REGIONE PIEMONTE

Comune di Cantalupa

Città Metropolitana di Torino

UFFICIO LAVORI PUBBLICI

INTERVENTI DI ADEGUAMENTO SISMICO DELLE STRUTTURE (ai sensi del D.M. 17/1/2018) DEL PLESSO SCOLASTICO "S. PIGNATELLI"

SITO IN VIA DEL MONASTERO n. 9

PROGETTO ESECUTIVO

OGGETTO:

- Relazione geotecnica e sismica (ai sensi del par. 3.2.3 e 6.2.2 delle NTC2018)

ALL. **B2**

Data: aprile 2019

Scala:

Rev: 01

Il Responsabile del Procedimento:
(Responsabile U.T. Lavori Pubblici)

Geom. Bruna COASSOLO

Il professionista capogruppo del R.T.P. e progettista delle strutture:

ing. Giuseppe RINALDIS

I professionisti mandanti del R.T.P.:

ing. Carmelo RINALDIS

arch. Erika BONINO

ing. Nicola CRITELLI

geol. Marco LAVEZZO

Adeguamento sismico scuola primaria "S. Pignatelli"

REGIONE PIEMONTE
CITTA' METROPOLITANA DI TORINO
COMUNE DI CANTALUPA

INTERVENTI DI ADEGUAMENTO SISMICO DEL PLESSO SCOLASTICO "SILVIA PIGNATELLI"

RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA

ai sensi §§ 3.2.3 e 6.2.2 NTC/18

Committente: **COMUNE DI CANTALUPA**
Via Chiesa, 43
10060 Cantalupa (To)

LAVEZZO dott. MARCO
GEOLOGO
ORDINE GEOLOGI REGIONE PIEMONTE A.P. SEZ. A n. 645
Via Balbiano, 6 - 10023 Chieri (TO)
P.IVA 09198030018 - C.F. LVZ MRC 63L17 C627Q
marco.lavezzo@geologipiemonte.it
P.E.C.: m.lavezzo@epap.sicurezzapostale.it

ORDINE GEOLOGI REGIONE PIEMONTE
MARCO LAVEZZO GEOLOGO A.P. SEZ. A N. 645
ALBO PROFESSIONALE

RG1901B - Rev. 01 – Aprile 2019

REGIONE PIEMONTE
CITTA' METROPOLITANA DI TORINO
COMUNE DI CANTALUPA

INTERVENTI DI ADEGUAMENTO SISMICO DEL PLESSO SCOLASTICO "SILVIA PIGNATELLI"

RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA

Aprile 2019

SOMMARIO

PREMESSA 2
RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA 3
1 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI LITOTIPI 3
1.1 Dati geognostici impiegati 3
1.2 Profilo geomeccanico del terreno indagato 3
1.3 Modello geotecnico del sottosuolo 4
1.4 Determinazione delle proprietà indice 5
1.5 Caratterizzazione delle unità geotecniche omogenee 7
2 INQUADRAMENTO SISMICO 8
2.1 Inquadramento sismico regionale 8
2.2 Sismicità storica 9
2.3 Sismicità locale 10
2.4 Pericolosità sismica di base 12
3 RISULTATI DELLE INDAGINI E MODELLAZIONE SISMICA LOCALE 15
3.1 Indagini geofisiche e modello sismico 15
3.2 Pericolosità sismica locale 15
3.3 Accelerazione massima attesa in superficie 18
3.4 Valutazione della magnitudo massima attesa 19
4 STABILITA' NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE 20
4.1 Esclusione della verifica a liquefazione 20
4.2 Verifica del potenziale di liquefazione 21
CONCLUSIONI 23
PRINCIPALI RIFERIMENTI NORMATIVI E BIBLIOGRAFICI 24

PREMESSA

La presente relazione Geotecnica, comprendente la relazione Sismica, è redatta su incarico del Comune di Cantalupa (TO) per il progetto degli interventi di adeguamento sismico del plesso scolastico "Silvia Pignatelli" sito in Cantalupa, Via del Monastero n. 7-9.

La relazione è redatta in ottemperanza alla vigente normativa, con particolare riguardo a:

- *D.M. 11.03.88 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";*
- *Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M. 17/01/18 S.O. n. 8 alla G.U. n. 42 del 20/02/2018) - nel seguito denominato anche NTC18;*
- *Circolare 21 gennaio 2019 n. 7 C.S.LL.PP. "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018" (S.O. n. 5 alla G.U. n. 35 del 11/02/2019).*
- *O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/03 "Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici" e s.m.i.;*

La caratterizzazione si basa sulla documentazione preliminare predisposta dal Comune di Cantalupa e messa a disposizione degli scriventi, consistente in una Relazione Geologica e una Relazione Geotecnica redatte nel mese di maggio 2018 e sul Report di una campagna di indagini sismiche (stendimento MASW) appositamente realizzata nel mese di marzo 2018 dalla Società 4 EMME Service S.p.A., nonché sui dati di pregresse indagini geotecniche da fonti bibliografiche.

Su richiesta dell'Amministrazione appaltante, è necessario procedere alla "*Valutazione delle relazioni geologiche/tecniche e sismiche già disponibili e predisporre eventuali integrazioni*". Il presente lavoro, che integra gli elaborati messi a disposizione dall'Amministrazione comunale, si prefigge di:

- fornire la modellazione e la caratterizzazione geotecnica del sito in oggetto secondo la vigente normativa (§ 6.2.2 delle NTC/18), basandosi sulle indagini puntuali realizzate in loco, sui dati bibliografici e su studi di carattere descrittivo, qualitativo e quantitativo, compresa la caratterizzazione geotecnica dei litotipi;
- valutare la pericolosità sismica locale, con riferimento alla classificazione sismica aggiornata del territorio nazionale, e fornire la descrizione del moto sismico in superficie e lo spettro elastico in accelerazione, ai sensi del § 3.2.3 delle NTC/18.

La caratterizzazione, basata su indagini eseguite nel territorio comunale in materiali appartenenti alla medesima formazione litostratigrafica, andrà utilizzata con cautela: qualora in sede di progettazione esecutiva e in fase realizzativa emergessero difformità o criticità rispetto ai parametri qui forniti, sarà necessario procedere ad un approfondimento di indagine in loco.

ORDINE GEOLOGI REGIONE PIEMONTE
MARCO LAVEZZO GEOLOGO
A.P. SEZ. A
N. 645
ALBO PROFESSIONALE

RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA

1 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI LITOTIPI

1.1 Dati geognostici impiegati

In assenza di specifiche indagini dirette in loco, si precisa che in questa sede verranno utilizzati i dati di pregresse campagne geognostiche nel territorio comunale nell'ambito della medesima formazione litostratigrafica richiamati dalla Relazione Geologica preliminare fornita dall'Amministrazione Committente. In particolare verranno utilizzati i seguenti elaborati:

- perforazione a carotaggio continuo con prove SPT (codice ARPA 108131), realizzata nel mese di marzo 1988 a distanza di circa 700 m a valle del sito in oggetto, sullo stesso versante vallivo della scuola (vedasi Relazione Geologica allegata al presente progetto);
- rilievo geofisico con metodologia sismica attiva MASW, realizzato nel mese di marzo 2018 dalla Società 4 EMME Service S.p.A. per conto del Comune di Cantalupa in corrispondenza dell'edificio scolastico in oggetto.

Per confronto, verranno anche considerati i sondaggi eseguiti nel marzo 2003 per la realizzazione di strutture sportive sull'opposto versante vallivo (sinistra orografica), a distanza di circa 400 m dal sito in esame, identificati con i codici ARPA 105361 e 105362.

1.2 Profilo geomeccanico del terreno indagato

Il profilo geomeccanico è ricavato dalla distribuzione dei valori normalizzati di N_{SPT} e dalla descrizione stratigrafica: sono stati considerati solo i valori del sondaggio eseguito a valle del sito in oggetto, sulla sponda destra del torrente, che in questa sede preliminare si ritengono maggiormente significativi. Inoltre, tali valori sono conservativi rispetto ai dati delle prove SPT dei sondaggi eseguiti per la realizzazione delle strutture sportive sull'opposto versante orografico, che hanno raggiunto quasi sempre il rifiuto alla penetrazione (probabilmente per la presenza di ciottoli); per contro, la prova a -2.50 m in S2 ha fornito valori del tutto confrontabili quelli della verticale di carotaggio del marzo 1988.

In accordo con la letteratura tecnica, i valori di N_{SPT} sono stati normalizzati, al fine di tenere conto dell'energia specifica dell'attrezzatura (Cestari,1996) e, dove richiesto dalla letteratura tecnica, dell'influenza della pressione del terreno sovrastante, tramite le correlazioni di Skempton (1985) e quella di Jamiolkowski (1985), applicando la più conservativa in funzione della profondità.

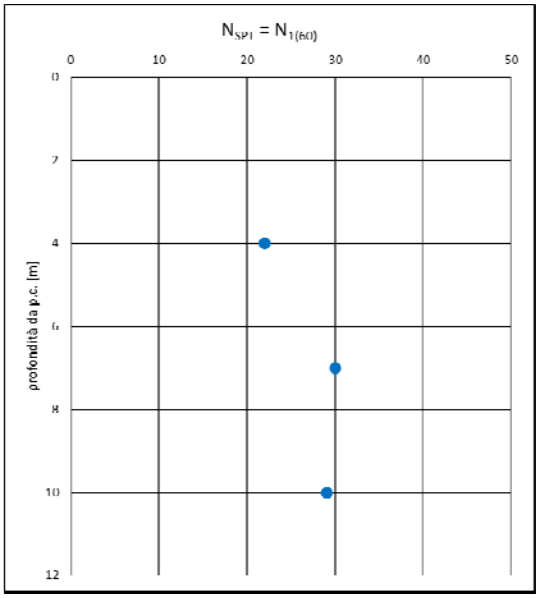


Figura 1 – *Profilo dell'andamento dei valori di $N_{(1),60}$ (NSPT normalizzati) della stratigrafia di riferimento*

1.3 Modello geotecnico del sottosuolo

Sulla scorta del modello geologico e dei risultati delle indagini geognostiche, correlando i livelli a comportamento geomeccanico omogeneo, si ipotizza il seguente modello geotecnico concettuale del sottosuolo in 2 unità principali, che potrà essere impiegato per la stratigrafia di progetto.

