

**COMUNE DI PAVAROLO**

**Regione Piemonte - Città Metropolitana di Torino**

**Progetto preliminare - definitivo - esecutivo  
per intervento di adeguamento alle norme di sicurezza  
dell'edificio in via Maestra n. 36 - sede scolastica -  
con realizzazione di scala di sicurezza ed ascensore**

**Relazione Geologica – Geotecnica e Sismica  
ai sensi D.M. 11.03.1998 - D.M. 14.01.2008**

**Il Responsabile del Servizio**

**Il Tecnico incaricato**

**Allegato 5**



marcofrascastudioambientale

Via Gabriele Rossetti 7  
10154 - Torino  
+39 320 2218213  
marcofrasca@hotmail.it  
marco.frasca@pec.geologiapiemonte.it  
www.marcofrascastudioambientale.it

## STUDIO GEOLOGICO-TECNICO E AMBIENTALE

**Dott. Geol. Marco FRASCA**

*Ordine dei geologi del Piemonte sez.A n.768*

*P.IVA n.10567470017*

<b>Regione</b>	PIEMONTE		
<b>Città Metropolitana</b>	TORINO	<b>Comune</b>	PAVAROLO
<b>Indirizzo</b>	Via Maestra, 36		
<b>Oggetto</b>	<p>“Progetto per intervento di adeguamento alle norme di sicurezza dell'edificio di Via Maestra 36 - sede scolastica - con la realizzazione di scala di sicurezza ed ascensore”</p> <p><b>Relazione geologica, geotecnica sulle indagini e sismica</b></p>		
<b>Dati catastali</b>	<b>Riferimenti normativi nazionali</b>		<b>Riferimenti normativi regionali</b>
	- D.M. LL.PP. 11/03/1988 - D.M. 14/01/08 e s.m.i.		- L.R. n.45 del 09/08/89 - D.G.R. n.11-13058 del 19/01/10
<b>Committente</b>	<b>Denominazione</b>	Comune di Pavarolo	
	Indirizzo	Via Barbacana, 2 – Pavarolo (TO)	
	<b>Progettista</b>		
	Indirizzo		
<b>Il Tecnico abilitato</b>	Dott. Geol. Marco FRASCA		
<b>Codice documento</b>	171006		

Rev.	Copie	Data	Redazione	Verifica	Approvazione	Descrizione
0	n.3	15/02/17	Geol. Marco FRASCA	-	-	-

## Indice generale

1. PREMESSA.....	3
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	4
3. DESCRIZIONE DEL PROGETTO.....	4
4. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	5
5. SINTESI DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA DEL P.R.G.C.....	7
6. INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	8
6.1 Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000.....	10
6.2 Carta Geologico-strutturale da P.R.G.C.....	11
7. Caratteri geostrutturali generali.....	12
8. Classificazione sismica.....	13
9. INDAGINI DI DETTAGLIO.....	13
9.1 Ubicazione delle indagini.....	13
9.2 Situazione litostratigrafica locale.....	14
10. LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI DELLA ZONA.....	15
10.1 Inquadramento geomorfologico.....	15
10.2 Pericolosità geomorfologica.....	16
11. SCHEMA DELLA CIRCOLAZIONE IDRICA SUPERFICIALE E SOTTERRANEA.....	17
11.1 Circolazione idrica superficiale.....	17
11.2 Circolazione idrica sotterranea.....	17
11.3 Quota della soggiacenza.....	17
11.4 Direzione di scorrimento della falda superficiale.....	18
11.5 Permeabilità.....	18
12. MODELLO GEOTECNICO.....	19
12.1 Prova penetrometrica dinamica DPSH.....	19
12.2 Considerazioni circa le prove geognostiche eseguite.....	19
12.3 Stratigrafia e stima dei parametri geotecnici caratteristici.....	20
13. INDAGINE SISMICA.....	21
13.1 Categoria di sottosuolo.....	21
13.2 Categoria topografica.....	22
13.3 Valutazione dell'azione sismica.....	23
13.4 Potenziale di liquefazione.....	24
14. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	24
ALLEGATI.....	26
- Documentazione fotografica.....	26
- Certificato prova penetrometrica DPB.....	26
- Rapporto di indagine sismica.....	26

## 1. PREMESSA

La presente relazione geologica, geotecnica sulle indagini e sismica è mirata all'accertamento delle caratteristiche geologiche, idrogeologiche e geotecniche del sito su cui insiste il progetto per la realizzazione di un vano ascensore e di una scala d'emergenza esternamente alla Scuola Elementare Comunale esistente nel Comune di Pavarolo (TO) in Via Maestra n.36, ai fini della verifica della compatibilità dello stesso dal punto di vista geologico e geotecnico del volume di terreno del lotto interessato.

Il presente studio fa seguito ad un sopralluogo, ad un'indagine geologica di superficie e ad una campagna di indagine geognostica condotta in situ in data 10/02/17, su incarico affidato allo Scrivente dal Committente, l'Amministrazione comunale di Pavarolo con sede nel Comune di Pavarolo (TO) in Via Barbacana n.2.

Lo studio e le indagini, estese ad un intorno significativo dell'area interessata dagli interventi, sono state eseguite ai sensi delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) D.M. 14/01/2008 e sua circolare esplicativa 2 febbraio 2009 n. 617, e sono finalizzate alla definizione delle caratteristiche geologiche e geomorfologiche del sito, e delle caratteristiche geotecniche dei materiali ricadenti nel volume significativo interessato dalle opere. In particolare, è stata rivolta attenzione ai possibili scenari di rischio geologico verificando le condizioni generali di stabilità del versante, l'eventuale presenza di elementi e indicatori di processi dissestivi potenziali e/o in atto, e al fine di fornire indicazioni utili alla progettazione dell'intervento, sono state verificate la situazione geomorfologica, litologica ed idrogeologica locali.

Il presente lavoro definisce il solo modello geologico-geotecnico fornendo al Progettista tutti i dati per le verifiche strutturali legate agli stati limite ed ai cedimenti di progetto a cui è sottoposto lo strato di fondazione. Il modello geotecnico tiene conto delle suddivisioni statisticamente omogenee dal punto di vista delle caratteristiche geomeccaniche, verticali e orizzontali (in presenza di eteropie).

Si rammenta che in corso d'opera si dovrà tassativamente controllare la coerenza tra la caratterizzazione geotecnica e geologica assunta in progetto e la situazione effettivamente riscontrata in sito, differendo di conseguenza il progetto.

Trovandosi il sito in Zona sismica 4 (ai sensi della D.G.R. n.11-13058 del 19/01/10), lo studio è utilizzabile per la progettazione e verifica con i “metodi di progetto-verifica semplificati” ovvero sia che il Progettista scelga di avvalersi del punto 2.7 delle NTC “VERIFICHE ALLE TENSIONI AMMISSIBILI” Metodo 1 della circolare esplicativa; sia che si avvalga del punto 7 delle NTC, ovvero del Metodo 2 della circolare citata: “Per tutti i tipi di costruzione e le classi d'uso, le verifiche di sicurezza nei confronti dello SLV possono essere condotte per una forza di progetto calcolata assumendo uno spettro di progetto costante e pari a 0,07g”.

Ai sensi del D.M. 16 gennaio 1996 nel caso si progettasse utilizzando questo D.M. vale:

*Coefficiente di fondazione  $\varepsilon$ .*

*Si assume di regola  $\varepsilon = 1$ . In presenza di stratigrafie caratterizzate da depositi alluvionali di spessore variabile da 5 a 20 metri, soprastanti terreni coesivi o litoidi con caratteristiche meccaniche significativamente superiori, si assumerà per il coefficiente  $\varepsilon$  il valore 1,3”.*

L'area oggetto di studio non ricade all'interno delle aree sottoposte a vincolo per scopi idrogeologici ai sensi del R.D.3267 del 30/12/23 e della L.R.45 del 09/08/89.

La presente indagine di dettaglio è stata condotta esclusivamente per verificare dal punto di vista geologico la compatibilità del progetto per la realizzazione di un vano ascensore e di una scala d'emergenza esternamente alla Scuola Elementare Comunale.

Si precisa che gli stralci cartografici presenti nell'elaborato sono stati inseriti per comodità di lettura e raffronto con gli aspetti descrittivi contenuti nel testo, per ulteriori approfondimenti si rimanda pertanto agli elaborati originali.

Nella sezione “Allegati” in calce al presente elaborato viene presentato il certificato della prova penetrometrica *DPB* eseguita in sito.

## 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Il quadro normativo vigente di riferimento per la redazione del presente elaborato è costituito da:

- “Vicolo idrogeologico” ai sensi del R.D.3267 del 30/12/23 e della L.R.45 del 09/08/89;
- D.M. LL.PP. 11/03/1988 “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”;
- D.P.C.M. 24/05/2001 “Approvazione del Piano Stralcio per la difesa del suolo dal rischio idraulico e idrogeologico (Legge 183/89, art. 17 comma 6-ter) adottato dall'Autorità di Bacino del Fiume Po con Deliberazione del Comitato Istituzionale 26/04/2001 n.18”;
- Circolare del Presidente della Giunta regionale 3 aprile 2012, n.4/AMD Legge regionale 9 agosto 1989, n.45 (Nuove norme per gli interventi da eseguire in terreni sottoposti a vincolo per scopi idrogeologici). Note interpretative e indicazioni procedurali;
- D.M. 14/01/2008 “Norme tecniche per le costruzioni” e Circ. esplicativa del 02/02/2009 n. 617;
- D.G.R. 19/01/2010 n.11-13058 “Aggiornamento e adeguamento dell'elenco delle zone sismiche (O.P.C.M. n.3274/2003 e O.P.C.M. n.3519/2006);
- D.G.R. 12/12/2011 n.4-3084 “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”;
- N.T.A. ed elaborati geologici redatti a supporto del Piano Regolatore Generale vigente del Comune di Pavarolo (TO).

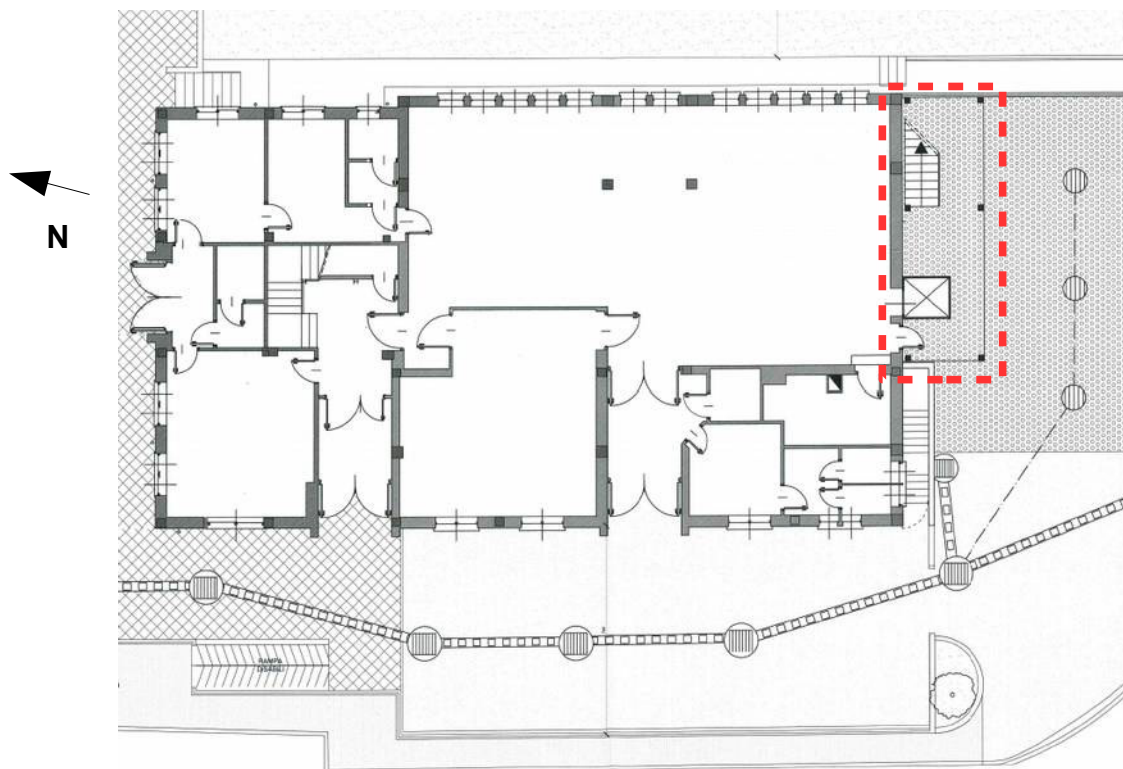
## 3. DESCRIZIONE DEL PROGETTO

dal Progettista,, si evince la natura dell'intervento in progetto (Immagine 3).

Dalla presa visione della documentazione progettuale fornita dal responsabile dell'Ufficio tecnico comunale, l'arch. Guido MARGARINI con sede nel Comune di Torino (TO) in Via Messina n.41, a cui si rimanda per la consultazione diretta, l'intervento in progetto prevede la realizzazione ex-novo di un vano ascensore con struttura in vetro e acciaio e di una scala in struttura metallica esterni al fabbricato scolastico in adiacenza alla facciata Sud del fabbricato stesso (Immagini 1 e 2). L'intervento in progetto non prevede la realizzazione di locali interrati e/o seminterrati.



Immagine 1: prospetto Nord di progetto.



*Immagine 2: planimetria di progetto.*

## 4. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il lotto di terreno interessato dall'intervento in progetto è localizzato nell'abitato di Pavarolo (TO), a Nord del concentrico, in Via Maestra n.36, ad una quota altimetrica di circa 370 m s.l.m.

Il sito risulta interamente compreso nella:

- sez.156113 della Carta Tecnica Regionale del Piemonte alla scala 1:10.000;
- sez.156113 della Carta Tecnica Provinciale di Torino alla scala 1:5.000.

Nelle immagini 3 e 4, viene presentata la cartografia di riferimento utilizzata per l'elaborazione del presente elaborato, in cui l'area di studio è evidenziata approssimativamente da un ellisse di colore rosso.

