo abbiamo riportato indicativamente la lunghezza dei pali al di sotto del fabbricato. Dovendo garantire un incastro adeguato all'interno dei terreni consistenti, la lunghezza dei pali sarà progressivamente crescente da monte verso valle.

## 6.2 - Movimenti terra

Per realizzare il resede al contorno dell'asilo il progetto prevede operazioni di sbancamento sul lato monte e di riporto sul lato valle.

Sulla base del rilievo di dettaglio del Geom. Migliorini è verosimile prevedere per il resede la quota 471,5 m (CTR 1:2,000 – rilievo strumentale).

In tale ipotesi, si prevede un fronte di sbancamento sul lato monte, che dovrà essere riprofilato con pendenze adeguate o sostenuto con un'opera di contenimento di idonea altezza.

Per contro sul lato valle sarà collocato un consistente spessore di terreno di riporto la cui stabilità dovrà essere assicurata adottando tecniche idonee alla sua stabilizzazione o prevedendo anche in questo caso opere di sostegno opportunamente dimensionate ed ancorate al substrato consistente.

## 6.3 – Terre di scavo

Per quanto riguarda la qualità del terreno movimentato, il lotto di intervento si estende su una zona agricola, priva di potenziali fonti di contaminazione e che non presenta evidenze di problematiche connesse a processi di inquinamento, per cui si può confermare l'idoneità del materiale scavato ad essere reimpiegato nell'ambito dell'area di intervento come terreno naturale per risistemazioni morfologiche, così come consentito dall'Art. 185 del D.Lgs. 152/06 e s.m.i. (comma 10-sexies dell'art. 20 della Legge n. 2 del 28 gennaio del 2009).

## 6.4 - Regimazione delle acque superficiali e risparmio idrico

Per quanto riguarda il risparmio idrico, il progetto prevede la realizzazione di una cisterna interrata di raccolta dell'acqua piovana proveniente dalla copertura ed il suo riutilizzo per le cassette dei water e per l'irrigazione delle aree a verde.

Le acque del troppo pieno della cisterna e le acque dei piazzali dovranno essere raccolte tramite un adeguato sistema di regimazione ed essere convogliate nel sistema fognario comunale evitando la dispersione nel terreno.

## **CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE**

Le indagini hanno consentito di inquadrare l'assetto geologico del sito di intervento ed hanno evidenziato i termini delle problematiche geologico-tecniche connesse alla realizzazione delle opere in progetto.

In primo luogo hanno evidenziato una notevole disomogeneità delle caratteristiche geologiche-geotecniche del substrato, dovuta alla presenza di un notevole spessore di terreni detritici e di riporto con caratteristiche geotecniche scadenti al di sopra dei litotipi consistenti in posto.

Lo spessore di terreni scadenti diventa progressivamente maggiore da monte verso valle e dai lati verso il centro dell'area di intervento.

Si ritiene che la situazione rilevata richieda necessariamente l'adozione di fondazioni in grado di riportare i carichi sul substrato consistente, direttamente o tramite sottofondazioni del tipo a palo, o anche utilizzando tecniche di miglioramento delle caratteristiche geomeccaniche dei terreni, tipo jet-grouting.

In ogni caso nel dimensionamento delle strutture di fondazione si dovrà tener conto anche delle sollecitazioni che potrebbero essere indotte da movimenti gravitativi lenti della coltre detritica.

Ciò vale anche per le opere di sostegno delle scarpate che eventualmente si dovessero dimostrare necessarie.

Sulla base dei risultati ottenuti, e nei limiti di tutto quanto esposto nella presente relazione, si conclude che l'intervento in progetto è compatibile con il contesto geologico nel quale si inserisce.

Geol. Tiziano Chessari

Cascina, novembre 2013