- Unità n. 1: terreni di riporto e coltre pedogenetica superficiale. Questo deposito è descritto come limo sabbioso inglobante clasti e frammenti rocciosi eterometrici, dal caratteristico colore rosso-bruno per fenomeni ossidativi e di alterazione, con locali noduli calcarei. La potenza è variabile da 1.60 a 2.50 m ed è presente in tutte le verticali consultate, a conferma della distribuzione omogenea sul territorio in esame.
- Unità n. 2: sabbie e ghiaie del *glacis*. Tutte le verticali di indagini consultate concordano nella presenza di una potente coltre di sedimenti continentali clastici grossolani, costituti da sabbia e ghiaia con locali ciottoli e blocchi rocciosi, anche decimetrici, e varia percentuale limosa in matrice. A quote variabili tra -7 e -14 m ca. si rinvengono paleosuoli, talora prevalentemente limoso-sabbiosi con sparsi clasti, ma i fenomeni ossidativi sono descritti con frequenza a vari livelli. Questa formazione si rinviene almeno fino a -20 m da p.c. e, sulla base del profilo sismico MASW realizzato in corrispondenza dell'edificio scolastico in esame, potrebbe estendersi anche a -30 m e oltre. A scala del deposito, si può affermare che i litotipi presentano una sostanziale omogeneità dei parametri geotecnici (rif. figura 1).

Le indagini a disposizione rilevano una soggiacenza piezometrica della falda idrica a profondità non inferiori a -8.5 m circa da p.c.. In ragione delle fluttuazioni stagionali e legate al regime meteo-climatico locale, si ritiene che la soggiacenza della falda possa raggiungere anche -5 m ca. da p.c..

1.4 Determinazione delle proprietà indice

In considerazione della natura e consistenza e delle condizioni idrogeologiche dei materiali presenti, di natura clastica grossolana, la caratterizzazione prevede la stima dei parametri geotecnici in condizioni drenate (in termini di tensioni efficaci, secondo Terzaghi, 1936), nell'ipotesi questa che i tempi di dissipazione delle pressioni interstiziali indotte dall'applicazione dei carichi siano brevi, nel qual caso si assume nullo il valore della coesione drenata (c' = 0 kPa)

Nota preliminare

Ai sensi delle NTC approvate con il D.M. 17 gennaio 2018, i parametri geotecnici nel seguito individuati sono da ritenersi come valori intrinseci caratteristici e verranno pertanto identificati con il pedice "k".

In accordo alle NTC18 (§ 6.2.2), "per valore caratteristico di un parametro geotecnico deve intendersi una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro nello stato limite considerato". Secondo il codice europeo (EC7, punto 2.4.5.2) "il valore caratteristico dovrebbe essere ricavato in maniera tale che la probabilità calcolata di valori più sfavorevoli, che determinano la manifestazione dello stato limite, non sia maggiore del 5%". Pertanto nel presente lavoro, per i valori caratteristici nel seguito indicati, la stima cautelativa consiste nel 5° o nel 95° percentile del valore medio o della mediana del campione. Infatti, a seconda delle verifiche, ciascun parametro riveste un ruolo a favore o a sfavore di sicurezza e dovrà essere impiegato il valore cautelativo probabilistico più opportuno.

Sotto il profilo procedurale, per ciascun parametro si è provveduto a ricavare i valori tramite le correlazioni indicate nei successivi paragrafi, utilizzando qualora possibile più metodi proposti da autori diversi. Dopo aver criticamente escluso eventuali valori anomali, i dati di ciascuna unità geotecnica sono stati trattati con metodi statistici al fine di ottenere il parametro caratteristico rappresentativo nel seguito riportato. Nel caso in esame, il trattamento statistico è stato condotto in termini di assenza di compensazione strutturale, vale a dire per deformazioni del terreno su piccoli volumi, valido per fondazioni isolate dirette e per fondazioni indirette.

Alcune normative, quali la norvegese (NORSOK standard N001), esplicitano le differenze tra grandi e piccoli volumi significativi: il valore caratteristico deve essere scelto in modo che la probabilità di incidenza del valore meno favorevole sia bassa. Quando uno stato limite è governato da un grande volume di terreno, l'incidenza è minore e viceversa. Secondo la teoria dei campi aleatori, i parametri geomeccanici presentano fluttuazioni periodiche nei loro valori, nel verso verticale e nel verso orizzontale. Più sono grandi le dimensioni entro le quali i parametri sono mediati, più le fluttuazioni attorno al trend tendono a cancellarsi nel calcolo della media spaziale (Nadim e Lacasse, 1996). Pertanto, il trattamento statistico per piccoli volumi di deformazione risulta maggiormente conservativo.

Per completezza di informazione, si fornisce anche il valore nominale, che corrisponde al valore medio o medio ponderato dei dati ricavati mediante le diverse correlazioni.

Parametri fisici caratteristici

Il peso dell'unità di volume totale del terreno γ è stimato indirettamente utilizzando la carta di classificazione proposta dal NAVFAC DM-7 (1971) e le correlazioni di Brinkgreve et al. (2010) e di Terzaghi e Peck (1948).

La densità relativa DR è stata calcolata a partire dalle prove SPT con le correlazioni di Gibbs & Holtz (1957) e di Meyerhof (1957), mediando poi i risultati.

Parametri di resistenza

L'angolo di resistenza a taglio di picco φ'_p delle sabbie e delle ghiaie è stato stimato a partire dai valori normalizzati di NSPT applicando diverse correlazioni: NAVFAC DM-7 (1971), Schmertmann (1975), Wolff (1989), Kleven et al (1986), Hatanaka & Uchida (1996), Kulhawy e Mayne (1990), Puech e Foray (2002), Roccaforte e Cucinotta (2015), del JRA - Japan Road Association (1996) e della Road Bridge Specification, mediando infine i risultati. Al fine della determinazione, si sono scartati i valori che si discostano maggiormente dalla media.

Per la valutazione dell'angolo di resistenza a taglio residuo φ'_{cv} si è fatto ricorso alla correlazione di Bolton (1986) sulla base del valore adottato di φ'_p.

La coesione drenata c' in termini di tensioni efficaci, per quanto precedentemente espresso, quando non determinata direttamente in laboratorio, è sempre assunta pari a zero.

Parametri di deformabilità

Il modulo di Young E' in condizioni drenate viene stimato indirettamente dal valore corrispondente di NSPT mediante le correlazioni proposte da Denver (1982).

$$E' = s_1 \cdot N_{SPT} + s_2$$

Per la determinazione di s_1 e s_2 si ricorre alle indicazioni bibliografiche: per sabbia e ghiaia NC, D'Appolonia et al. (1970) suggeriscono s_1 = 0.756 MPa e s_2 = 18.75 MPa.

Il Modulo di Taglio G (modulo elastico tangenziale) e il Modulo elastico Edometrico E_{ed} in assenza di specifiche prove di laboratorio, sono calcolati indirettamente tramite la note relazioni matematiche della teoria del modello elastico che correlano tali moduli con il modulo elastico normale e il coefficiente di Poisson (cfr. Lancellotta, 2004; Di Francesco, 2011).

Per i moduli di deformazione, utili per la stima dei cedimenti differenziali, si procede alla determinazione statistica del 5° e del 95° percentile, al fine di fornire il *range* di variabilità massima in termini cautelativi ai sensi delle NTC18. Il valore normalizzato di NSPT corrispondente, assunto

come valore indice massimo e minimo per ciascuna UG, viene nel seguito indicato come valore caratteristico derivato dai metodi statistici precedentemente illustrati.

Il coefficiente di Poisson ν è stato stimato in riferimento alle indicazioni disponibili in letteratura tecnica (Cestelli-Guidi, Bowles), in funzione della litologia e dell'angolo di resistenza a taglio di picco.

Il modulo di Winkler Ks viene stimato in via preliminare ed approssimata in funzione del valore di resistenza penetrometrica NSPT tramite l'abaco di Terzaghi (1955) per le sabbie umide o secche, a seconda dei casi.