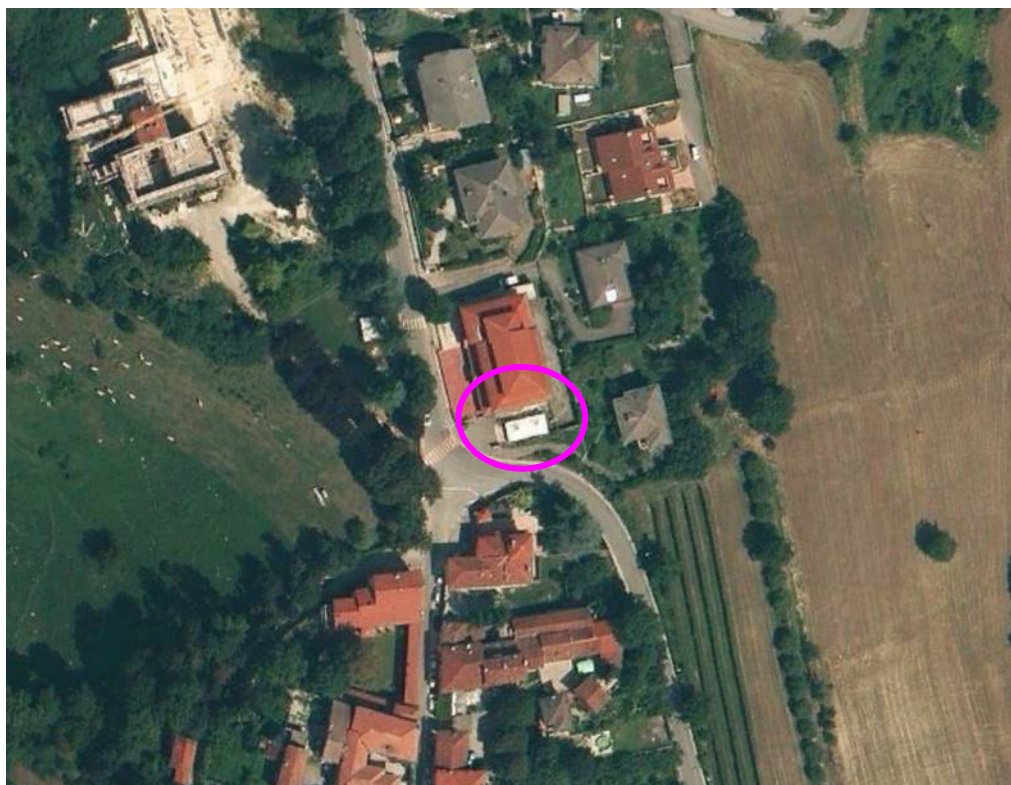


Immagine 3: stralcio della C.T.R. del Piemonte, sez.156113, con ubicazione approssimativa dell'area di progetto (scala originale 1:10.000; mod.).



Immagine 4: stralcio della C.T.P. di Torino, sez.156113, con ubicazione approssimativa dell'area di progetto (scala originale 1:5.000; mod.).

Infine, di seguito viene presentata una ripresa fotografica satellitare del sito di progetto in cui è evidenziato e ben visibile il fabbricato esistente oggetto di intervento (Immagine 5).



---

Immagine 5: ripresa fotografica satellitare con ubicazione dell'area di progetto (Bing Maps).

## 5. SINTESI DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA DEL P.R.G.C.

Nel presente paragrafo viene presentato uno stralcio della “Carta di sintesi della pericolosità geomorfologica e dell'idoneità all'utilizzazione urbanistica” (Tav.6) redatta a supporto del P.R.G.C. vigente (Immagine 6), in cui si osserva che l'area di progetto ricade interamente entro la **Classe IIa1** di pericolosità geomorfologica. Nello stralcio cartografico riportato di seguito i settori territoriali che ricadono in questa classe di idoneità sono stati evidenziati rispettivamente con il tratteggio verde.

In generale, nella Classe II (moderata pericolosità geomorfologica) ricadono le “porzioni di territorio, suddivise nelle classi IIa) e IIb), nelle quali gli elementi di pericolosità geomorfologica possono essere superate attraverso l'adozione ed il rispetto di modesti accorgimenti tecnici esplicitati a livello di norme di attuazione ispirate al D.M.14/01/2008 realizzabili a livello di progetto esecutivo esclusivamente nell'ambito del singolo lotto edificatorio o dell'intorno significativo circostante”.

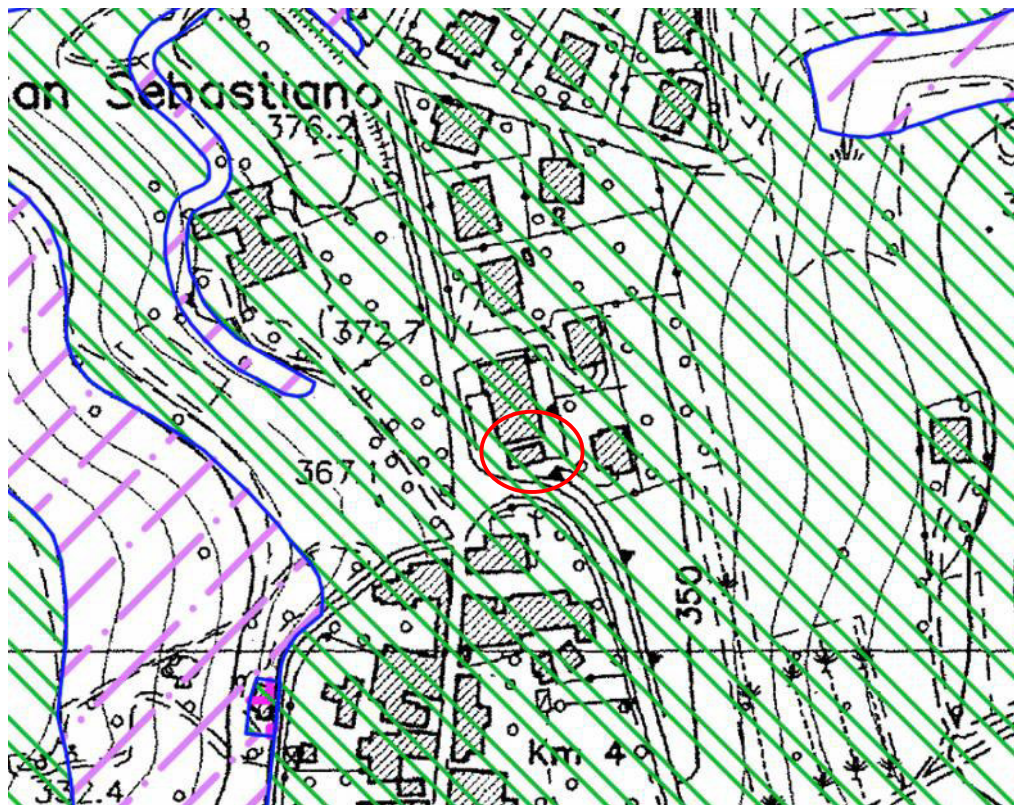
In particolare nella **Classe IIa1** di pericolosità geomorfologica ricadono le “aree a morfologia collinare, le aree con forme di pendio irregolari, aree caratterizzate da fenomeni di bassa intensità, aree interessate da fenomeni di dilavamento”.

Per tale classe sono vigenti le seguenti prescrizioni (fonte: Relaz. Geologico-tecnica redatta a supporto del P.R.G. vigente, febbraio 2017):



- progetto di regimazione acque meteoriche ricadenti all'interno del lotto nel rispetto del reticolato idrografico minore esistente;
- rispetto del D.M. 14/01/2008 e D.M. 11/03/88. In particolare su ogni lotto edificatorio dovranno essere svolte puntuali indagini geognostiche finalizzate alla caratterizzazione geomeccanica del terreno di fondazione;

- sufficiente distanza di sicurezza dai cigli delle scarpate e verifica di stabilità del pendio nel caso l'intervento incida su quest'ultimo o siano previste opere che comportino movimenti terra.

In queste pagine, attraverso una relazione geologica e geotecnica sulle indagini si individua la pericolosità residua dell'area, così come prescritto dal P.R.G.C. e dalla normativa vigente in materia.



#### LEGENDA

-  CLASSE IIa1  
Aree a morfologia collinare, aree con forme di pendio irregolari, aree caratterizzate da fenomeni di bassa intensità, aree interessate da fenomeni di dilavamento.
-  CLASSE IIIa  
Porzioni di territorio inedificate inidonee a nuovi insediamenti. Per le opere infrastrutturali di interesse pubblico non altrimenti localizzabili, vale quanto indicato all'art. 31 della L.R. 56/77.

*Immagine 6: stralcio della Carta di sintesi della pericolosità geomorfologica e dell'idoneità all'utilizzazione urbanistica (Tav.6) del P.R.G.C. vigente, con localizzazione approssimativa dell'area di progetto (scala originale 1:5.000, mod.).*

## 6. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

A scala regionale, il territorio comunale di Pavarolo si colloca nel settore meridionale del “Bacino della Collina di Torino”, il quale rappresenta un dominio strutturale indipendente impostato su unità metamorfiche alpine sepolte alla profondità di 2-3 km (raccordo Alpi-Appennino). La successione stratigrafica è continua con sedimenti marini e terrigeni di età comprese tra l'Eocene medio e il Pliocene. La Collina di Torino è ripiegata in forma di anticlinale secondo un asse con direzione Nord-Est/Sud-Ovest.

Ad Est di questo dominio è presente il dominio del Bacino del Monferrato, molto più complesso, in cui si riconoscono almeno tre fasi deformative contrassegnate da altrettante superfici di discontinuità. Il substrato di questo dominio è costituito da Unità flyschoidi correlabili con le Unità Liguri Esterne molto diffuse nella catena appenninica.

Il bacino del Monferrato è separato dalla Collina di Torino per mezzo di una fascia di deformazione transpressiva ad orientazione NNW-SSE (zona di deformazione del Rio Freddo).

A Sud è presente l'Altopiano di Poirino costituito da un'ampia area subpianeggiante avente un'estensione di circa 400 km<sup>2</sup>, attualmente interpretata come un'area di deposizione fluviale di età pleistocenica.

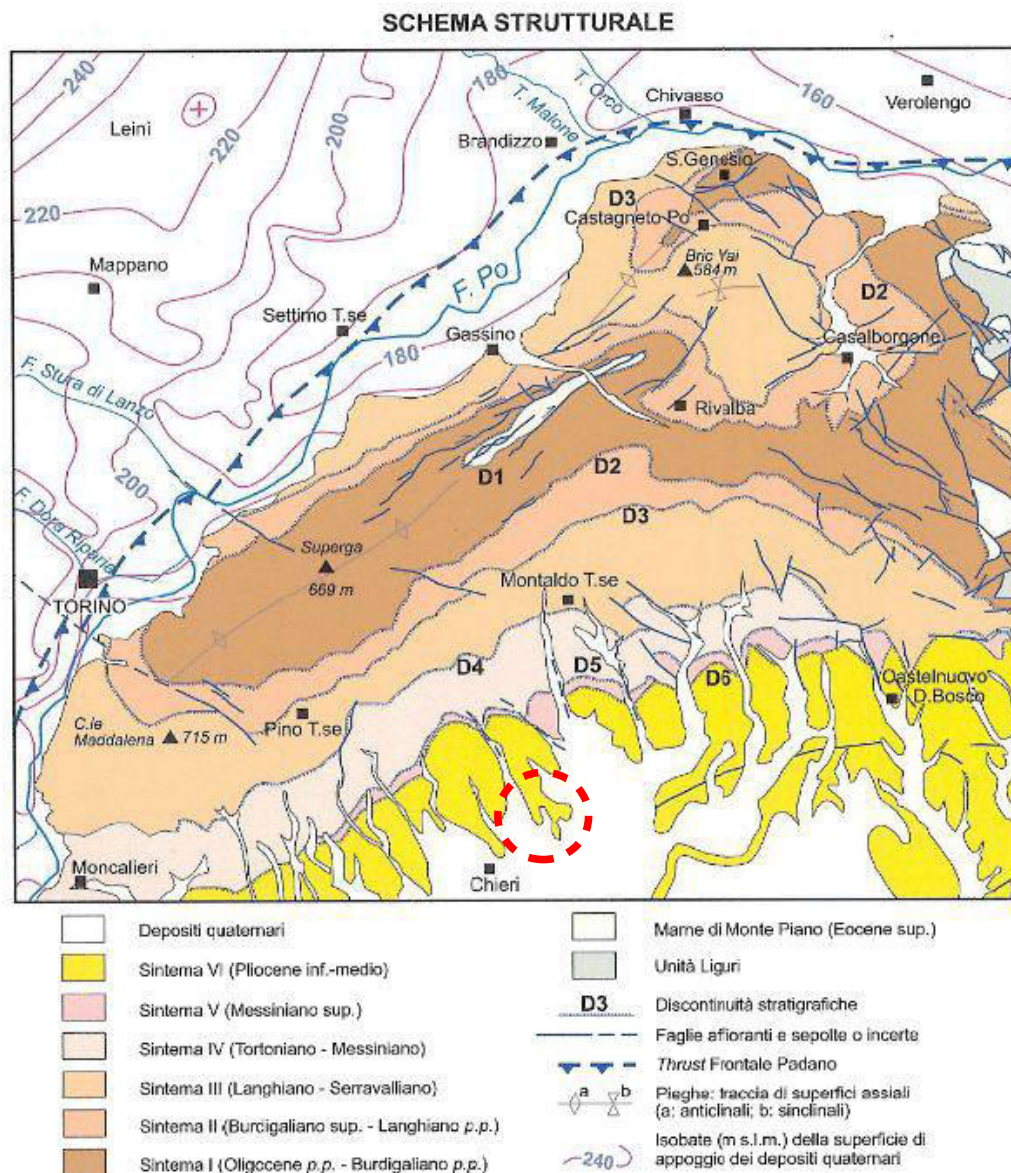


Immagine 7: schema strutturale della Collina di Torino (fonte: Foglio 156 "Torino Est" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000).

L'origine dell'Altopiano di Poirino è da ricollegarsi all'esistenza di un reticolato idrografico i cui collettori principali drenavano da Ovest verso Est (PaleoPo) e smaltivano il deflusso del bacino meridionale piemontese verso la pianura alessandrina.

In epoche più recenti (Pleistocene superiore - Olocene) s'impostava sul margine orientale dell'Altopiano di Poirino una flessura con andamento Nord-Sud (alla luce degli ultimi lavori interpretata come faglia trascorrente), in conseguenza della quale si verificava un blando innalzamento del margine orientale dello stesso, con una variazione della direzione del drenaggio principale da Est verso Ovest e la conseguente impostazione Nord-Sud del suo reticolato affluente.

I corsi d'acqua che si sviluppano all'interno del territorio comunale di Pavarolo, eccetto quelli a confine con Castiglione Torinese e Gassino T.se, appartengono allo stesso bacino del T. Banna che scorre a Sud di Chieri; tutti appartengono comunque al Bacino del F. Po.

Di seguito viene presentato un inquadramento geologico locale facendo riferimento ai dati ed alle informazioni bibliografiche riportate dalla Cartografia Geologica Italiana ufficiale (C.G.I.) recentemente redatta alla scala 1:50.000 (ISPRA - Progetto CARG) ed alla Carta geologico-strutturale (Tav.1) alla scala 1:10.000 redatta a supporto del P.R.G.C. vigente.

## 6.1 Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000

La carta geologica inclusa in questo paragrafo rappresenta uno stralcio ingrandito, a scala libera, del Foglio 156 "Torino Est" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 (Immagine 8); l'area di studio è segnalata approssimativamente da un ellisse.



Immagine 8: stralcio della "Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000" Foglio 156 "Torino Est" (scala orig. mod.).

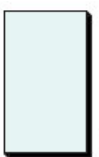
In superficie, su un intorno di un migliaio di metri dal sito la cartografia geologica ufficiale alla scala 1:50.000, partendo dalle unità più superficiali, distingue:



accumulo di frana (a1)



deposito fluviale siltoso (b)



CSN<sub>2</sub>

### Subsistema di Crescentino

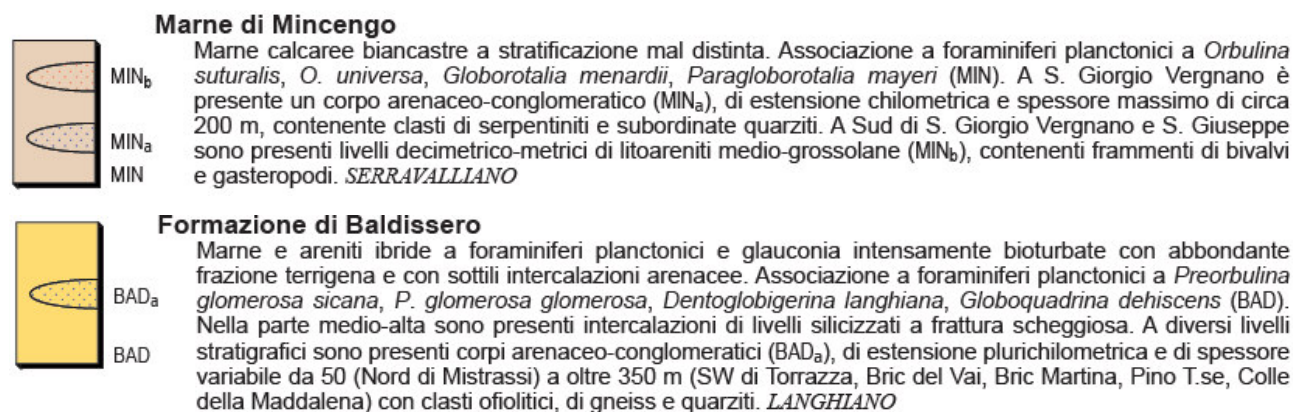
Ghiaie e ghiaie-sabbiose debolmente alterate (7,5-10YR) con locali intercalazioni sabbiose a laminazione piano-parallela e incrociata, coperti in modo generalizzato da una coltre di spessore decimetrico o metrico di sabbie e sabbie siltose a stratificazione incrociata debolmente o poco alterate (2,5Y - 10YR). Localmente le ghiaie contengono tronchi fluitati e lenti ricche in sostanza organica. Costituiscono ampie superfici terrazzate sospese di alcuni metri sui fondovalle attuali. Nell'area collinare silt e silt sabbiosi privi di stratificazione e debolmente alterati (7,5-10YR) (depositi fluviali) (CSN<sub>2b</sub>). *PLEISTOCENE SUP. - OLOCENE*



PLT

### SINTEMA DI ZANCO

Silt argillosi privi di stratificazione, sensibilmente alterati di colore bruno-rossastro (5YR4/4), costituenti il riempimento di ampi relitti di meandro; alla base localmente affiorano corpi lenticolari ghiaiosi formati da ciottoli di serpentiniti, peridotiti, gabbri, scisti verdi, scisti blu e quarziti (depositi fluviali) (PLT<sub>b</sub>). Spessore conservato di 3-10 m. *PLEISTOCENE MEDIO*



Secondo quanto riportato nella cartografia geologica alla scala 1:50.000 di recente pubblicazione (2009), l'area di progetto ricade sui depositi del **Sintema di Zanco (PLT)**, ascrivibili al Pleistocene medio, che ricoprono in superficie il substrato litoide rappresentato dalla **Formazione di Baldissero (BAD)** di età riferibile al Langhiano (Miocene inf.); si osserva inoltre come la giacitura degli strati del substrato litoide (BAD) sia generalmente immergente verso Sud-Est con un'inclinazione di 15-20°, a traverso rispetto al pendio oggetto d'indagine.

I sedimenti riferibili al **Sintema di Zanco** sono conservati discontinuamente nel settore meridionale del Foglio, in corrispondenza al versante meridionale della Collina di Torino. Corrispondono prevalentemente a silt privi di stratificazione caratterizzati da un modesto addensamento; il loro spessore conservato è in genere di alcuni metri. Questi sedimenti sono conservati sulla sommità delle dorsali spartiacque, sospese fino ad un centinaio di metri rispetto agli attuali fondovalle: costituiscono il riempimento di depressioni ad andamento curvo in pianta, con raggio di curvatura chilometrico e profondità di alcuni metri, corrispondenti ad ampi relitti di meandro. Sono sviluppati sui diversi termini della successione marina terziaria, dai quali sono separati tramite evidenti superfici di erosione con andamento concavo, che delineano un insieme di depressioni in contropendenza rispetto all'andamento dei versanti; appaiono a volte coperti dal loess e dalle sabbie eoliche. Questi sedimenti, associati a fasce meandriche con andamento E-W, hanno uno sviluppo altimetrico progressivamente a quota inferiore da Nord verso Sud: la loro distribuzione suggerisce il legame con un importante corso d'acqua drenante verso Est, corrispondente ad un antico andamento del F. Po, interessato da una progressiva migrazione verso Sud in relazione alla deformazione differenziale dell'area collinare. La conservazione di questi sedimenti è fortemente controllata dal grado di rimodellamento dei versanti, risultando conservati in modo relativamente continuo sui versanti modellati nei sedimenti siltoso-argillosi, dove non vi è una sensibile erosione lineare e i fenomeni di ruscellamento diffuso sono minori, ed invece diffusamente asportato sui versanti modellati nei termini sabbiosi, facilmente erodibili. Sono interessati da un sensibile arricchimento nella frazione argillosa e una notevole ossidazione dei composti di ferro responsabile del colore prevalentemente bruno-rossastro (5YR 5/4), indicativi di un sensibile grado di alterazione: queste caratteristiche, associate alla posizione stratigrafica, suggeriscono per questi sedimenti un riferimento al Pleistocene medio (fonte N.I. del Foglio 156 "Torino Est" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000).

Dal punto di vista litotecnico, la formazione di Baldissero è caratterizzata da diaclasi e leptoclasie ravvicinate, sviluppate negli strati più competenti e disposte ortogonalmente ai giunti di stratificazione. Generalmente tali terreni tendono a separarsi in blocchi o in elementi prismatici. La presenza di livelli marnosi può causare l'insorgere di elevate pressioni idriche determinando condizioni destabilizzanti anche per rigonfiamento.

## 6.2 Carta Geologico-strutturale da P.R.G.C.

Dall'analisi della "Carta geologico-strutturale" (Tav.1) redatta a supporto del P.R.G.C. vigente (Immagine 9), si osserva che il sito di studio ricade sulla **Formazione di Baldissero** (Miocene inf.) cioè su un substrato litoide costituito da marne e areniti con sottili intercalazioni arenacee. La giacitura è di tipo monoclinale con strati di modesta inclinazione, uguale o inferiore a quella dei versanti. L'ammasso roccioso è interessato da discontinuità singenetiche (giunti di stratificazione piani che determinano strati sottili) e generalmente da due sistemi di discontinuità epigenetiche principali (da persistenti a subpersistenti).

Si osserva infine come la giacitura degli strati immerga verso Sud-Est con un'inclinazione di 15°, a

traverpoggio rispetto al pendio.

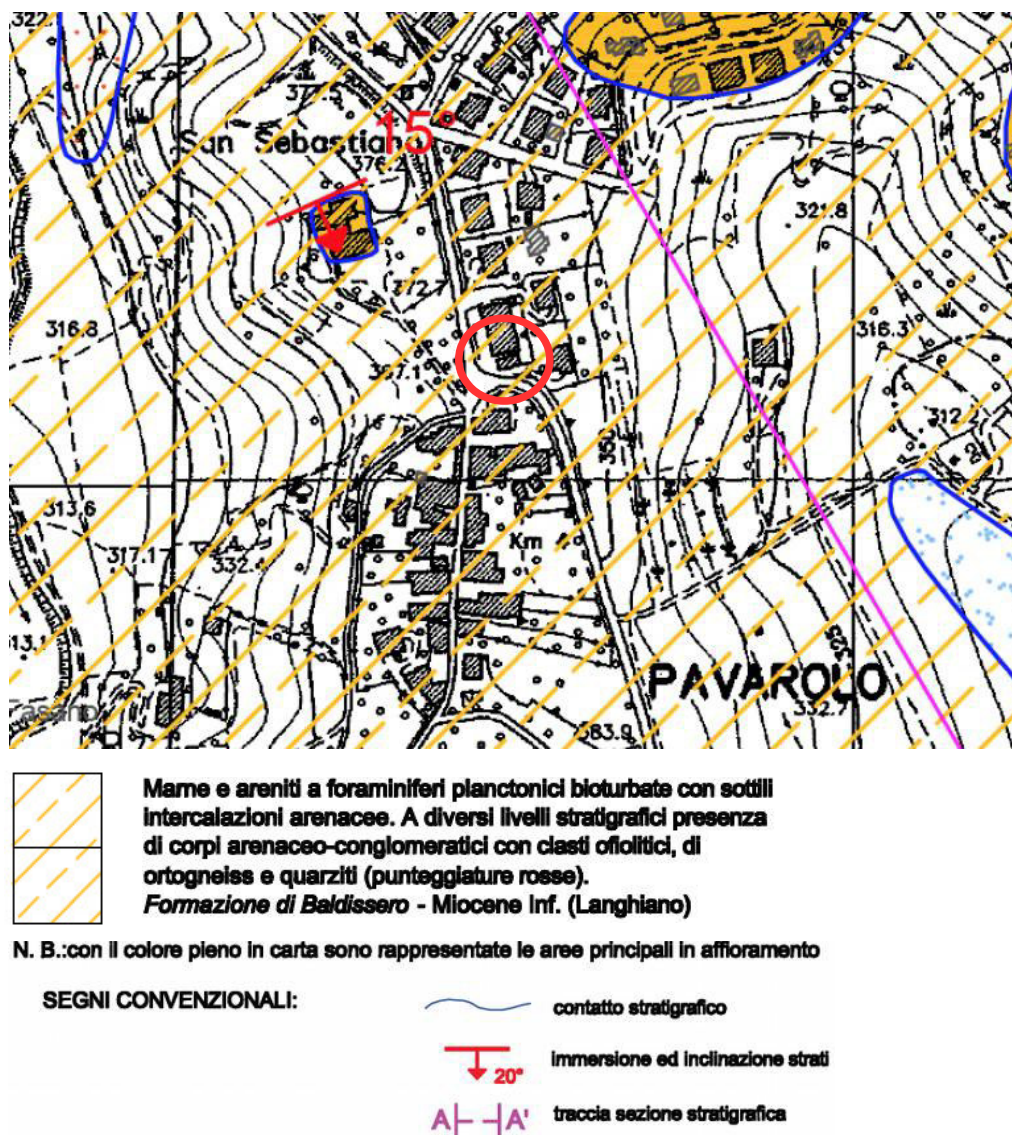


Immagine 9: stralcio della "Carta geologico-strutturale" (Tav.1) di supporto al P.R.G. vigente (scala originale 1:10.000, mod.).

## 7. Caratteri geostrutturali generali

*La geometria e le caratteristiche delle superfici di discontinuità*

Dal punto di vista strutturale (Piana & Polino, 1994), la Collina di Torino è caratterizzata da anticlinali asimmetriche vergenti verso Nord-Ovest con assi strutturali Nord-Est/Sud-Ovest che nel settore nord-orientale si inflettono verso direzioni Est-Ovest e Nord-Ovest/Sud-Est. La deformazione riconoscibile nella Collina di Torino ha un'età prevalentemente post-messiniana (5-7 milioni di anni circa).

L'analisi delle fonti bibliografiche riportate in precedenza, ha permesso la ricostruzione dei caratteri geostrutturali generali dell'area di studio, in cui il sito di progetto risulta caratterizzato dalla presenza di un substrato litoide costituito da marne e areniti compatte con giacitura dei piani di stratificazione immergenti verso Sud-Est con una inclinazione di circa 15°, cioè a traverpoggio rispetto al pendio oggetto di indagine esposto ad Est. Nell'area di progetto non è stata osservata la presenza di affioramenti del substrato litoide.

## 8. Classificazione sismica

Con deliberazione 19/01/10, n.11-13058 la Giunta della Regione Piemonte ha provveduto all'aggiornamento ed adeguamento dell'elenco delle zone sismiche in virtù delle disposizioni dell'O.P.C.M. 3519/06. Secondo tale documento il territorio comunale di Pavarolo (TO) viene classificato in Zona sismica 4.

## 9. INDAGINI DI DETTAGLIO

Oltre ad un sopralluogo condotto in sito, esteso ad un intorno significativo per accertare la situazione geomorfologica e litostratigrafica di dettaglio, sono state raccolte le informazioni geologiche del P.R.G.C., che verranno qui di seguito rielaborate, unitamente ad altre informazioni bibliografiche riguardanti la cartografia storica ed attuale. In particolare, per la redazione del presente elaborato sono stati consultati i dati e le informazioni pubblicati nella seguente letteratura specialistica:

- cartografia tematica della Banca Dati Geologica Regionale, a cura del Settore per la Prevenzione del Rischio Geologico, Meteorologico e Sismico della Regione Piemonte;
- cartografia tematica del PAI (Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico) "Atlante dei rischi idraulici e idrogeologici – delimitazione delle aree in dissesto".

Per l'area di progetto inoltre è stato possibile reperire un elaborato di carattere geologico-tecnico redatto dal dott. geol. Claudio BERTONCELLO (datato 14/01/08) per il "Progetto di ampliamento e riqualificazione energetica dei locali scolastici della scuola elementare comunale di Via Maestra 33 per la realizzazione di scuola dell'infanzia", in cui sono disponibili i certificati di n.2 prove penetrometriche dinamiche eseguite in prossimità dell'area di intervento mediante un penetrometro "medio" (*DPM30*) con peso massa battente pari a 30 kg.

In data 10/02/17, è stata eseguita n.1 prova penetrometrica condotta all'uopo mediante un penetrometro semovente dinamico super pesante – statico 10t PAGANI TG 63-100 kN tipo "EMILIA", denominata *DPSH1*, e n.2 acquisizioni geofisiche (HVSr), mediante un sismografo a stazione singola, modello "Micromed TROMINO", per il rilievo delle onde sismiche e la loro elaborazione ed analisi tramite metodologia *H/V* (Micromed Grilla® SW).

Le prove penetrometriche sono un mezzo di riconoscimento litotecnico indiretto, che testa il terreno in posto e che fornisce in quanto tale una caratterizzazione (anche geotecnica) dei depositi; sono correlabili e permettono di definire orizzonti litologici utili al riconoscimento delle strutture sepolte.

Per il sito di progetto gli obiettivi principali dell'indagine geognostica sono stati la ricostruzione dell'assetto litostratigrafico dei depositi presenti e la stima delle caratteristiche geotecniche degli stessi nonché l'accertamento dell'eventuale presenza di acqua di infiltrazione circolante nei depositi presenti.

Per la descrizione delle modalità di esecuzione delle prove si rinvia, rispettivamente, ai capitoli del presente elaborato dedicati alla trattazione del modello geotecnico (paragrafo 11.) e del modello sismico (paragrafo 13.) del sottosuolo, mentre per la consultazione del certificato della prova penetrometrica *DPSH* si rimanda alla sezione "Allegati" in calce al presente elaborato.