1.5 Caratterizzazione delle unità geotecniche omogenee

Tabella riepilogativa per la UG2: Sabbia e ghiaia limosa (formazione del glacis)			
Classificazione (Sistema Unificato USCS)	***SW, con passate GP***		
Soggiacenza strato	*>2.50 m*		
PARAMETRO	***Valore nominale***	***VALORE caratteristico***	***UNITA' DI MISURA***
Indice Standard Penetration Test (normalizzato)	33	$N_{(60)\ (k)\ max}$ = 38	[colpi/piede]
		$N_{(60)\ (k)\ min}$ = 28	[colpi/piede]
Peso dell'unità di volume saturo		$\gamma_{w\ (k)}$ = 20.5	[kN/m^3]
Peso dell'unità di volume secco		$\gamma_{s\ (k)}$ = 17.5	[kN/m^3]
Densità relativa	76	$D_{R\ (k)}$ = 68	[%]
Angolo di resistenza a taglio di picco	37	$\varphi'_{P\ (k)}$ = 33	[°]
Angolo di resistenza a volume costante	29	$\varphi'_{CV\ (k)}$ = 26	[°]
Coesione drenata	0	$c'_{(k)}$ = 0	[kPa]
Coefficiente di Poisson	0.28	$\nu_{(k)}$ = 0.31	[-]
Modulo di Young in condizioni drenate	43.7	$E'_{(k)\ max}$ = 67.8	[MPa]
		$E'_{(k)\ min}$ = 25.8	[MPa]
Modulo di Taglio	17.1	$G_{(k)\ max}$ = 25.9	[MPa]
		$G_{(k)\ min}$ = 9.8	[MPa]
Modulo Edometrico	55.9	$E_{ed\ (k)\ max}$ = 94.0	[MPa]
		$E_{ed\ (k)\ min}$ = 35.8	[MPa]
Costante di Winkler orizzontale (secco)	8.0	$k_{w,s}$ = 6.0	[daN/cm^3]
Costante di Winkler orizzontale (saturo)	4.6	$k_{w,s}$ = 3.4	[daN/cm^3]

2 INQUADRAMENTO SISMICO

2.1 Inquadramento sismico regionale

Il territorio piemontese è circondato lungo i confini settentrionali, occidentali e meridionali dai rilievi montuosi del sistema alpino occidentale, catena collisionale originatasi a partire dal Cretaceo per lo scontro fra le placche Europea ed Adriatica. Il contesto tettonico e i regimi geodinamici attivi portano la regione ad essere sede di attività sismica, generalmente modesta dal punto di vista energetico ma notevole come frequenza.

Gli epicentri si concentrano lungo due direttrici, note storicamente come "arco sismico piemontese" e "arco sismico brianzonese": la prima segue la direzione dell'arco alpino occidentale nella sua parte interna, in corrispondenza del massimo gradiente orizzontale della gravità, lungo il limite fra le unità pennidiche e la pianura padana; la seconda, più dispersa, segue l'allineamento dei massicci cristallini esterni, in corrispondenza del minimo gravimetrico delle Alpi occidentali francesi, lungo il Fronte Pennidico.

Le due direttrici si estendono a nord fino al Vallese, caratterizzato da una diffusa sismicità, e convergono a sud nel Cuneese, con una maggiore dispersione verso la costa del Mar Ligure, interessando il Nizzardo e l'Imperiese. Una diffusa sismicità è inoltre presente lungo i rilievi a sud del Piemonte e in particolare nell'Appennino settentrionale, nelle zone sud-orientali della regione.

I terremoti che interessano il territorio piemontese avvengono generalmente a profondità superficiali, prevalentemente entro 20 km dalla superficie, sebbene si rilevino alcuni eventi con maggiori profondità ipocentrali, in relazione a porzioni litosferiche in subduzione.

L'area è caratterizzata da una sismicità strumentale di grado molto basso. Tuttavia, i dati ricavati dalla rete sismica dell'Italia Nord-Occidentale (R.S.N.I.) evidenziano una concentrazione degli epicentri dei terremoti strumentali in corrispondenza del Pinerolese e della bassa Valle di Susa. Si evidenzia un allineamento di eventi sismici nel settore interno delle Alpi Cozie lungo la direttrice Nord-Sud dell'arco sismico piemontese, che si estende dalla Valle di Lanzo fino alla Val Maira. La profondità degli ipocentri dei terremoti lungo questo allineamento non supera mediamente i 15 km mentre spostandosi nel settore di pianura, tra la Val Chisone e la Val Pellice, si raggiungono bruscamente profondità superiori ai 30 km. Anche l'analisi dei terremoti storici più rilevanti, ricavati dal Catalogo sismico pubblicato da INGV, evidenzia un allineamento circa Nord-Sud coincidente con quello dei terremoti strumentali. La magnitudo di tali eventi (MS) non supera 5.5. Sebbene allo stato attuale delle conoscenze non sia possibile stabilire con certezza le sorgenti sismogenetiche, si può osservare come la sismicità bordi le principali zone di taglio regionali ad andamento N-S, quale la linea Viù-Locana, un importante dislocazione duttile a direzione media N-S di lunghezza plurichilometrica riattivata a livelli crostali superficiali in condizioni fragili.

Dai dati del Catalogo Parametrico dei Terremoti in Italia (CPT15) emerge che i due massimi eventi registrati in regione sono quello del 9 ottobre 1828 tra Val Curone e Valle Staffora e quello del 2 aprile 1808 nel Pinerolese, con rispettiva magnitudo stimata pari a circa 5.8 e 5.7 M_w. Sismi di

magnitudo maggiore sono avvenuti a relativamente breve distanza dai confini regionali, tali da produrre effetti apprezzabili anche in Piemonte: si ricorda in particolare l'evento del 23 febbraio del 1887 nei pressi della costa ligure occidentale, a meno di 50 km dai confini piemontesi, di magnitudo stimata pari a 7.0 M_w.

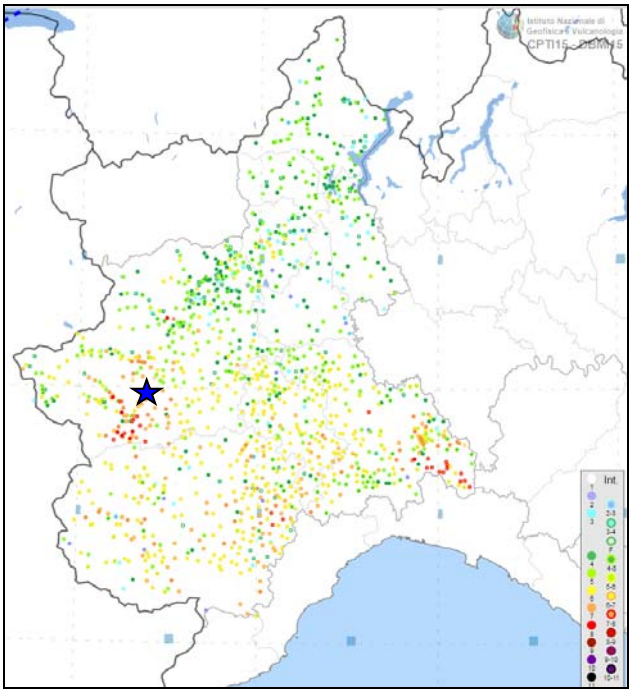


Figura 2 – *Sismicità storica del Piemonte (dal catalogo parametrico CPTI15)*

2.2 Sismicità storica

Il Comune di Cantalupa si colloca in una zona a sismicità medio-alta. La sismicità storica è desumibile dal DBMI15 (Database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani utilizzate per la compilazione del catalogo parametrico CPT15), pubblicato dall'INGV. Nella fig. 2 sono evidenziati gli epicentri dei terremoti più significativi.

La tabella a pagina seguente riporta gli eventi sismici più significativi (dal Database Macrosismico Italiano dell'INGV, versione DBMI15, Luglio 2016), dove Is è l'intensità al sito (MCS), Io è l'intensità epicentrale (MCS) e Mw è la magnitudo momento del terremoto.

File downloaded from CPTI15 - DBMI15
Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 - Database Macrosismico Italiano 2015
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Seismic history of Cantalupa
No. of reported earthquakes 6

Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
6-7	1808 04 02 16 43	Val Pellice	105	8	5,64
6	1887 02 23 05 21 50.00	Liguria occidentale	1511	9	6,27
6	1980 01 05 14 32 26.00	Torinese	120	6-7	4,82
3	1991 02 11 15 43 43.10	Briançonnais	72		4,33
5	1995 01 04 00 47 02.28	Val Chisone	35	5	3,73
4-5	2011 07 25 12 31 20.46	Torinese	105	5	4,67

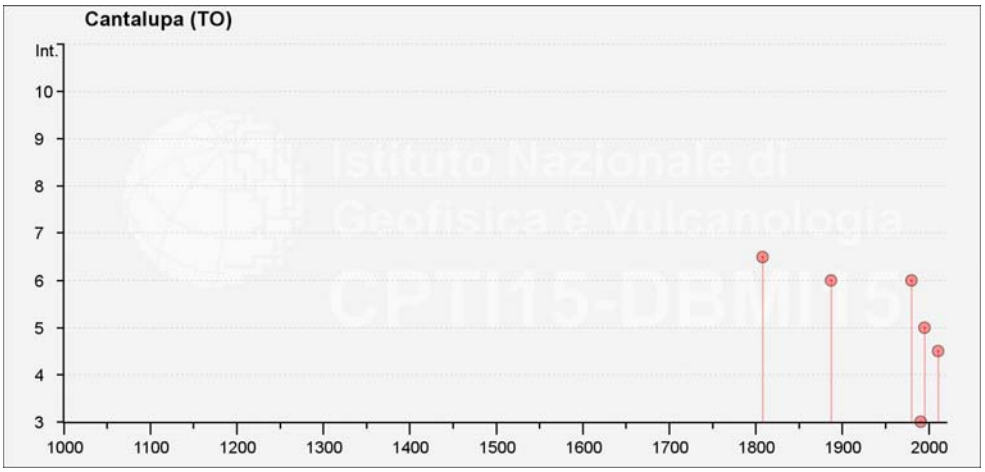


Figura 3– *Sismicità storica di Cantalupa (da INGV CPTI15 e DMI15)*

2.3 Sismicità locale

Massima intensità macrosismica

La massima intensità macrosismica per il Comune di Cantalupa, secondo le tabelle pubblicate dall'INGV, è uguale al grado 7 MCS (fig. 4 a lato).