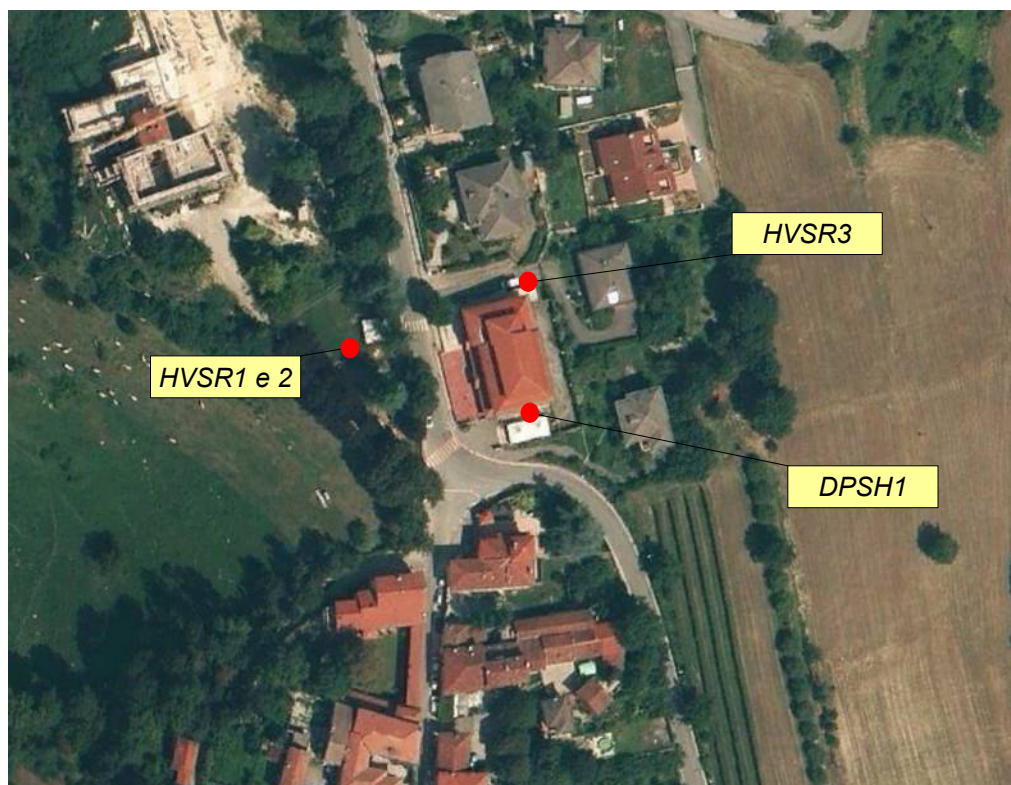
### 9.1 Ubicazione delle indagini

La prova e le acquisizioni effettuate sono state ubicate, quanto più possibile in questa fase di progetto, in corrispondenza dell'area interessata dall'intervento, onde poter ricavare dati utili alla ricostruzione degli orizzonti litostratigrafici del volume di sottosuolo del sito interessato direttamente dall'opera.

In particolare, la verticale di prova penetrometrica è stata eseguita (Immagine 10) a partire dal piano campagna della rampa di accesso al campo bocce localizzata a Sud del fabbricato scolastico, ed in particolare in prossimità della facciata dello stesso.

La prova *DPSH* effettuata ha raggiunto la massima profondità di indagine pari a -10,20 m dall'attuale piano campagna.

Le acquisizioni *HVSr* sono state effettuate su superficie pianeggiante e su terreno rimaneggiato (la qual cosa non incide sui risultati ottenibili), le condizioni meteo erano buone, con assenza di vento.



---

Immagine 10: ubicazione planimetrica della prova penetrometrica DPSH e delle acquisizioni HVS.

## 9.2 Situazione litostratigrafica locale

L'analisi della cartografia geologica riportata in precedenza, consente di osservare come il substrato litoide del sito in esame sia costituito da marne e areniti con sottili intercalazioni arenacee di origine marina (Formazione di Baldissero).

Le indagini geognostiche condotte in sito hanno permesso di evidenziare la presenza più in superficie, al di sopra del substrato litoide, di una potente coltre (potenza circa 6 m) di depositi di origine fluviale (Sintema di Zanco) avente un discreto grado di resistenza all'avanzamento della punta del penetrometro in profondità, resistenza che non risulterebbe coerente con quello che potenzialmente presenterebbero depositi interessati dal rimaneggiamento antropico dell'area di prova a seguito della realizzazione del fabbricato scolastico.

La porzione più superficiale della successione è costituita invece, al di sotto del battuto di cemento della rampa di accesso, da un sottofondo granulare con spessore metrico.

Sulla base del rilevamento dell'intorno, delle indagini geognostiche appositamente eseguite in sito (paragrafo 11.) ed allo studio della documentazione d'archivio disponibile (elaborati del P.R.G., fonti bibliografiche, sondaggi, altre indagini ecc.) per l'area di progetto è possibile ricostruire la seguente sequenza stratigrafica locale:

Profondità media	Nome	N. colpi medio N <sub>20</sub>	Età stimabile	Litologia e genesi
da 0,00 a -1,00 m circa	Unità 1	4	Attuale	Deposito a comportamento granulare di riporto antropico
da -1,00 m a -7,00 m circa	Unità 2	6	Pleistocene medio	Limo sabbioso di origine fluviale
da -7,00 m a -8,80 m circa	Unità 3	15	Pleistocene medio	Sabbie di origine fluviale
da -8,80 m a -10,20 m circa	Unità 4	32	Miocene inf.	Siltiti sabbiose consistenti, rocce tenere alterate

Tabella 1: stratigrafia locale ricostruita a partire dalla prova penetrometrica DPSH eseguita.

Si rammenta che in corso d'opera si dovrà tassativamente controllare la coerenza tra la caratterizzazione geologica assunta in progetto e la situazione effettivamente riscontrata in sito, differendo di conseguenza il progetto.

## 10. LINEAMENTI GEOMORFOLOGICI DELLA ZONA

*Nonché, gli eventuali processi morfologici ed i dissesti in atto o potenziali; Rischio Idrogeologico*

L'indagine svolta e il sopralluogo effettuato in sito, cui fa seguito il presente elaborato di carattere geologico e geotecnico non hanno evidenziato la presenza di specifici elementi di pericolosità geomorfologica in un intorno significativo all'area di progetto. Allo stato di fatto attuale **non si segnalano elementi e/o indicatori riconducibili a fenomeni di dissesto in atto e/o potenziali** che coinvolgano l'area di progetto.

Le osservazioni di terreno trovano conferma nell'analisi della carta tematica del PAI (Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico, della banca dati IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi Italiani), della banca dati SIFRAP (Sistema Informativo delle Frane in Piemonte) e della "Carta geomorfologica dei dissesti e della dinamica fluviale" (Tav.2) redatta a supporto del P.R.G. vigente, dove si osserva che l'area di progetto non risulta essere stata o essere interessata da fenomeni di dissesto gravitativi legati alla dinamica del versante.

### 10.1 Inquadramento geomorfologico

I rilievi della Collina di Torino dal punto vista morfologico sono il risultato di una complessa, continua e prolungata interazione dinamica che ha visto e vede tuttora contrapposti l'attività geodinamica e i fenomeni di modellamento superficiale. Fra questi ultimi preponderante è il ruolo svolto dai processi facenti capo all'acqua incanalata, cui si associano i fenomeni di degradazione di versante (es. ruscellamento diffuso e concentrato) e quelli di trasporto solido in massa (es. processi gravitativi). L'assetto morfologico nel suo complesso è quindi da ricondurre in primo luogo all'evoluzione del reticolato idrografico e in particolar modo ai fenomeni di approfondimento erosivo, arretramento della testata e di proliferazione degli affluenti (fonte N.I. della Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000 Foglio 156 "Torino Est").

Dal punto di vista geomorfologico a grande scala, il territorio comunale di Pavarolo (TO) si estende per la buona parte su rilievi collinari da mediamente ad altamente acclivi con versanti caratterizzati generalmente da pendenze comprese tra 20-36%. I settori dove le acclività sono maggiori si ritrovano lungo le scarpate che costeggiano le strade di cresta e nel settore settentrionale dove sono presenti i rilievi più elevati. Man mano che si procede da Nord verso Sud, si assiste in generale ad una diminuzione dell'acclività, con versanti che presentano una pendenza moderata o dolce. Questi settori ricordano quelli maggiormente accidentati a settentrione con quelli a morfologia subpianeggiante che si sviluppano in prossimità dei corsi d'acqua principali, in particolare presso il Rio delle Boie e il Rio Morto. Qui le pendenze sono generalmente inferiori al 20% (<12°), con estese superfici con acclività compresa tra 0-10% (<6°).

La differenza di morfologia che si riscontra tra la porzione settentrionale e quella meridionale del territorio di Pavarolo, più accidentata la prima, più dolce la seconda, costituisce per certi versi il limite strutturale tra la Collina di Torino e l'Altopiano di Poirino, e tale conformazione è la conseguenza dei movimenti tettonici che hanno interessato l'area in epoche passate.

L'area oggetto di intervento è localizzata su un settore di cresta collinare con orientazione Nord-Sud, sul

quale si è sviluppato il concentrico di Pavarolo, che costituisce lo spartiacque di due versanti che digradano in ampi fondovalle drenati dal Rio delle Boie, ad Ovest, e da un corso d'acqua secondario senza nome che presenta un regime effimero, ad Est.

A maggiore dettaglio, l'area di intervento è localizzata nel settore sommitale del versante orografico destro di una valle laterale che presenta un'esposizione verso Est (Immagine 11). L'area di progetto è ubicata ad una quota altimetrica di circa 370 m s.l.m. e si inserisce in un'area urbanizzata in cui l'edificio scolastico esistente è raccordato agli edifici limitrofi tramite opere di contenimento terre realizzate a sostegno di scarpate a seguito di opere di sbancamento e riporti resisi necessari al fine di mitigare la morfologia dell'area in seguito agli interventi edilizi. La morfologia originaria dei luoghi risulta pertanto obliterata dagli interventi antropici che si sono susseguiti nel tempo.

Nell'area dove è previsto il nuovo intervento in progetto è attualmente presente una rampa carrabile in battuto debolmente inclinata verso il campo bocce. A Sud l'area di progetto è delimitata da un lungo muro di sostegno in cls con altezza variabile (Immagine 18) che presenta alcune evidenti lesioni (crepe e fessurazioni) sulla sua lunghezza.

La situazione geomorfologica globale è riassunta nello stralcio della Carta geomorfologica dei dissesti e della dinamica fluviale redatta a supporto del P.R.G.C. vigente, presentata nell'Immagine 11.

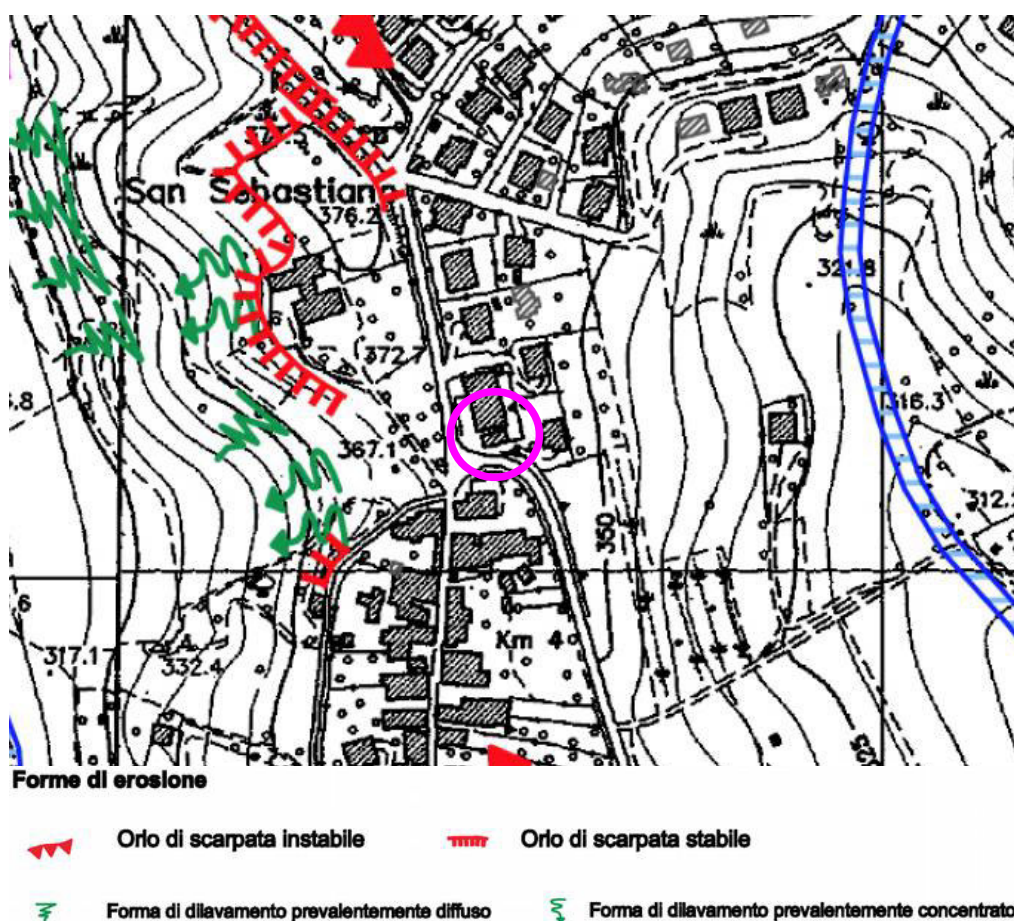


Immagine 11: stralcio della "Carta geomorfologica dei dissesti e della dinamica fluviale" (Tav.2) a supporto del P.R.G.C., con ubicazione approssimativa dell'area di progetto (scala originale 1:10.000, mod.).

## 10.2 Pericolosità geomorfologica

Il P.R.G.C. vigente di Pavarolo recepisce ed esplicita le indicazioni del PAI (Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico).

Dal sopralluogo condotto in sito e dall'analisi della carta tematica del PAI, della banca dati IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi Italiani), della banca dati SIFRAP (Sistema Informativo delle Frane in Piemonte) e

della “Carta geomorfologica dei dissesti e della dinamica fluviale” (Tav.2) redatta a supporto del P.R.G. vigente, dove si osserva che il settore di versante oggetto di indagine non ricade all'interno di aree perimetrate come fenomeno gravitativo significativo in atto o pregresso che coinvolge l'area stessa.

Nel corso del sopralluogo è stata rilevata la presenza di significative lesioni nel muro di contenimento del terrapieno in cls (privo di barbacani) presente a Sud del fabbricato (Immagine 19) e in diversi manufatti di raccordo tra le superfici (Immagine 17), da crepe e fessurazioni nelle superfici pavimentate (Immagine 15), oltre che da uno “scollamento” esistente tra le facciate Sud ed Est del fabbricato e la pavimentazione/cordolo (Immagine 16). E' stato inoltre osservato un significativo distacco nel punto di raccordo tra i muri di contenimento nello spigolo Sud-Est del terrapieno (Immagine 20).