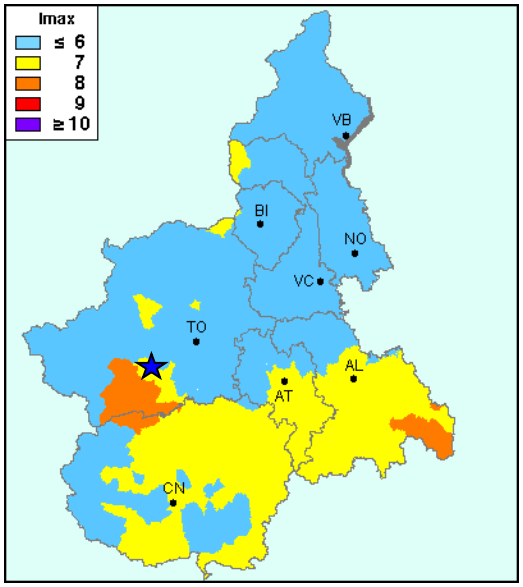


Figura 4 – *Massima intensità macrosismica per il Piemonte (Da INGV)*

Zonazione sismogenetica

Secondo la Zonazione Simogenetica S9 dell'INGV, ogni zona sorgente è definita come possibile sorgente di terremoti di magnitudo maggiore di 5. Il Comune di Cantalupa si colloca in area in area interna alla zona sismogenetica ZS908 "del Piemonte", caratterizzata da Mw(i) $_{(max2)}$ = 6.14.

Tuttavia, in riferimento al database DISS, nella nuova e più aggiornata versione 3.2.1 pubblicata dall'INGV il 28/04/2018, l'edificio scolastico in esame si trova in area appena esterna (a circa 4.5 km a NNW) alla zona sismogenica attiva composita ITCS023 – Western Piemonte (corrispondente alla struttura nota come "Arco del Monferrato"); inoltre essa è prossima a zone sismogenetiche individuali, in particolare a circa 12 km a NE della ITIS071 "Torre Pellice" e a circa 8 km a N della ITIS073 "Pinerolo", caratterizzate dai seguenti parametri:

DISS 3.2.1			
Seismogenic Source	**ITCS023 Western Piemonte**	**ITIS071 Torre Pellice**	**ITIS073 Pinerolo**
	Parameter	**Parameter**	**Parameter**
Min Depth (km)	1	3.0	3.0
Max Depth (km)	8	6.5	6.2
Strike (deg)	45 - 80	62	76
Dip (deg)	40 - 50	45	45
Rake (deg)	130 - 155	135	150
Slip Rate (mm/y)	0.14 – 0.2	0.1 – 1.0	0.1 – 1.0
Max Magnitude (Mw)	5.7	5.7	5.6

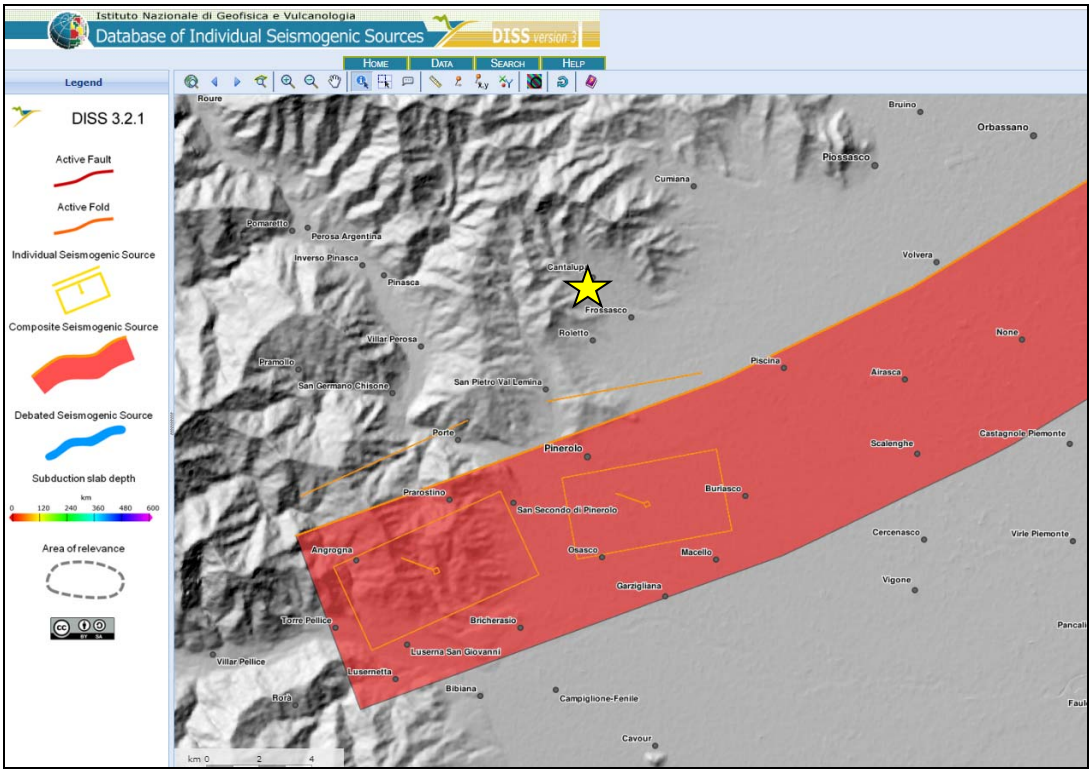


Figura 5 – *Estratto del DISS, zone sismogeniche (l'asterisco giallo indica il sito in oggetto)*

Infine, dalla consultazione del database delle faglie capaci del progetto ITHACA (ITaly HAzard from CApable faults), riportato sul portale cartografico SGI di ISPRA, nell'intorno significativo del sito in oggetto non risulta la presenza di faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie.

2.4 Pericolosità sismica di base

Ai sensi dell'O.P.C.M. n. 3274 del 20 Marzo 2003 e s.m.i., il territorio del Comune di Cantalupa è stato classificato in zona 2, caratterizzata da valori di accelerazione orizzontale massima su suolo rigido $a_{g(max)} \leq 0.25$ g. A seguito della riclassificazione sismica con D.G.R. 19 gennaio 2010, n. 11-13058 (fig. 6) e relativi aggiornamenti di cui alle D.G.R. n. 4-3084 del 12 dicembre 2011 e D.G.R. n. 7-3340 del 3 febbraio 2012, il Comune di Cantalupa è stato assegnato alla zona sismica 3S.

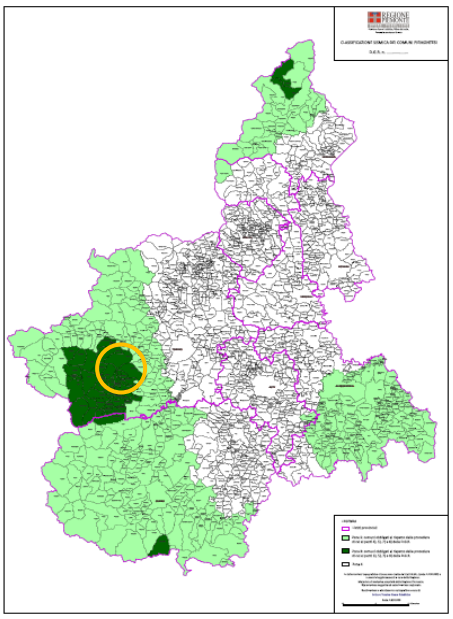


Figura 6 – *Classificazione sismica (fonte: Regione Piemonte)*

Ai sensi delle vigenti NTC18, la stima della pericolosità sismica (intesa in termini di azione sismica di riferimento per la progettazione - paragrafo 3.2.3) viene definita sulla base dei valori di pericolosità sismica proposti dal progetto S1-INGV ai sensi dell'OPCM n. 3519 del 28 Aprile 2006. Viene pertanto superato il concetto di sismicità di area in favore della sismicità di sito, intesa come risposta sismica locale, che verrà pertanto nel seguito analizzata.

La stima del rischio sismico, infatti, tiene conto dell'intera storia sismica riportata nel catalogo sismico nazionale e che viene espressa in termini probabilistici. La pericolosità sismica di riferimento ipotizza un substrato omogeneo in roccia ed è espressa in PGA (Peak Ground Acceleration) con associato un periodo di ritorno di 475 anni, valore convenzionale in quanto rappresenta l'accelerazione associata alla probabilità del 90% di non superamento considerando un periodo di ritorno di 50 anni (fig. 7).

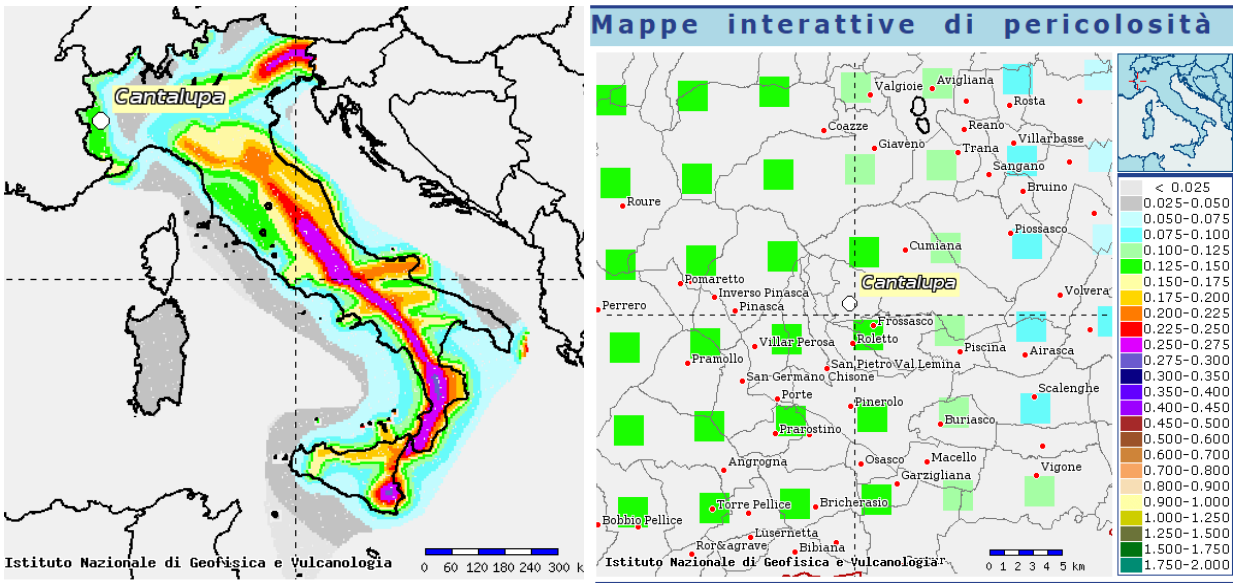


Figura 7 - *Carta di pericolosità sismica espressa in accelerazione orizzontale di picco PGA con periodo di ritorno di 475 anni (pari alla probabilità di non eccedenza del 90% in 50 anni)*

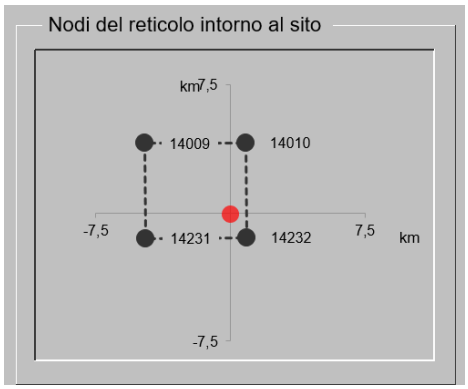


Figura 8 – *Nodi del reticolo NTC08 attorno al sito*

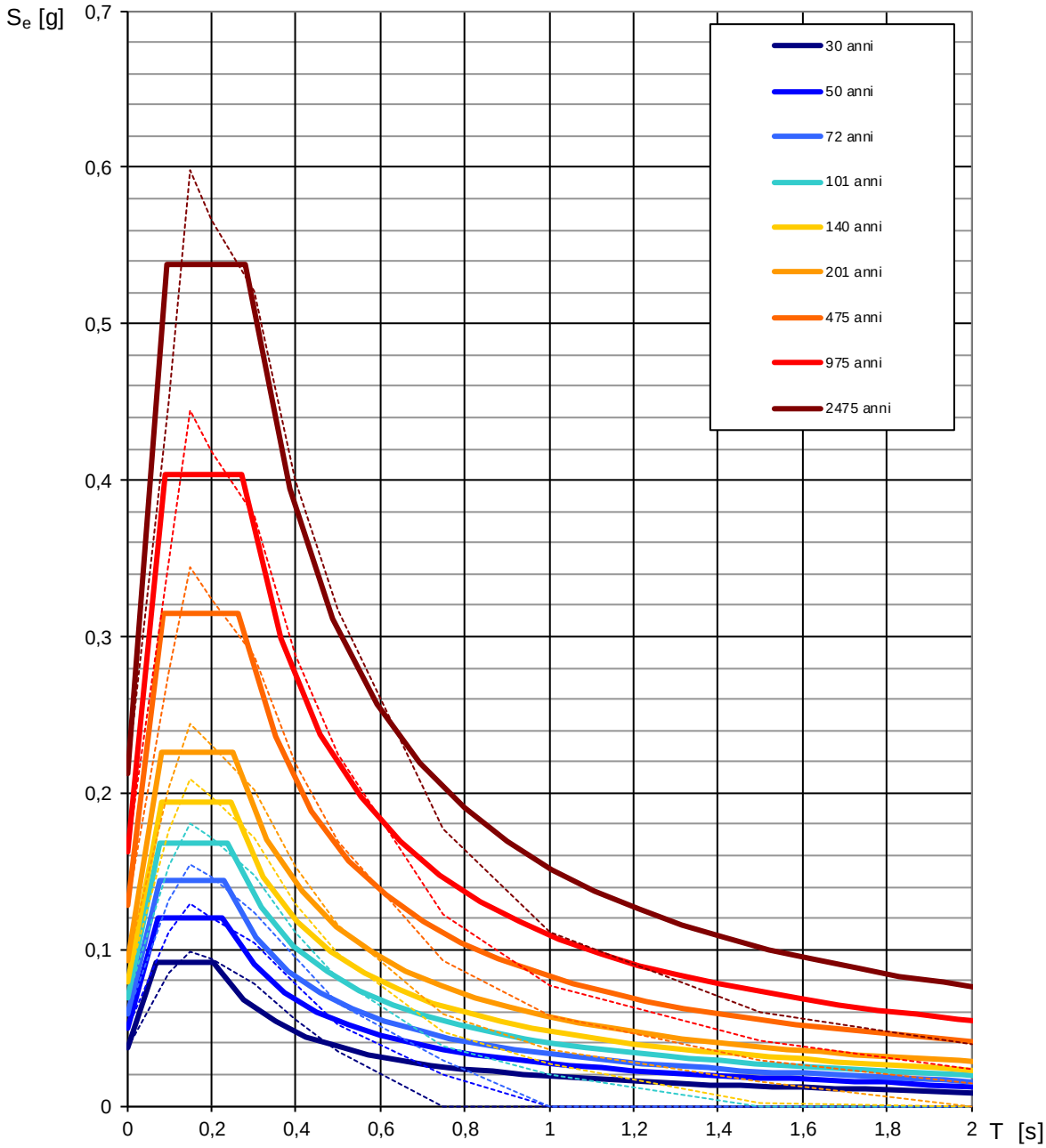
Come definito dal § 3.2.3 NTC18 le accelerazioni di riferimento su suolo rigido (intensità dell'azione sismica, intesa come stato limite sismico probabilistico per determinati periodi di riferimento T_R), sono calcolate sulla base della carta di rischio dell'INGV e variano secondo le coordinate del sito, in funzione di punti di ancoraggio nodali costituenti un reticolo di riferimento (cfr. fig. 8), i cui valori sono riportati nella tabella 1 allegata alle NTC08 e richiamata dalle NTC18.

Assumendo le coordinate del sito (coordinate ED50 – conforme al sistema adottato dall'INGV):

Longitudine: E 7,33472; Latitudine: N 44,93986

si ricavano gli spettri di risposta riportati nella figura 9. Per comodità di lettura, si riportano nella tabella seguente i parametri sismici per i vari T_R assegnati (tempi di ritorno, funzione della probabilità di superamento nel periodo di riferimento), dove:

Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_R di riferimento



NOTA:
Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

Figura 9– *Spettri elastici di riferimento su suolo rigido per il sito in esame*

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito, equivalente al valore dello spettro elastico corrispondente al periodo zero, ossia Se[g] con T=0, e rappresenta la pericolosità sismica di base ai sensi della normativa vigente;
- F_o valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_C^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
30	0,037	2,463	0,204
50	0,049	2,434	0,225
72	0,059	2,459	0,230
101	0,069	2,444	0,240
140	0,079	2,446	0,245
201	0,093	2,437	0,251
475	0,128	2,457	0,262
975	0,162	2,486	0,270
2475	0,212	2,534	0,283

3 RISULTATI DELLE INDAGINI E MODELLAZIONE SISMICA LOCALE

3.1 Indagini geofisiche e modello sismico

In ottemperanza alla vigente normativa NTC18, che prescrive la misura diretta in della velocità di propagazione delle onde di taglio Vs, in data 16/03/2018, a cura della Società 4 EMME Service S.p.A. per conto del Comune di Cantalupa è stata eseguita una prova sismica tipo MASW.

Il profilo sismico del terreno di fondazione della struttura in oggetto è riportato in fig. 10. Per i risultati di dettaglio e le modalità esecutive della prova si rimanda al report dell'indagine in allegato alla presente relazione.

I risultati ottenuti consentono di evidenziare un mezzo dalle discrete caratteristiche di resistenza meccanica, con tendenza a graduale aumento della velocità di propagazione delle onde S con la profondità fino alla massima profondità di indagine, pari a 30 m di profondità da piano campagna. Il bedrock sismico di riferimento (Vs>800 m/s, ai sensi della vigente normativa) non è stato rinvenuto.

3.2 Pericolosità sismica locale

Definizione della categoria di sottosuolo

Con riferimento agli effetti locali, ai sensi del paragrafo 3.2.2 delle NTC18, la definizione dell'azione sismica di progetto si valuta mediante specifiche analisi. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab.

3.2.II delle NTC18, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_S.