Tali lesioni sono indizi di un generale assestamento del terrapieno presente a Sud (area di progetto) e a Sud-Est (campo bocce) del fabbricato scolastico.

## **11. SCHEMA DELLA CIRCOLAZIONE IDRICA SUPERFICIALE E SOTTERRANEA**

### **11.1 Circolazione idrica superficiale**

A grande scala, l'area oggetto di studio ricade all'interno del bacino idrografico di un corso d'acqua secondario a carattere effimero, che defluisce nel fondovalle con orientazione all'incirca Nord-Ovest/Sud-Est circa 200 m più ad Est, ed è localizzata all'incirca in corrispondenza della linea di cresta di una dorsale collinare che rappresenta lo spartiacque tra due bacini contigui.

Per quanto concerne la circolazione idrica superficiale, in un intorno significativo all'area di studio, dal sopralluogo effettuato in sito, in accordo con quanto descritto dalla “Carta geoidrologica del reticolato idrografico e delle opere idrauliche censite” (Tav.3) a supporto del P.R.G. vigente (Immagine 12), non è stata rilevata la presenza di corsi d'acqua principali o secondari significativi.

L'area di progetto risulta interessata nel corso degli eventi meteorologici solamente dalle acque di ruscellamento superficiale provenienti dalle aree poste ad una quota altimetrica superiore ed in particolare da quelle raccolte da Via Maestra.

### **11.2 Circolazione idrica sotterranea**

Dal punto di vista idrogeologico a grande scala, i settori collinari non sono sede di un acquifero superficiale esteso e spazialmente continuo secondo la definizione classica di falda freatica attribuita dall'idrogeologia.

La circolazione idrica profonda nell'area collinare è limitata ed è legata soprattutto alla permeabilità per fratturazione (o fessurazione) nei termini cementati e litificati della successione paleogenico-neogenica, mentre la permeabilità per porosità è assai ridotta. La prima da origine ad acquiferi discontinui, mentre negli orizzonti costituiti da depositi sciolti grossolani si possono eventualmente impostare acquiferi modesti di carattere esclusivamente locale (Fioraso & Boano, 2002; Fioraso et alii, 2004).

A maggior dettaglio, per quanto riguarda la circolazione idrica sotterranea che interessa direttamente l'area di studio, è ipotizzabile che a seguito degli eventi meteorologici si instauri, per infiltrazione, negli strati più superficiali del sottosuolo, costituiti da una potente coltre di depositi (spessore circa 7 m) (Sintema di Zanco e riporto antropico) che ricoprono l'ossatura litoide del versante, cioè da materiali caratterizzati da una maggiore permeabilità (se pur generalmente caratterizzata da bassi valori), la circolazione di una falda di versante (o vene di percolazione) di modesta entità a carattere locale ed effimera che defluisce all'interfaccia col substrato roccioso. L'altezza di tale falda dipende dall'entità e durata dell'evento meteorologico.

Il substrato roccioso risulta caratterizzato da una conducibilità idraulica per porosità “bassa” che può pertanto considerarsi scarsamente permeabile o pressoché impermeabile. Una circolazione idrica sotterranea più profonda, ospitata nel substrato roccioso, è ipotizzabile solamente per fratturazione dell'ammasso stesso, ma pur sempre con gradienti di permeabilità, per il tipo di unità litologica in questione, da bassa a media.

### **11.3 Quota della soggiacenza**

Per quanto riguarda la circolazione idrica sotterranea a scala locale, all'interno della verticale d'indagine DPSH realizzata in situ, in data 10/02/17, non è stata rilevata la presenza della falda freatica fino alla



## 12. MODELLO GEOTECNICO

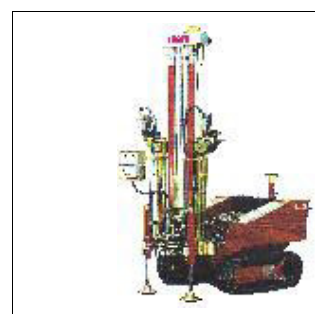
La caratterizzazione geotecnica dell'area di indagine interessata dal progetto è basata sui risultati della prova penetrometrica *DPSH* eseguita in situ, la cui localizzazione è stata presentata precedentemente nella parte geologica del presente studio (Capitolo 9.1).

### 12.1 Prova penetrometrica dinamica *DPSH*

La prova dinamica effettuata (tipo *DPSH*) consiste nel misurare il numero di colpi di maglio necessari per un avanzamento di 0,20 m di una punta sottoposta per tramite di un treno di aste ad un'energia di battuta. La prova è stata realizzata secondo le pre norme prEN 1997 parte 3, capitolo 6 dell'EUROCODICE7, ovvero secondo lo standard francese (PDB) NF P 94-115 (1990) verificando (con un dinamometro) lo sforzo di rotazione delle aste. Ciò vuol dire che durante la prova non esiste un significativo attrito parassita sulle aste e quindi l'energia dissipata lateralmente è minima; la maggior parte dell'energia è somministrata alla punta.

Caratteristiche tecniche dello strumento:

peso maglio	63,50 kg
altezza caduta libera	75 cm
peso del sistema di battuta	0,63 kg
diametro punta conica	51 mm
area punta conica (base)	20,43 cm <sup>2</sup>
angolo apertura punta conica	60°
lunghezza aste	1 m
peso aste per metro	6,31 kg
profondità giunzione 1a asta	0,40 m
avanzamento standard della punta	0,2 m



Le prove forniscono informazioni con cui ricavare empiricamente i parametri geotecnici del sottosuolo (anche tramite correlazione con prove *SPT* e *CPT*).

Esistono due modi di rappresentare tali prove:

- diagrammare i risultati per N colpi per poi paragonarli ai valori *SPT*, da cui si possono ricavare i parametri geotecnici per calcolare la capacità portante con i metodi classici o ottenere direttamente tale capacità portante con particolari formule;
- diagrammare i risultati valutando la resistenza dinamica  $R_d$  (alla infissione dell'asta penetrometrica), secondo una scuola tipicamente europea (francese), paragonando giustamente l'energia fornita, al carico ultimo di rottura del terreno (Sanglerat 1972). Tale rappresentazione è valida quanto più il coefficiente di sicurezza è alto e la conoscenza del sito è buona. Con questa rappresentazione delle prove è possibile correlare la resistenza dinamica  $R_d$  alla  $R_p$  (resistenza alla punta) del penetrometro statico (*CPT*).

I penetrometri *Pagani Geotechnical Equipments* quindi, permettono la gestione di aste e coni per prove dinamiche, rispettando le International Standard Procedure.

L'efficienza ER del Penetrometro *DPSH* è stata misurata e certificata da *ISMES* in due siti di differenti caratteristiche ed il rendimento medio calcolato consente di normalizzare il valore di  $N_{20}$ , per semplificare le correlazioni con i dati di altre prove in situ e principalmente di NSPT. Abbiamo Quindi che  $0 < ER_{72\%} < 5m$ ;  $5 < ER_{73\%} < 10m$   $10 < ER_{74\%} < 15m$ .

Questa esperienza consultabile sul sito internet "[www.pagani-geotechnical.com](http://www.pagani-geotechnical.com)" ha evidenziato che il rapporto tra NSPT ed  $N_{20}$  (*DPSH* Pagani), normalizzato al 60% di rendimento, varia tra 1,5 per i terreni sabbiosi ghiaiosi, ed aumenta con l'aumentare della frazione fine raggiungendo valori superiori a 4 nei terreni argillosi non saturi.

### 12.2 Considerazioni circa le prove geognostiche eseguite

L'interpretazione dei dati ricavati alla prova *DPSH* risulta in accordo con l' inquadramento geologico precedentemente esposto (paragrafo 6.).

Il quadro stratigrafico che si è venuto a delineare per l'area di intervento, sulla base della verticale di

indagine realizzata in situ, risulta omogeneo dal punto di vista delle unità litotecniche, ed evidenzia la presenza di una successione costituita da n.4 strati a caratteristiche omogenee schematizzati nel paragrafo seguente.

Con l'aumentare della profondità di indagine è stato rilevato un progressivo e graduale aumento della resistenza alla penetrazione della punta dello strumento, con buoni valori di addensamento a partire da circa 7 m dal p.c.

## 12.3 Stratigrafia e stima dei parametri geotecnici caratteristici

Dai risultati della prova *DPSH* eseguita in situ ed in considerazione delle caratteristiche geotecniche dei materiali indagati, ricavate mediante l'applicazione di diverse metodologie di correlazione empiriche, si propone la seguente stratigrafia ed i seguenti **parametri geotecnici caratteristici** basati su un criterio cautelativo (ossia una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro nello stato limite considerato – Capitolo 6.2.2 N.T.C.).

I dati acquisiti dalle indagini puntuali condotte risultano pertanto schematizzabili, procedendo dall'unità più superficiale a quella più profonda, come segue:

### Unità litotecnica 1

da 0,00 a -1,0 m circa

Deposito a comportamento granulare di riporto antropico:

- |   |   |
|---|---|
| • numero di colpi rappresentativo                             | $N_{20} = 4$ pari a circa 5 <i>Nspt</i> |
| • resistenza dinamica alla punta                              | $Qd = 40 \text{ kg/cm}^2$               |
| • densità relativa  | $Dr = 46 \%$                            |
| • peso di volume stimato                                      | $\gamma = 1,75 \text{ t/m}^3$           |
| • angolo di attrito interno ( <i>Hatanaka Huchida</i> , 1996) | $\phi'_k = 26^\circ$                    |
| • coesione efficace   | $c'_k = 0,0 \text{ kPa}$                |
| • modulo di compressione del terreno                          | $E' = \text{circa } 4 \text{ MPa}$      |

### Unità litotecnica 2

da -1,0 m a -7,0 m circa

Limo sabbioso di origine fluviale:

- |   |   |
|---|---|
| • numero di colpi rappresentativo                             | $N_{20} = 6$ pari a circa 9 <i>Nspt</i> |
| • resistenza dinamica alla punta                              | $Qd = 44 \text{ kg/cm}^2$               |
| • densità relativa  | $Dr = 54 \%$                            |
| • peso di volume stimato                                      | $\gamma = 1,75 \text{ t/m}^3$           |
| • angolo di attrito interno ( <i>Hatanaka Huchida</i> , 1996) | $\phi'_k = 33^\circ$                    |
| • coesione efficace   | $c'_k = 0,0 \text{ kPa}$                |
| • modulo di compressione del terreno                          | $E' = \text{circa } 8 \text{ MPa}$      |

### Unità litotecnica 3

da -7,0 m a -8,8 m circa

Sabbie di origine fluviale:

- |                                   |   |
|-----------------------------------|---|
| • numero di colpi rappresentativo | $N_{20} = 15$ pari a circa 20 <i>Nspt</i> |
| • resistenza dinamica alla punta  | $Qd = 93 \text{ kg/cm}^2$                 |

- |   |                                     |
|---|-------------------------------------|
| • densità relativa  | $Dr = 71 \%$                        |
| • peso di volume stimato                                      | $\gamma = 1,85 \text{ t/m}^3$       |
| • angolo di attrito interno ( <i>Hatanaka Huchida</i> , 1996) | $\phi'_k = 38^\circ$                |
| • coesione efficace   | $c'_k = 0,0 \text{ kPa}$            |
| • modulo di compressione del terreno                          | $E' = \text{circa } 23 \text{ MPa}$ |

#### Unità litotecnica 4

da -8,8 m a -10,2 m circa

Siltiti sabbiose consistenti, rocce tenere alterate:

- |   |  |
|---|--|
| • numero di colpi rappresentativo                             | $N_{20} = 32 \text{ pari a circa } 42 \text{ Nspt}$    |
| • resistenza dinamica alla punta                              | $Qd = 179 \text{ kg/cm}^2$                             |
| • densità relativa  | $Dr = 86 \%$   |
| • peso di volume stimato                                      | $\gamma = 1,95 \text{ t/m}^3$                          |
| • angolo di attrito interno ( <i>Hatanaka Huchida</i> , 1996) | $\phi'_k = 40^\circ$ (valore limite secondo l'Autore9) |
| • coesione efficace   | $c'_k = 0,0 \text{ kPa}$                               |
| • modulo di compressione del terreno                          | $E' = \text{circa } 44 \text{ MPa}$                    |

### 13. INDAGINE SISMICA

Le misure sul terreno sono state acquisite con un apparecchio a stazione singola, modello (Micromed TROMINO®), per il rilievo delle onde sismiche e la loro elaborazione ed analisi tramite metodologia H/V (Micromed Grilla® SW). Il tromometro digitale Tromino, si basa su un progetto brevettato che ottimizza la misura del microtremore nell'intervallo di frequenze compreso fra 0,1 e 200 Hz.

Di seguito vengono presentati i risultati e l'interpretazione dei dati ottenuti dalle indagini svolte sul sito di progetto, mentre per una completa trattazione dell'indagine sismica condotta si rimanda al "Rapporto d'indagine sismica", presente nella sezione Allegati del presente elaborato, a firma del Dott. Geol. Massimo TROSSERO con sede nel Comune di Nichelino in Via XXV aprile n.20.

#### 13.1 Categoria di sottosuolo

La Normativa vigente (D.M. 14/01/2008) precisa che, ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente  $V_{s30}$  di propagazione delle onde di taglio, entro i primi 30 m di profondità. Il parametro di riferimento, per la classificazione sismica del sottosuolo, è dato dal già richiamato indice  $V_{s30}$ , ossia la velocità equivalente delle onde di taglio, che viene definita dall'espressione:

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

dove:  $h_i$  = spessore dell'i-esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità;

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

$N$  = numero di strati compresi nei primi 30 m di profondità;

L'interpretazione dei dati acquisiti in situ ha evidenziato un picco H/V (amplificazione locale), determinato dal contrasto di impedenza tra la velocità delle onde superficiali, alla profondità di circa 12 m dal p.c. (*HVSR3*) Considerando la tipologia di depositi (riconducibili alle categorie C o D sulla base dei risultati delle prove *DPSH*) presenti al di sopra di tale strato rigido, la categoria sismica di sottosuolo del sito è riconducibile al tipo E (Tabella 2).

Tale unità secondo quanto riportato nelle N.T.C. del 2008 (Tabella 2) corrisponde a: “terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con  $V_s > 800$  m/s)”.

Categ.	CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	$V_{s_{30}}$
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s_{30}}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m	$> 800$ m/s
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle caratteristiche meccaniche con la profondità (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina)	da 360 a 800 m/s
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 caratteristiche meccaniche con la profondità (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina)	da 180 a 360 m/s
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle caratteristiche meccaniche con la profondità (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina)	$< 180$ m/s
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s)	$> 800$ m/s
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s_{30}}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fine di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche	$< 100$ m/s
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti	

Tabella 2: categorie di sottosuolo di fondazione.

## 13.2 Categoria topografica

Per configurazioni topografiche semplici, le N.T.C. del gennaio 2008 consentono la definizione dell'azione sismica locale conseguente alle condizioni topografiche con riferimento ad un approccio semplificato che si basa sulla individuazione di categorie topografiche di riferimento distinte in base alla inclinazione media del pendio ed al rapporto tra larghezza in cresta e larghezza alla base del rilievo.