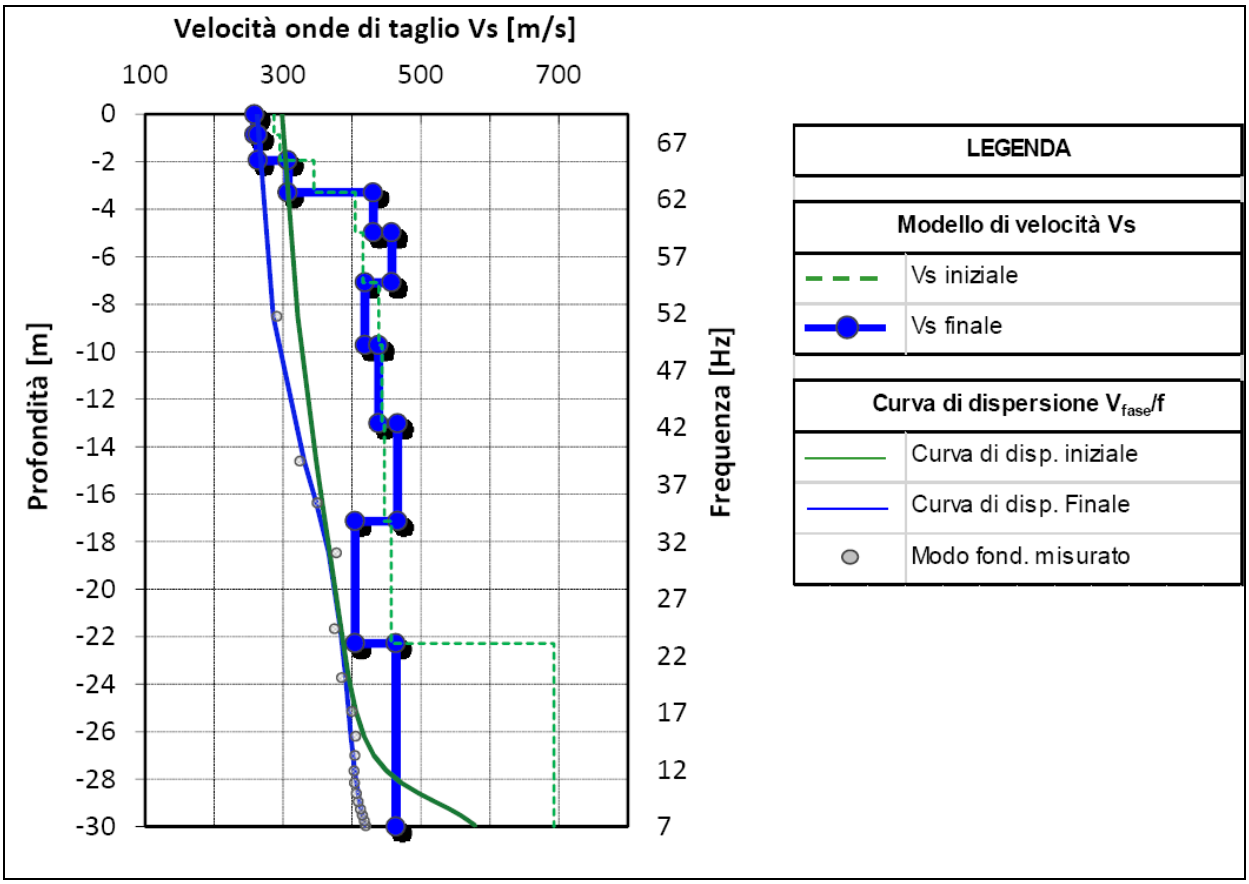


Figura 10– *Profilo sismico del terreno da prova MASW realizzata da 4 EMME Service Spa*

La classificazione del sottosuolo si effettua pertanto in base alle condizioni stratigrafiche e ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s), in funzione profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s. Per depositi con profondità del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto assumendo la profondità del substrato pari a 30 m e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali.

Nel caso in esame, l'intervallo da considerare è compreso tra circa – 2 m (la profondità di imposta delle fondazioni rispetto al p.c. di riferimento delle prove sismiche, corrispondente dal terrapieno del cortile, è di circa 2 m) e 32 m (corrispondente a circa 30 m al di sotto della quota di imposta delle fondazioni, non essendo stato intercettato il substrato sismico a profondità inferiori). Si evidenzia che la Relazione Geotecnica preliminare messa a disposizione dall'Amministrazione Committente indica il valore di $V_{S,30}$ pari a 415 m/s calcolato a partire dal p.c.. Poiché non si hanno a disposizione valori di

V_S a profondità maggiori di 30 m, in queste sede e in via del tutto preliminare, considerando l'andamento del profilo di velocità, ai fini della determinazione del $V_{S,eq}$ verrà esteso il valore di V_S del livello più profondo anche ai livelli inferiori. Tale assunto è conservativo, in quanto il grafico mostra la tendenza all'aumento dei valori.

MODELLO Vs A 10 STRATI			
Strato	Profondità [m]		Vs [m/s]
	da	a	
1	0.0	-0.9	259
2	-0.9	-1.9	264
3	-1.9	-3.3	307
4	-3.3	-5.0	431
5	-5.0	-7.1	458
6	-7.1	-9.7	419
7	-9.7	-13.0	439
8	-13.0	-17.1	466
9	-17.1	-22.3	405
10	-22.3	-30.0	464
Codice di calcolo: SurfSeis 6.4.1			

Figura 11– *Modello a sismostrati da prova MASW realizzata da 4 EMME Service Spa*

Grazie ai valori della MASW appositamente condotta e fornita dal Committente, dal modello a sismostrati (fig. 11) si ricava il valore di **$V_{S,eq}$ = $V_{S,30}$ pari a 435 m/s.**

Ricorrendo all'approccio semplificato di analisi di risposta sismica locale, ai sensi della tabella 3.2.II delle NTC18, il terreno rientra nella **categoria 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".*

Il ricorso all'approccio semplificato di analisi di risposta sismica locale è giustificato in quanto è verificata nel complesso la condizione di "*graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità*", in presenza di strati piano paralleli e orizzontali e in quanto le inversioni dei valori di velocità rilevate possono non essere considerate significative.

Secondo le Linee Guida del Dipartimento della Protezione Civile per la Microzonazione Sismica si definisce l'inversione di velocità nel profilo delle Vs qualora sia realizzata la condizione in cui un terreno rigido sovrasta stratigraficamente un terreno meno rigido (soffice) con un rapporto $\frac{Vs_{rig}}{Vs_{soft}} > 2$ e con la Vs dello strato più rigido maggiore di 500 m/s. Secondo questo criterio è possibile non considerare le inversioni di velocità riscontrate nell'indagine in oggetto come significative al fine dell'attribuzione della classificazione sismica con l'approccio semplificato. È opportuno ricordare che il criterio utilizzato per la definizione delle inversioni di velocità è applicabile in situazioni in cui il sottosuolo è assimilabile ad un modello monodimensionale (strati piano paralleli e orizzontali, omogenei e a comportamento viscoelastico); coerentemente con le Linee Guida per la Microzonazione sismica emanate dal Dipartimento di Protezione Civile, qualora le condizioni geologiche non

permettano una tale semplificazione sono necessarie ulteriori indagini per valutare eventuali fenomeni di amplificazione e la risposta sismica locale.

Definizione dell'amplificazione topografica

Il sito si colloca in un'area planiziale Si può dunque ragionevolmente assumere la categoria topografica T1: "*Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°*" (Tab. 3.2.III delle NTC18).

3.3 Accelerazione massima attesa in superficie

Ai fini della valutazione del potenziale di instabilità, oltre alla stima della magnitudo occorre anche determinare il valore di $a_{g\ (max)}$ (accelerazione massima attesa in superficie in condizioni *free-field,* equivalente al valore dello spettro elastico corrispondente al periodo zero, ossia Se[g] con T=0: $a_{g\ (max)} = S \bullet a_g = S_T \cdot \bullet S_s \cdot \bullet a_g$). Verranno quindi applicati i coefficienti S_S e S_T sulla base di quanto sopra definito:

- per un sottosuolo di riferimento di categoria B si assume cautelativamente un valore del coefficiente di amplificazione stratigrafica S_S = 1.20 (cfr. tabella 3.2.IV delle NTC18);
- per la categoria topografica T1 (Tab. 3.2.V delle NTC18), si assume il coefficiente di amplificazione topografica S_T = 1.0.

Per la valutazione delle azioni ai diversi stati limite occorre individuare il V_R sulla base della Vita di riferimento dell'opera (§ 2.4 delle NTC18). Ai sensi delle NTC18, trattandosi di un edificio scolastico individuato dal Piano di Protezione Civile comunale quale struttura idonea alla gestione dell'emergenza, ai sensi dell'Allegato 1 delle "Procedure di gestione e controllo delle attività urbanistico-edilizie ai fini della prevenzione del rischio sismico" (D.G.R. n. 4-3084 del 12 dicembre 2011 e D.G.R. n. 7-3340 del 3 febbraio 2012), si assumono le condizioni di un edificio interesse strategico rientrante nella Classe d'uso IV (§ 2.4.2 delle NTC18) e per un tempo ≥ 100 anni di vita nominale, per la quale si assume un valore del coefficiente d'uso C_U pari a 2.0 (cfr. tabella 2.4.II delle NTC18).

Nel caso in esame si ricava:

STATO LIMITE	T_R [anni]	$a_{g\ (max)}$ [g]	a_g [g]	F_o [-]	T^*_c [s]	a_{gv} [g]	F_v [-]
SLO	120	0,089	0,074	2,445	0,243	0,027	0,900
SLD	201	0,111	0,093	2,438	0,251	0,038	1,003
SLV	1898	0,236	0,197	2,520	0,279	0,118	1,509
SLC	2475	0,252	0,212	2,534	0,283	0,132	1,576

dove a_{gv} è l'accelerazione al suolo (in condizioni *free-field*) della componente verticale e F_v è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, in termini di accelerazione orizzontale massima del terreno a_g su sito di riferimento rigido orizzontale (§ 3.2.3.2.2 NTC18).

Il § 3.2.3.3 delle NTC18 fornisce le espressioni per calcolare i valori dello spostamento orizzontale dg e la velocità orizzontale vg massimi del terreno, applicando le quali si ottiene (per gli SLV):

$$d_g = 0{,}055 \text{ m}$$
$$v_g = 0{,}147 \text{ m/s}$$

3.4 Valutazione della magnitudo massima attesa

In accordo con gli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" (IMCS), verrà valutata la magnitudo sulla base della zonazione sismogenetica ZS9.