Individuata la categoria topografica è possibile definire l'influenza delle condizioni topografiche locali in termini di amplificazione sulla base del coefficiente  $ST$  (coefficiente di amplificazione topografica). Poiché il fattore  $ST$  è tabellato esclusivamente per valori alla sommità del rilievo, è possibile ricavare il valore del coefficiente di amplificazione topografica relativo ad un punto qualsiasi del pendio sulla base di una interpolazione lineare in cui al valore di amplificazione alla base del versante è attribuito valore unitario  $ST = 1,0$ .

Lo schema di riferimento per la individuazione della categoria topografica è il seguente:

Categoria	CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFIA
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $< 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $> 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ < i < 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $> 30^\circ$

L'assetto topografico dell'area di progetto ricade nella categoria denominata **T3** con valore di  $S_T$  pari a **1,2**.

### 13.3 Valutazione dell'azione sismica

Per la valutazione dell'azione sismica di progetto si è fatto ricorso all'utilizzo del software *Geostru PS Parametri sismici v.1.5*, da cui sono stati ricavati i valori riportati di seguito.

La classe d'uso della struttura, in mancanza di precisa indicazione da parte del Progettista strutturale, è stata arbitrariamente considerata di **II tipo**, cioè “*costruzioni ordinarie con normali affollamenti, in assenza di sostanze pericolose per l'ambiente e senza funzioni pubbliche o sociali essenziali, quali per esempio edifici residenziali o uffici non aperti al pubblico*”.

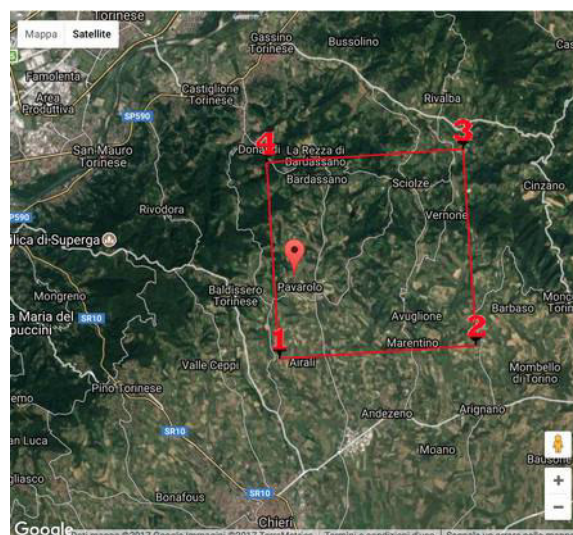
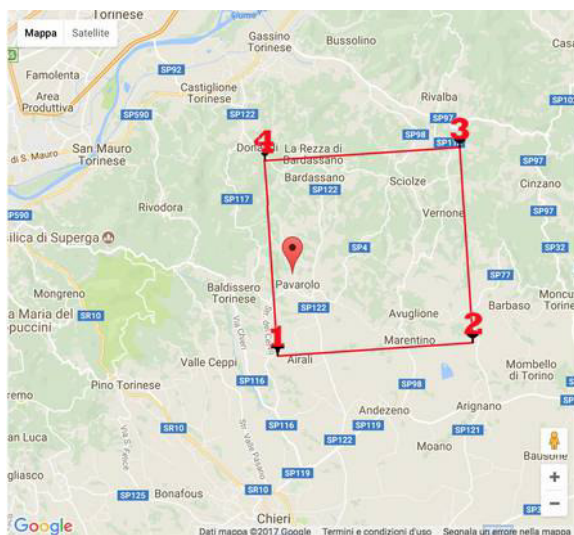


Immagine 13: vertici della maglia di appartenenza (*Geostru PS Parametri sismici v.1.5*).

**Tipo di elaborazione:** fondazioni

**Sito in esame** (le coordinate sono nel sistema ED50):

latitudine: 45,072706 longitudine: 7,835517

Classe: 2 Vita nominale: 50

**Siti di riferimento:**

Sito 1	ID: 13795	Lat: 45,0515Lon: 7,8302	Distanza: 2395,134
Sito 2	ID: 13796	Lat: 45,0548Lon: 7,9008	Distanza: 5498,646
Sito 3	ID: 13574	Lat: 45,1047Lon: 7,8961	Distanza: 5940,301
Sito 4	ID: 13573	Lat: 45,1014Lon: 7,8255	Distanza: 3283,297

**Parametri sismici:**

Categoria sottosuolo: E

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 50 anni

Coefficiente *cu*: 1

	Coefficienti sismici
<b>Operatività (SLO):</b> Probabilità di superamento: 81% Tr: 30 [anni] ag: 0,019 g Fo: 2,613 Tc*: 0,160 [s]	<b>SLO:</b> Ss: 1,600 Cc: 2,400 St: 1,000 Kh: 0,006 Kv: 0,003 Amax: 0,302 Beta: 0,200
<b>Danno (SLD):</b> Probabilità di superamento: 63% Tr: 50 [anni] ag: 0,024 g	<b>SLD:</b> Ss: 1,600 Cc: 2,250 St: 1,000

<p>Fo: 2,607 Tc*: 0,187 [s]</p>	<p>Kh: 0,008 Kv: 0,004 Amax: 0,373 Beta: 0,200</p>
<p><b>Salvaguardia della vita (SLV):</b>                      Probabilità di superamento: 10%                      Tr: 475 [anni]                      ag: 0,045 g                      Fo: 2,725                      Tc*: 0,275 [s]</p>	<p>SLV:                      Ss: 1,600                      Cc: 2,250                      St: 1,000                      Kh: 0,014                      Kv: 0,007                      Amax: 0,709                      Beta: 0,200</p>
<p><b>Prevenzione dal collasso (SLC):</b>                      Probabilità di superamento: 5%                      Tr: 975 [anni]                      ag: 0,053 g                      Fo: 2,777                      Tc*: 0,295 [s]</p>	<p>SLC:                      Ss: 1,600                      Cc: 1,870                      St: 1,000                      Kh: 0,017                      Kv: 0,009                      Amax: 0,834                      Beta: 0,200</p>

## 13.4 Potenziale di liquefazione

La liquefazione è un fenomeno indotto da sollecitazioni sismiche per cui la resistenza al taglio del terreno si annulla quasi totalmente in seguito all'aumento della pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo (sabbie) durante lo scuotimento sismico; questo fenomeno genera deformazioni permanenti significative o persino l'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno, che assume il comportamento meccanico caratteristico dei liquidi.

Secondo quanto riportato nelle N.T.C. 14/01/08 – Capitolo 7.11.3.4.2, la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

- eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;
- accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1 g;
- profondità media stagionale della falda superiore a 15 metri dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(NI)_{60} > 30$  oppure  $q_{ciN} > 180$  dove  $(NI)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (SPT) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $q_{ciN}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
- distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1 (a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3.5$  ed in Figura 7.11.1 (b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3.5$ .

Per il sito di progetto, trovandosi in Zona sismica 4 in cui le accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) sono minori di 0,1 g, la verifica a liquefazione può essere omessa.

## 14. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Gli studi eseguiti per la redazione del presente elaborato hanno permesso di ricostruire, su base bibliografica e delle indagini puntuali condotte in sito, il modello geologico e geotecnico del sito di progetto.

Si ritiene che l'approfondimento posto sia commisurato alle finalità della seguente fase di progetto ed alla complessità geologica del sito. Le indagini svolte sono da considerarsi idonee per costruire il modello geologico; per il modello geotecnico e quello sismico sarà il Progettista a decidere se le fasi d'indagine

possono ritenersi concluse secondo quanto indicato al cap. 6.2.2 delle NTC 2008.

Gli studi qui presentati consentono di trarre le seguenti considerazioni:

1. **tipologia di intervento** : realizzazione di vano ascensore e scala di emergenza esterni di pertinenza del fabbricato scolastico esistente.
2. **condizioni di pericolosità dell'intervento previsto**: condizioni di moderata pericolosità geomorfologica nelle quali gli elementi di pericolosità geomorfologica possono essere superati attraverso l'adozione ed il rispetto di modesti accorgimenti tecnici
3. **caratteristiche litostratigrafiche e geomorfologiche di dettaglio**: ottenute con sopralluogo, condotto all'uopo, con informazioni bibliografiche d'archivio e mediante una campagna di indagini geognostiche appositamente condotta in sito.  
Versante collinare; area sub-pianeggiante. Incidenze sulle aree circostanti nessuna.
4. **considerazioni idrogeologiche**: in data 10/02/17, non è stata rilevata la presenza della falda freatica fino alla massima profondità indagata (vedi certificato prova *DPSH*).
5. **considerazioni stratigrafiche**: si raccomanda di verificare al momento dell'esecuzione dell'opera, e quindi segnalare allo Scrivente, l'esistenza di difformità dal modello prospettato onde poter esporre le proprie valutazioni e variare di conseguenza i modelli proposti, permettendo al Progettista di apportare le eventuali modifiche al progetto.
6. **considerazioni geotecniche**: le indagini geotecniche eseguite in sito hanno permesso una adeguata caratterizzazione geotecnica del volume significativo di terreno che è la parte di sottosuolo influenzata dall'opera, direttamente o indirettamente e che influenza l'opera stessa. In particolare, con l'aumentare della profondità di indagine è stato rilevato un progressivo e graduale aumento della resistenza alla penetrazione della punta dello strumento, con buoni valori di addensamento a partire da circa 7 m dal p.c.

In conclusione si può affermare che **non esistono problematiche di carattere geologico e geotecnico, al di fuori di quanto esposto nei capitoli precedenti, e tali problematiche, se affrontate nell'ambito della normale e corretta progettazione, non risultano ostative alla realizzazione dell'opera.**

Delineata per sommi capi la situazione geomorfologica e litostratigrafica locale;  
tenuto conto di quanto emerso in quest'indagine e di quanto prescritto dalle vigenti leggi:

#### NULLA OSTA

dal punto di vista geologico e geotecnico all'intervento in progetto che è compatibile con il modello geologico e geotecnico ipotizzati. Alla luce del presente studio, si dovrà provvedere alla corretta progettazione dell'intervento, poiché sono qui fornite informazioni per la messa in sicurezza dal punto di vista idrogeologico (pericolosità geomorfologica) del sito e informazioni per il corretto dimensionamento delle opere fondali.

Il Tecnico incaricato,  
dott. Marco FRASCA, geologo  
Firma:

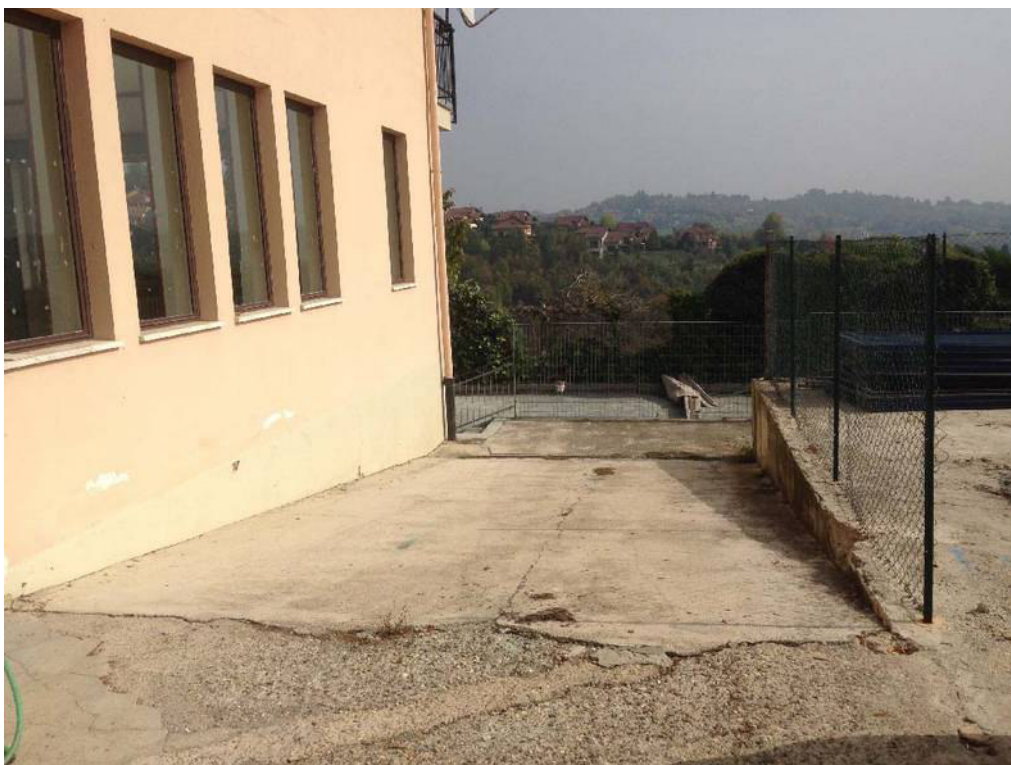


## **ALLEGATI**

- Documentazione fotografica
- Certificato prova penetrometrica *DPB*
- Rapporto di indagine sismica



*Immagine 14: ripresa fotografica dell'edificio scolastico e dell'area di intervento scattata da valle verso monte.*



*Immagine 15: ripresa fotografica dell'edificio scolastico e dell'area di intervento scattata da monte verso valle.*



*Immagine 16: fessurazione esistente rilevata tra la facciata Est e l'antistante cordolo in cemento (fotografia ripresa da valle verso monte).*



*Immagine 17: lesioni esistenti sui manufatti i contenimento del terrapieno (fotografia ripresa da valle verso monte).*



*Immagine 18: ripresa fotografica panoramica del muro di contenimento terra presente a Sud del fabbricato e dell'area di intervento.*



*Immagine 19: ripresa fotografica panoramica del muro di contenimento terra presente a Sud del fabbricato e dell'area di intervento (ripresa da valle verso monte).*



---

*Immagine 20: ripresa fotografica dello spigolo di raccordo dei muri di contenimento terra presente a Sud-Est del fabbricato.*



# Certificato di prova penetrometrica super pesante DPSH

Località: Pavarolo (TO), Via Maestra n.36

Il presente certificato ed i suoi valori sono di esclusiva proprietà del committente, ogni utilizzo deve essere concordato col medesimo.

Esecuzione secondo le norme francesi NF P 94 -115 (PDB) e ESOPT2

N20, numero di colpi per un avanzamento di 0,20m

## Prova 1

eseguita il 10/02/2017

posizione: lato rampa ingresso campo bocce

falda acquifera: n.r.

### Formula da cui si ricava la resistenza dinamica

$q_d = (M \cdot 2) \cdot H / (A \cdot e) \cdot N_{20}$  formula detta degli "Olandesi" da Sanglerat (1972) dove  
M=massa del maglio 63,5 kg, H=altezza della sua caduta 0,75 m, A=sezione della punta del penetrometro 0,002 m<sup>2</sup>, e=penetrazione di 0,2 m, P=massa delle aste 6,5 kg/m

### Formula da cui si ricava il valore Nsp

Nsp=ghiaie 1,5<N20<4 limi e argille (come consigliato dal costruttore e da Bruzzi e Cestari 1983 per penetrometro DPB)  
Nsp=0,833 N20(DPA) + 1,73 il fattore di conversione DPA = 1,5 DPB

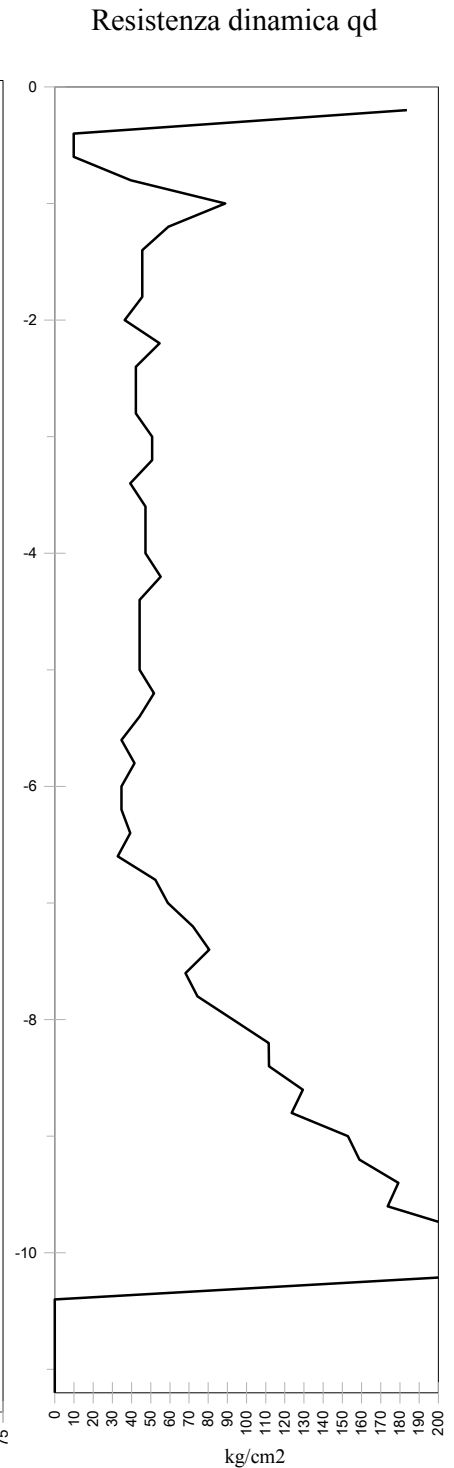
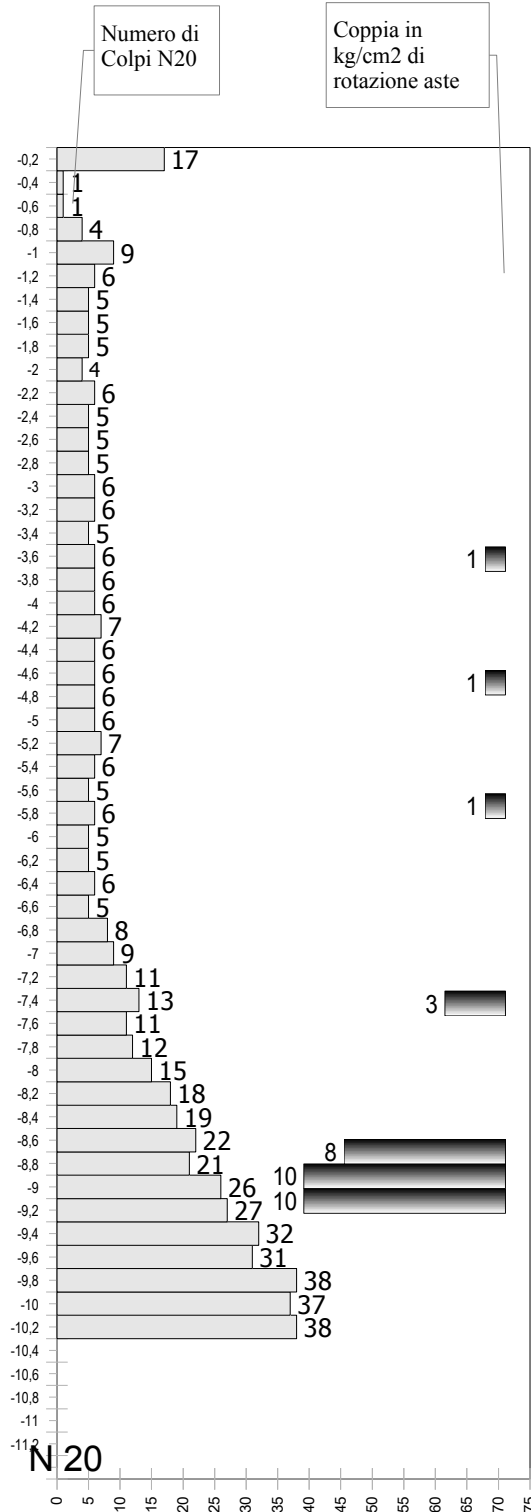
### Conversioni da qd a qc statica (Cestari 1990)

limi e argille SC:  $q_c = q_d \cdot 1 \div 0,5$

limi, sabbie sciolte med. add., argille NC  $q_c = q_d$  (circa)

sabbie addensate e ghiaie  $q_c = q_d \cdot 1 \div 2$

metri dalla superficie	coppia sulle aste (kgm)	colpi N20	fattore di normalizz. ER/60	N20 Normalizzato ER	q <sub>d</sub> kPa	q <sub>d</sub> (kg / cm <sup>2</sup> )
-0,2		17	1,20	20	17.994	184
-0,4		1	1,20	1	969	10
-0,6		1	1,20	1	969	10
-0,8		4	1,20	5	3.874	40
-1		9	1,20	11	8.717	89
-1,2		6	1,20	7	5.811	59
-1,4		5	1,20	6	4.463	46
-1,6		5	1,20	6	4.463	46
-1,8		5	1,20	6	4.463	46
-2		4	1,20	5	3.571	36
-2,2		6	1,20	7	5.356	55
-2,4		5	1,20	6	4.139	42
-2,6		5	1,20	6	4.139	42
-2,8		5	1,20	6	4.139	42
-3		6	1,20	7	4.967	51
-3,2		6	1,20	7	4.967	51
-3,4	1	5	1,20	6	3.859	39
-3,6		6	1,20	7	4.631	47
-3,8		6	1,20	7	4.631	47
-4		6	1,20	7	4.631	47
-4,2		7	1,20	8	5.403	55
-4,4	1	6	1,20	7	4.337	44
-4,6		6	1,20	7	4.337	44
-4,8		6	1,20	7	4.337	44
-5		6	1,20	7	4.337	44
-5,2		7	1,20	8	5.060	52
-5,4	1	6	1,22	7	4.337	44
-5,6		5	1,22	6	3.399	35
-5,8		6	1,22	7	4.078	42
-6		5	1,22	6	3.399	35
-6,2		5	1,22	6	3.399	35
-6,4		6	1,22	7	3.849	39
-6,6		5	1,22	6	3.207	33
-6,8		8	1,22	10	5.132	52
-7	3	9	1,22	11	5.773	59
-7,2		11	1,22	13	7.056	72
-7,4		13	1,22	16	7.895	81
-7,6		11	1,22	13	6.680	68
-7,8		12	1,22	15	7.288	74
-8		15	1,22	18	9.110	93
-8,2	8	18	1,22	22	10.932	112
-8,4	10	19	1,22	23	10.955	112
-8,6	10	22	1,22	27	12.685	129
-8,8		21	1,22	26	12.109	124
-9,0		26	1,22	32	14.991	153
-9,2		27	1,22	33	15.568	159
-9,4		32	1,22	39	17.563	179
-9,6		31	1,22	38	17.014	174
-9,8		38	1,22	46	20.856	213
-10,0		37	1,22	45	20.307	207
-10,2		38	1,22	46	20.856	213
-10,4			1,23	0	0	0
-10,6			1,23	0	0	0
-10,8			1,23	0	0	0
-11,0			1,23	0	0	0
-11,2			1,23	0	0	0



**COMUNE DI PAVAROLO**  
**PROVINCIA DI TORINO CITTA' METROPOLITANA**

---

## Rapporto di indagine sismica

**via Maestra 36 - Scuola Primaria**

Data: febbraio 2017

Codice documento				
Rev.	Redazione	Revisione	Approvazione	Descrizione
1	Geol. Massimo Trossero	Geol. Massimo Trossero	Geol. Marco Frasca	-



SPAZIO PER VISTI E TIMBRI

Abbiamo realizzato la seguente indagine che si è svolta sul terreno il 17/10/2016, con la supervisione del geologo Marco Frasca. La campagna è consistita in tre misure HVSR e una prova DPSH (sul sito furono svolte anche prove DPML).

## Localizzazione prove

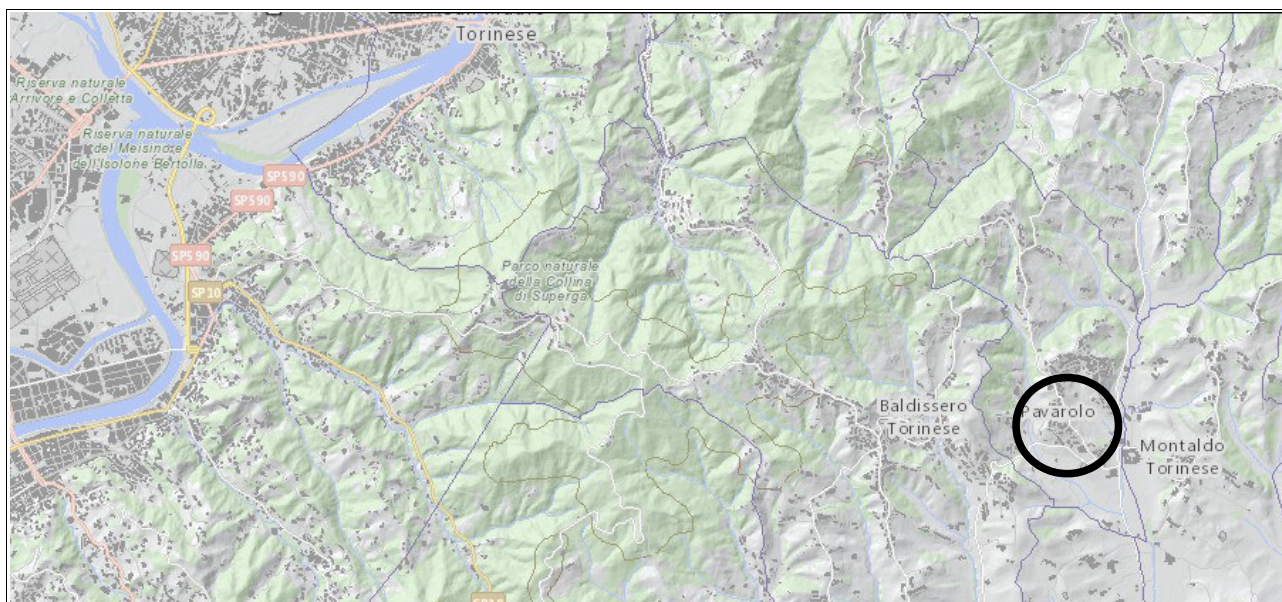


Illustrazione 1:

Le acquisizioni HVSR sono state effettuate su terreno rimaneggiato (la qual cosa non incide sui risultati ottenibili), le condizioni meteo erano buone, con assenza di vento. Non sono state effettuate misure proprio accanto alla prova IN QUANTO IN DISCESA E SU PIASTRA IN CEMENTO



Illustrazione 2: HVSR1



Illustrazione 4: HVSR2



Illustrazione 3: HVSR3 svolta su prato nello spigolo NW della scuola



Illustrazione 5:

---

## Indagine sismica

L'indagine è stata svolta secondo quanto indicato nelle NTC 2008 (Norme tecniche per le costruzioni, 14 gennaio 2008 e s.m.i.) ovvero punto 3.2.2 delle NTC *"La misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio è fortemente raccomandata."* Per misura diretta si intende proveniente da metodi geofisici e non da prove geotecniche. E il caso di ricordare che la circolare esplicativa delle NTC al punto C7.11.3.1.1 Indagini specifiche in C7.11.3 RISPOSTA SISMICA E STABILITÀ DEL SITO afferma che *"A titolo di esempio e in maniera non esaustiva, le prove in sito possono includere prove Cross-hole, prove Down-hole, prove SASW, prove dilatometriche sismiche, prove penetrometriche sismiche, ecc.,"* e che la metodologia HVSR qui di seguito esposta è descritta ed apprezzata in "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" Protezione civile Nazionale, 2008 ed aggiornamenti 2011, punto 3.1.5 pp 45-58 (ben 13 pagine).

Sono state pertanto effettuate misure di microtremori secondo la tecnica di Nakamura (1989, o tecnica HVSR) volte alla:

- valutazione preliminare della presenza di amplificazioni elastico-lineari del moto del suolo atteso in occasione di eventi sismici (soprattutto provenienti dal cosiddetto "far field");
- identificazione di materiali sciolti, riporti, sedimenti e stima dei loro spessori (Ibs-von-Seht e Wollenberg, 1999; Bodin e Horton, 1999).
- valutazione speditiva della velocità delle onde sismiche di taglio Vs.

Ricordando che (punto C3.2.2 della circolare esplicativa) si denomina "risposta sismica locale" l'azione sismica quale emerge in "superficie" a seguito delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza subite trasmettendosi dal substrato rigido. Operazione che diviene eseguibile con la sola lettura del grafico H/V, seppur considerando la curva ottenuta come amplificazione minima al sito e non massima, come spiegato in seguito.

Le misure sul terreno sono state acquisite con un apparecchio a stazione singola, modello (Micromed TROMINO®), per il rilievo delle onde sismiche e la loro elaborazione ed analisi tramite metodologia H/V (Micromed Grilla® SW). Il tromometro digitale Tromino, si basa su un progetto brevettato che ottimizza la misura del microtremore nell'intervallo di frequenze compreso fra 0.1 e 200 Hz.

### **Esposizione sintetica della metodologia HVSR**

La metodologia di misura e confronto H/V concretizzata per la prima volta da Nakamura Y. (1989): *A method for dynamic characteristics estimates of subsurface using microtremor on the round surface*. QR of RTRI, Vol. 30, pp. 25-33, si basa sulla acquisizione dei microtremori ambientali, ovvero movimenti micrometrici della crosta terrestre a livello locale, entro frequenze dell'ordine di  $0,1 - 1 \text{ Hz}^1$ ;  $1 - 20 \text{ Hz}^2$ , eccitate in maniera diffusa dall'attività antropica o ambientale locale nella gamma di frequenze tra 1 e 20 Hz. Queste vibrazioni indotte, costituiscono un rumore diffuso che permette di focalizzare con precisione superfici che determinano contrasti di impedenza sismica con notevole precisione, tali contrasti modificano anche le velocità delle onde sismiche di taglio (Vs) e inducono il terreno soprastante alla risonanza con la frequenza di oscillazione evidenziata dalla indagine.