Poiché il sito in esame si colloca in area interna alla zona sismogenetica ZS908 "del Piemonte", caratterizzata da $Mw(i)_{(max2)}$ = 6.14 (figura 12), si assume tale valore. Pertanto, applicando la procedura ICMS, si ricava che il valore di Magnitudo da applicare per le verifiche di suscettibilità alla liquefazione è pari a 6.14.

Per contro, applicando il metodo della disaggregazione, calcolata nel sito dell'INGV (fig. 13), si ricava M_W = 4.7.

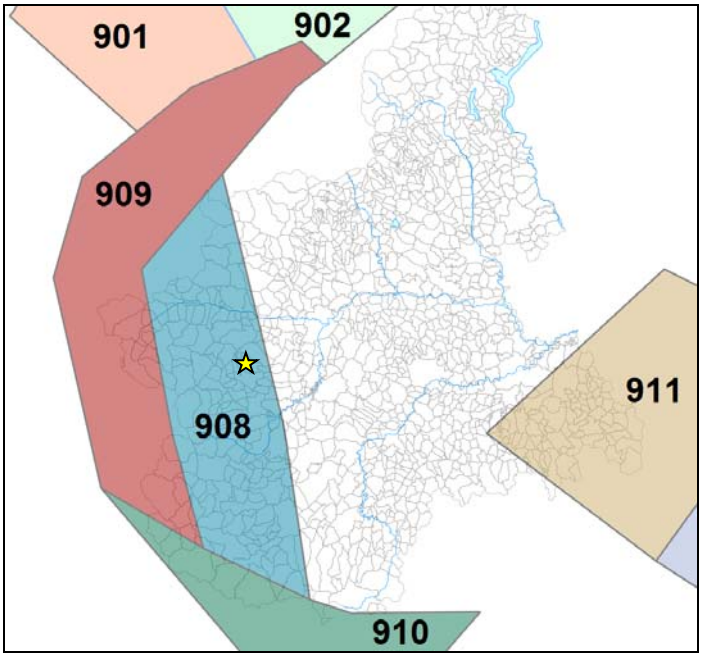
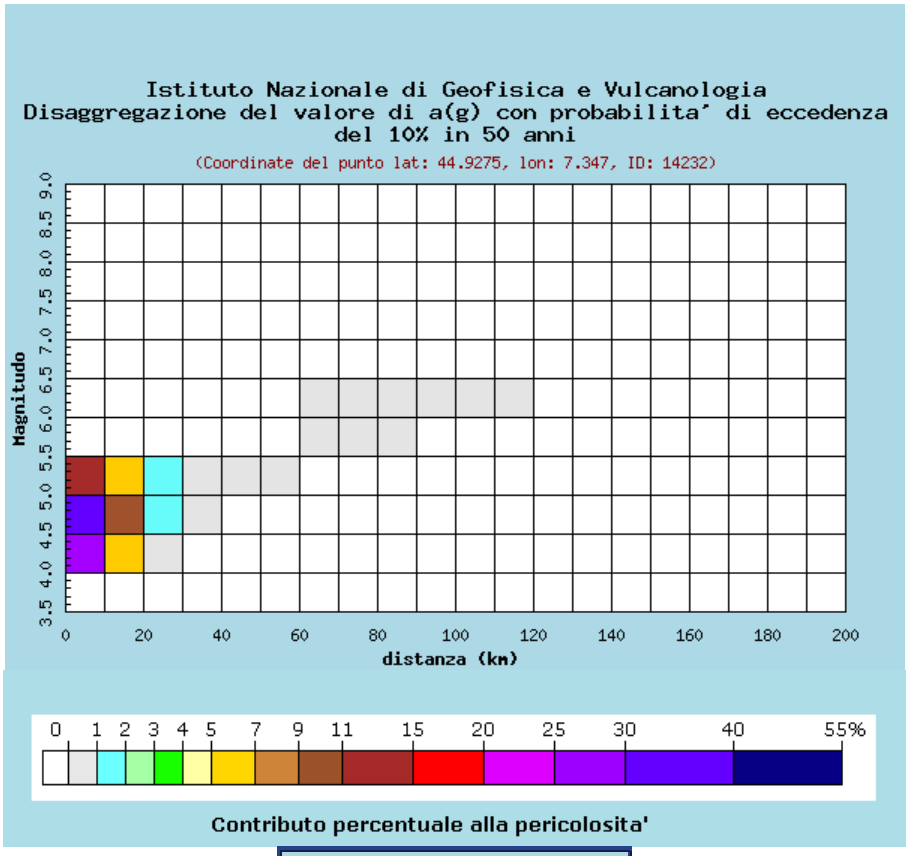


Figura 12 – *Zonazione sismogenetica ZS9 per il Piemonte*



Valori medi		
Magnitudo	**Distanza**	**Epsilon**
4.700	7.700	0.727

Figura 13 – *Grafico di disaggregazione valido per il sito in oggetto*

4 STABILITA' NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE

4.1 Esclusione della verifica a liquefazione

Con riferimento al p.to 7.11.3.4.2 delle NTC18 l'analisi del rischio liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle circostanze ivi previste.

1. *accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;*
2. *profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;*
3. *depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata* $(N_1)_{60} > 30$ *oppure* $q_{c1N} > 180$ *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_{c1N} 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 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc < 3,5 ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc > 3,5.*

Poiché agli SLV il valore di $a_{g\ (max)}$ = 0,236 > 0,1 g, con magnitudo attesa Mw= 6.14 >5, falda con soggiacenza piezometrica <15 m e resistenza penetrometrica normalizzata <30 colpi/piede, in assenza di analisi granulometriche, **non risultano soddisfatte condizioni di esclusione** e pertanto è necessario procedere alla verifica del potenziale di liquefazione del terreno.

Per quanto riguarda la presenza di rischi secondari, quali ad esempio quelli derivanti da frane sismoindotte, in ragione dell'assetto planiziale del sito e della distanza dal piede dei versanti, questi possono essere ragionevolmente esclusi.

4.2 Verifica del potenziale di liquefazione

Per quanto precedentemente illustrato, si procede alla verifica del potenziale di liquefazione del terreno. In assenza di prove di classificazione granulometrica, in via preliminare e cautelativa, si assume il caso più sfavorevole di un terreno sabbioso sottofalda.

In accordo con gli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" (cap. 2.7 – Procedura per la valutazione della possibilità di occorrenza di fenomeni di liquefazione, livello 2), si adotta in questa sede il metodo semplificato (semi-empirico) proposto dalle Linee guida AGI (2005) partendo dai valori misurati/ricavati di $N_{1(60)}$ e di Vs. In accordo a tale metodo, la resistenza del terreno di fondazione alla liquefazione viene valutata in termini di fattori di resistenza:

$$F_S = CRR/CSR_{(M=7.5)}$$

dove:

CRR = (*cyclic resistance ratio*) indica la resistenza del terreno agli sforzi di taglio;

CSR = (*cyclic stress ratio*) la sollecitazione di taglio massima indotta dal sisma.

La verifica risulta soddisfatta quando F_S è maggiore di 1.25.

CSR viene calcolata in funzione della magnitudo del sito e dal rapporto a_g/g tramite le correlazioni di Seed & Idriss (1971, 1982) applicando il coefficiente empirico proposto da Iwasaki *et al.* (1978) o quello di Liao e Whitmann (1986). Il valore viene quindi rapportato al terremoto di riferimento (M=7.5) con il fattore di scala per la magnitudo MSF calcolato con la formula di Idriss e Boulanger (2004).

CRR è funzione dei valori di N_{SPT} e di Vs:

- in funzione del numero di colpi corretto $N_{1,60cs}$ con il metodo di Idriss e Boulanger (2004) (1985), a partire dal valore N_{60};

- in funzione del valore di $V_{S(1)}$ (V_S normalizzato, Sykora 1997) tramite la correlazione di Andrus e Stokoe (1997) nella formulazione più recente (Andrus *et al.*, 2009).

Come valore di magnitudo si assume M=6.14. Come valore di $a_{g(max)}$, si assume il valore per gli SLV, pari a 0.236 g.

I valori di N_{SPT} sono ricavati dalla stratigrafia presa a riferimento dalla Relazione Geotecnica preliminare; i sismostrati e le relative velocità sono ricavati dalla prova MASW. Entrambi i documenti sono forniti dall'Amministrazione Committente.

Applicando i metodi descritti in precedenza, per il valore di $a_{g(max)}$ sopra indicato, nella tabella seguente si riportano i risultati delle verifiche con i dati geotecnici e sismici a disposizione.

VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE

metodo semplificato proposto dalle Linee Guida AGI, 2005

PLESSO SCOLASTICO "SILVIA PIGNATELLI" - CANTALUPA (TO)

VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE (con N_{SPT})

$a_{g\ (max)}$	0,236	MSF = 1,429			
Magnitudo	6,14	(Idriss e Boulanger)	Indice del potenziale di liquefazione I_L =	0	molto basso

strato n.	profondità strato		N_{60}	Idriss e Boulanger	sigma v_0	sigma ' v_0	(Liao e Whitmann)	metodo di Seed e Idriss		Idriss e Boulanger (2004)	Fs	
	letto	media		$N_{1,60\ CS}$			rd	CSR	$CSR_{M=7,5}$	CRR		
1	6,00	3,00	21	21	58,0	58,0	0,977	0,150	0,105	0,219	**2,08**	non liquefacibile
2	9,00	7,50	37	30	150,0	150,0	0,943	0,145	0,101	0,485	**4,79**	non liquefacibile
3	12,00	10,50	41	30	210,0	185,0	0,894	0,156	0,109	0,485	**4,45**	non liquefacibile

VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE (con Vs - modello a sismostrati)

$a_{g\ (max)}$	0,236	MSF = 1,429			
Magnitudo	6,14	(Idriss e Boulanger)	Indice del potenziale di liquefazione I_L =	0	molto basso

strato n.	profondità strato		Vs	(Sykora)	sigma v_0	sigma ' v_0	(Iwasaki)	metodo di Seed e Idriss		(Andrus et al., 2009)	Fs	
	letto	media		Vs_1			rd	CSR	$CSR_{M=7,5}$	CRR		
1	0,90	0,45	259	499	8,0	8,0	0,993	0,152	0,107	0,525	**4,92**	non liquefacibile
2	1,90	1,40	264	371	26,0	26,0	0,979	0,150	0,105	0,272	**2,58**	non liquefacibile
3	3,30	2,60	307	366	50,0	50,0	0,961	0,147	0,103	0,264	**2,55**	non liquefacibile
4	5,00	4,15	431	454	82,0	82,0	0,938	0,144	0,101	0,430	**4,27**	non liquefacibile
5	7,10	6,05	458	439	120,0	120,0	0,909	0,139	0,098	0,399	**4,08**	non liquefacibile
6	9,70	8,40	419	371	168,0	164,0	0,874	0,137	0,096	0,273	**2,84**	non liquefacibile
7	13,00	11,35	439	374	226,0	193,0	0,830	0,149	0,104	0,277	**2,65**	non liquefacibile
8	17,10	15,05	466	380	300,0	230,0	0,774	0,155	0,108	0,287	**2,65**	non liquefacibile
9	22,30	19,70	405	315	392,0	276,0	0,705	0,153	0,107	0,178	**1,65**	non liquefacibile
10	30,00	26,15	464	343	522,0	341,0	0,608	0,143	0,100	0,223	**2,23**	non liquefacibile

In funzione dei valori del fattore di sicurezza Fs, come suggerito dagli ICMS, è possibile calcolare l'indice del potenziale di liquefazione P_L per il sito in esame (Iwasaki, 1978). Si ricava dunque:

P_L = 0 (rischio di liquefazione molto basso).

In conclusione, si può affermare che il terreno di fondazione dell'opera in esame **non è potenzialmente liquefacibile**.

CONCLUSIONI

La presente relazione Geotecnica, comprendente la relazione Sismica, è redatta su incarico del Comune di Cantalupa (TO) per il progetto degli interventi di adeguamento sismico del plesso scolastico "Silvia Pignatelli" sito in Cantalupa, Via del Monastero n. 7-9. Come richiesto dall'Amministrazione appaltante, è necessario procedere alla "*Valutazione delle relazioni geologiche/tecniche e sismiche già disponibili e predisporre eventuali integrazioni*".

È stata pertanto analizzata la documentazione messa a disposizione dall'Amministrazione comunale ed è stata condotta un'analisi critica dei contenuti e delle fonti.

In conclusione, si è ritenuto di dover integrare i contenuti della Relazione Geotecnica e sismica, con informazioni e valutazioni utili per la progettazione definitiva ed esecutiva degli interventi.

I modelli geologico e geotecnico del sedime di fondazione sono basati sui risultati di una indagine geognostica costituita da n. 1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo con prove penetrometriche tipo SPT, eseguita nel 1988 a distanza di circa 700 m dal sito in esame in materiali appartenenti alla medesima formazione geologica, e da una prova sismica tipo MASW realizzata nel 2018 in corrispondenza dell'edificio scolastico in oggetto e messa a disposizione dall'Amministrazione Committente. I certificati di prova sono da considerarsi a tutti gli effetti parte integrante di questa relazione.

La caratterizzazione qui fornita andrà pertanto utilizzata con cautela: qualora in sede di progettazione esecutiva emergessero criticità rispetto ai parametri qui forniti e/o e in fase realizzativa la verifica delle effettive condizioni litostratigrafiche e idrogeologiche evidenziasse situazioni difformi da quanto precedentemente considerato, sarà necessario rivedere le conclusioni della presente relazione e procedere ad un approfondimento di indagine in loco.

A tal proposito, si raccomanda di attenersi ai disposti della vigente normativa in materia di gestione di eventuali scavi e dei relativi materiali, che esula dalle finalità della presente relazione.

PRINCIPALI RIFERIMENTI NORMATIVI E BIBLIOGRAFICI

- *D.M. 11.03.88 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione".*
- *Circ. Min. LL.PP. n° 97/81-30483, 24.09.88, (Presidenza Consiglio Superiore, Servizio Tecnico Centrale) Istruzioni relative alle "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e scarpate …", di cui al D.M. 11.03.88.*
- *D.M. 17.01.2018 Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" (S.O. n. 8 alla G.U. n. 42 del 20/02/2018).*
- *Circolare 21 gennaio 2019 n. 7 C.S.LL.PP. "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018" (S.O. n. 5 alla G.U. n. 35 del 11/02/2019).*
- *O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", (G.U. del 08/05/2003, n. 105) e s.m.i..*
- *O.P.C.M. n. 3431 del 03/05/05 "Norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici".*
- *O.P.C.M. n. 3519 del 28/04/2006 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone", (G.U. del 11/05/06, n. 108).*
- *D.G.R. REGIONE PIEMONTE 19 gennaio 2010, n. 11-13058 "Aggiornamento e adeguamento dell'elenco delle zone sismiche (O.P.C.M. n. 3274/2003 e O.P.C.M. 3519/2006)", (B. U. n. 7 del 18/02/10).*
- *D.G.R. REGIONE PIEMONTE 12 dicembre 2011, n. 4-3084 "D.G.R. n. 11-13058 del 19/01/2010. Approvazione delle procedure di controllo e gestione delle attività urbanistico-edilizie ai fini della prevenzione del rischio sismico attuative della nuova classificazione sismica del territorio piemontese", (B. U. n. 50 del 15/12/11).*
- *D.G.R. REGIONE PIEMONTE 3 febbraio 2012, n. 7-3340 "Modifiche e integrazioni alle procedure di controllo e gestione delle attività urbanistico-edilizie ai fini della prevenzione del rischio sismico approvate con D.G.R. n. 4-3084 del 12/12/2011".*
- *D.G.R. REGIONE PIEMONTE 21 maggio 2014, n. 65-7656 "Individuazione dell'ufficio tecnico regionale ai sensi del D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380 e ulteriori modifiche e integrazioni alle procedure attuative di gestione e controllo delle attività urbanistico-edilizie ai fini della prevenzione del rischio sismico approvate con D.G.R. 12 dicembre 2011, n. 4-3084."*
- *Gruppo di Lavoro MPS (2004). Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici.*
- *Gruppo di lavoro MS (2008). "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica". Conferenza delle Regioni e delle Province autonome - Dipartimento della protezione civile, Roma, 3 vol. e Dvd.*
- *Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016. CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15*
- *Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15*
- *Basili R., G. Valensise, P. Vannoli, P. Burrato, U. Fracassi, S. Mariano, M.M. Tiberti, E. Boschi (2008), The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology, Tectonophysics*
- *DISS Working Group (2018). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding*

areas. http://diss.rm.ingv.it/diss/, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; DOI:10.6092/INGV.IT-DISS3.2.1.

- *Gruppo di lavoro MS (2008). "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica". Conferenza delle Regioni e delle Province autonome - Dipartimento della protezione civile, Roma, 3 vol. e Dvd.*
- *Albarello D. (2014) "Una procedura per la valutazione della magnitudo di riferimento per lo studio della liquefazione", GNGTS 2014, Sessione 2.2*
- *Legge Regionale REGIONE PIEMONTE 5 dicembre 1977, n. 56. "Tutela ed uso del suolo" (B.U. 24 dicembre 1977, n. 53) e s.m.i..*
- *AGI (1977) "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche".*
- *Jamiolkowski, Lancellotta, Battaglio, Pasqualini (1977) "Geotecnica e fondazioni", CELID Torino.*
- *Lancellotta R. (1993) "Geotecnica", II Edizione, Zanichelli - Bologna.*
- *Cestari F. (1996) "Prove geotecniche in sito", Editrice GEO-GRAPH s.n.c. – Segrate.*
- *Tanzini M. (2002) "L'indagine geotecnica", Dario Flaccovio Editore.*
- *Nori L. (2009) "Caratterizzazione geotecnica e parametri di progetto secondo l'EC7 e il D.M. 14/01/08" 8a revisione – dispensa inedita a cura O.R.G.P..*
- *Bruschi A. (2010) "Prove geotecniche in situ", Dario Flaccovio Editore.*
- *Aiello E. (2010) "Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2008): Teoria ed applicazioni nella progettazione geologica e geotecnica" - dispensa inedita a cura O.R.G.P..*
- *Dal Moro G. (2012) "Onde di superficie in geofisica applicata. Acquisizione e analisi di dati secondo tecniche MASW e HVSR", Dario Flaccovio Editore.*
- *Roccaforte F., Cucinotta C. (2015) "Stima dei parametri geotecnici in geofisica applicata", Dario Flaccovio Editore.*

Oltre alla Relazione Geologica predisposta dallo scrivente nell'ambito del presente progetto, si intendono a tutti gli effetti allegati al presente fascicolo il report delle indagini geofisiche, geognostiche e geotecniche comprendenti i certificati di prova:

- *Comune di Cantalupa: "Progetto di adeguamento sismico scuola pubblica", relazione geotecnica ai sensi del DM 17/01/2018, a cura dello Studio dott. Geol. Pautasso Massimiliano, maggio 2018*
- *Comune di Cantalupa: "Indagine su terreno di fondazione Scuola Silvia Pignatelli via Monastero n. 7-9 – Cantalupa (TO)", report delle indagini a cura 4 EMME Service S.p.A., maggio 2018*