Il rumore sismico diffuso, non puntuale e sufficientemente lontano, agisce come sorgente di eccitazione, più o meno come la luce bianca diffusa dalla nebbia illumina gli oggetti più vicini

---

1 microsismi

2 microtremori

all'osservatore, eccitando le lunghezze d'onda tipiche di ciascun oggetto e permettendo un percezione chiara degli oggetti vicini anche nella nebbia stessa che di per se nasconde tutto ovvero mascherando (tagliando) le informazioni lontane.

### Come si misura il microtremore ambientale

Il Tromino è dotato di tre canali velocimetrici elettrodinamici ad alta risoluzione per l'acquisizione del microtremore sismico ambientale fino a circa  $\pm 1.5$  mm/s. I sensori sono disposti secondo tre direzioni ortogonali (terna  $x$ ,  $y$  e  $z$ ) e, smorzati criticamente, trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore con risoluzione non inferiore a 24 bit. L'apparecchio mediante 3 velocimetri acquisisce 3 modi di vibrazione diversi che possono venire poi confrontati e ricostruiti in una curva che esprime la differenza dei movimenti orizzontali rispetto ai movimenti verticali espressa come amplificazione.

Le misure acquisite sono poi campionate in una finestra temporale (time window), meglio specificata in seguito nei tabulati di output del programma Grilla; su queste finestre viene effettuata una trasformazione di Fourier (FFT) in modo da ottenere una rappresentazione grafica con asse  $x$  in Hertz (Hz) ed in asse  $y$  in un fattore di amplificazione delle misure orizzontali rispetto a quelle verticali.

### Utilizzo dei dati ottenuti con la tecnica dei microtremori

Dalla precedente operazione, si ottiene, **se presente**, la frequenza fondamentale del sito, corrispondente al massimo picco osservabile. Più il picco è alto ("ampio" nel linguaggio sismologico) maggiore sarà l'amplificazione di quella frequenza e di quelle immediatamente superiori.

Nel caso si intenda valutare frequenze al di sotto di 1Hz (che sono comunque estranee al normale utilizzo di ingegneria sismica) è bene normalmente eseguire registrazioni con tempi intorno ai 30' (Sesame 2004) e con vaste perturbazioni meteo regionali in atto (Castellaro com pers), tuttavia spesso evidenze di queste frequenze possono comparire effimeramente (e non per questo da vedere con sospetto) in occasione di campagne con tempi di acquisizione anche più ridotti.

**ATTENZIONE: Un picco netto sul grafico<sup>3</sup>**, segnala inequivocabilmente la presenza di un contrasto di impedenza sismica  $>4-5^4$ . **Il picco ottenuto rappresenta** il lower bound (il limite minore) della **amplificazione sismica IN CAMPO LIBERO, attesa al sito<sup>5</sup>** rispetto ad un sisma originatosi lontano, almeno a 20km di distanza (far field<sup>6</sup>), **ovvero, la tecnica HVSR e in grado di riconoscere la presenza di frequenze fondamentali di vibrazione nei terreni**, sia di origine lito-stratigrafica che morfologica, ma i valori di amplificazione corrispondenti a tali frequenze sottostimano quelli che si verificano in presenza di forti scosse, quindi non ha senso considerare valori assoluti ma è più opportuno esprimere giudizi relativi.

### Utilizzazione dei picchi ai fini della verifica di manufatti.

Ogni picco osservato nel grafico corrisponde ad una frequenza fondamentale del sito, generalmente ne è presente uno solo, ma più contrasti di impedenza a profondità sensibilmente diverse ne generano altrettanti.

3  $>2$  salvo inversioni di velocità sovrastanti

4 Sesame 2004

5 Sesame 2004

6 Castellaro comunicazione personale

Nel caso in cui la frequenza di risonanza del sottosuolo coincida con quella di un edificio, in caso di terremoto può aversi un fenomeno di accoppiamento fra le due modalità di vibrazione. **Questo effetto di amplificazione sismica produrrà un grande aumento della sollecitazione sugli edifici. Per questo motivo, l'amplificazione sismica è oggi considerata la prima causa dei danni indotti dal terremoto e per questo motivo una attenta analisi delle frequenze caratteristiche dei siti viene effettuata nella fase di progettazione degli edifici**<sup>7</sup>. Inoltre è ben fondata l'ipotesi che un cambiamento sensibile dei modi principali della struttura sia legato al danneggiamento o all'alterazione della struttura stessa. In generale, un danneggiamento sismico si traduce infatti in una diminuzione sia della frequenza di risonanza per ciascun modo, sia nella diminuzione del rapporto di smorzamento

**IL PROGETTISTA CONTROLLI** CHE IL MODO DI VIBRARE FONDAMENTALE DELL'EDIFICIO SIA A FREQUENZE INFERIORI DI QUELLE "DI SITO" QUI ESPOSTE, E COMUNQUE LONTANO DAL PICCO EVENTUALMENTE PRESENTE POICHÉ IN CASO DI DANNEGGIAMENTO LA FREQUENZA PROPRIA DELL'EDIFICIO DIMINUISCE. SI TENGA ANCHE CONTO CHE NEL SOTTOSUOLO POSSONO MANIFESTARSI MODI DI VIBRARE SUPERIORI, ANCORA ENERGETICI E NON RISCONTRABILI CON IL METODO DEI MICROTREMORI. INFATTI SE LE FREQUENZE SUOLO E STRUTTURA COINCIDONO LA SITUAZIONE È PROBLEMATICA DAL PUNTO DELLA VULNERABILITÀ SISMICA DELL'EDIFICIO PER EFFETTO DI RISONANZA.

### **Come viene realizzato il passaggio dalla curva H/V alla stima delle Vs ?**

Mediante la sovrapposizione di una curva teorica alla curva acquisita dallo strumento, Castellaro e Mulargia (2009) hanno dimostrato che si può determinare con una precisione confrontabile con quella di altri metodi, la velocità media (armonica) delle onde sismiche fino ad almeno 30-50m. La sovrapposizione, secondo Castellaro, **è possibile ed univoca solo se la curva è agganciata ad una discontinuità sismica la cui profondità è nota con altri metodi** (indagine sismiche o geologico geotecniche quali indagini in sito DPSH o CPT o pozzetti esplorativi attestanti su geomateriali compatti). Ovvero gli spettri H/V "In presenza di un picco di risonanza ben individuato e nota la profondità del riflettore che dà la risonanza, è inoltre possibile ottenere una stima di massima della velocità media delle onde di taglio delle coperture. Infine possono costituire un valido ausilio nell'interpretazione e validazione dei risultati ottenuti con altre prove."<sup>8</sup>

La curva viene modellata tramite le equazioni del **modello 1-D di sottosuolo** nella formulazione Thomson-Haskell-Dunkin (trattato in Ben-Menahem & Singh, 1981, Seismic waves and sources ) con un codice di calcolo proprietario "Grilla" Micromed. Il processo del software è iterativo ed attraverso piccole modifiche di profondità e velocità si riesce a "fittare" ovvero modellare la curva teorica in modo da seguire la curva acquisita in campagna ottenendo le velocità e gli spessori degli strati successivi. Per poter svolgere questa operazione, l'operatore deve attribuire ad ogni strato un peso di volume, ed un modulo di Poisson (entrambi questi valori possono essere assunti di ragionevole massima, la valutazione della Vs30 che ne deriva è robusta e poco sensibile ad eventuali errori locali. Tali Vs non possono essere comunque usate per scopi diversi dall'ottenere Vs30, in quanto approssimate.

Le onde sismiche valutate dallo strumento sono le onde sismiche superficiali<sup>9</sup>, prodotte dall'interferenza costruttiva di onde P ed S che si propagano negli strati superficiali.

7 ESPERIENZA DI MISURA MEDIANTE LO STRUMENTO TROMINO PER LO STUDIO DELLE VIBRAZIONI E DELLE SOLLECITAZIONI NATURALI E ANTROPICHE, Rapporti tecnici INGV Anno **2011**\_Numero **203**

8 "Valutazione degli standard di esecuzione e dell'efficacia delle indagini di sismica attiva e passiva" Sebastiano Foti, Filippo Santucci de Magistris, Francesco Silvestri, Claudio Eva in: Contributi per l'aggiornamento degli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" 2008 Supplemento alla rivista Ingegneria sismica, Anno XXVIII - n. 2 - 2011

L'acquisizione dei dati in campagna dura circa 15 minuti per ogni stazione. L'aumento o la diminuzione di questo tempo determina la profondità di risoluzione dell'indagine.

Il tipo di stratigrafia che le tecniche di sismica passiva possono restituire si basa sul concetto di contrasto di impedenza, qualora esista<sup>10</sup>. Il contrasto di impedenza permette di individuare uno strato (sismostrato). La frequenza fondamentale di risonanza (fr) del primo strato<sup>11</sup> evidenziabile dallo strumento relativa alle onde S è pari a

$$[1] \quad fr = Vs / (4H)$$

Dove H è la minima profondità di tale contrasto.

Nel nostro caso avremo in grafico H/V, la presenza di un contrasto di impedenza NETTO a **H= 12 m** noto da prove DPSH+DPML, che genera un primo picco del rapporto H/V a circa **3,6 Hz**, dalla misura strumentale eseguita ed interpretata, ottenendo dunque dalla formula [1], la velocità vs del primo strato, indispensabile per la taratura della misura di Vs 30.

H da pozzetto/prova (m)	picco H/V (Hz)	Quindi Vs (m/s)
12	3,6	173

Questo effetto è poi sommabile, anche se non in modo lineare e senza una corrispondenza 1:1. Ciò significa che la curva H/V relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (e quindi allo spessore ed alle Vs) di ciascuno di essi, ma non è interpretabile semplicemente applicando l'equazione [1].

**Attraverso questo abaco è anche possibile stimare in in prima istanza anche la profondità del picco delle frequenze del bedrock sismico attraverso la seguente tabella.**

Le misure reali su modelli 1D locali composti da alternanze di diverse litologie producono curve H/V con relativi picchi e valli. Assumendo un appropriato modello per il campo delle onde e del mezzo, il metodo utilizzato (tramite il software Grilla®, Micromed spa) propone una curva teorica H/V (in colore blu) che può essere adattata a quella sperimentalmente raccolta (in colore rosso) per derivarne un modello di sottosuolo in termini di velocità delle onde di superficie<sup>12</sup> (a loro volta usate come stimatori della velocità delle onde di taglio).

*Tab. 1 - Abaco per la stima dello spessore delle coperture (h) a partire dai valori delle frequenze di risonanza (fo) determinate dalle misure H/V.*

F <sub>0</sub> (Hz)	h (m)
<1	>100
1-2	50-100
2-3	30-50
3-5	20-30
5-8	10-20
8-20	5-10
>20	<5

D. Albarello e S. Castellaro - Contributi per agg. ICMS

la rivista *ingegneria sismica* Anno XXVIII - n. 2 - 2011

<sup>9</sup> 50% onde di Raleigh 50% onde di Love, a differenza di altri programmi disponibili che elaborano direttamente Vs.

<sup>10</sup> Nel caso non esista è probabile che il terreno appartenga alla categoria A o residualmente alla categoria B (DH LANG e J SCHWARZ, 2006. Instrumental subsoil classification of Californian strong motion sites based on single-station measurements. *Proceedings of the Eighth U.S. National Conference on Earthquake Engineering*, San Francisco, United States.)

<sup>11</sup> Che spesso è presente già nei primi metri di sottosuolo

Poiché una stessa curva H/V può essere riprodotta ugualmente bene da un numero infinito di modelli di sottosuolo, è indispensabile che il *fit* (tramite modellazione) tra curva sperimentale e curva teorica sia ottenuto a partire da un vincolo stratigrafico noto a priori. Tipicamente questo consiste nella spessore dello strato più superficiale, noto dalle indagini dirette svolte (pozzetto espl. o prova in sito), cui si associa una caratteristica della curva H/V acquisita, generalmente un picco.

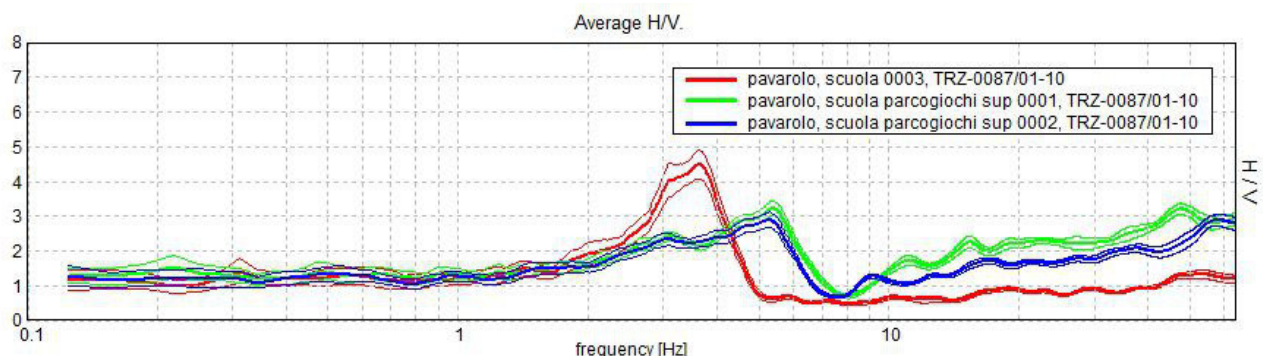
**Il fit delle misure di tremore a fini stratigrafici, quando realizzabile**, sfrutta la tecnica del confronto degli spettri singoli e dei rapporti H/V misurati con quelli 'sintetici', cioè con quelli calcolati relativamente al campo d'onde completo di un modello 3D. L'interpretazione è tanto più soddisfacente, e il modello tanto più vicino alla realtà, quanto più i dati misurati e quelli sintetici sono vicini (per le basi teoriche si veda ad es. Aki, 1964; Ben-Menahem e Singh, 1981; Arai e Tokimatsu, 2004, Castellaro e Mulargia, 2009).

Operativamente ad ogni picco presente sul grafico corrisponde un letto di uno strato. Nella stratigrafia di un sito eventualmente si deve aggiungere uno strato che sarà più lento solo nel caso particolare che il valore H/V scenda sotto 1 per lunghi tratti di grafico (Castellaro e Mulargia, 2008).

#### PROCEDURA DI ANALISI DATI PER STAZIONI SINGOLE H/V

Dalle registrazioni del rumore sismico ambientale in campo libero sono state ricavate le curve H/V, secondo la procedura descritta in Castellaro et al. (2005), con parametri:

- ⇒ larghezza delle finestre d'analisi 20 s,
- ⇒ lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale,
- ⇒ rimozione dei transienti sulla serie temporale degli H/V. Ovvero fit della curva e modellazione diretta.



*Illustrazione 6: Sovrapposizione delle tre curve H/V generate nelle tre stazioni di misura HVSR1, HVSR2, HVSR3; si osserva una congruenza nella generazione del picco H/V di tutte le stazioni.*

*La prova HVSR3 si evidenzia come la più adatta a rappresentare il comportamento del sito e la sua modellazione risultata fattibile.*

## File di output del sw Grilla commentato: PAVAROLO, SCUOLA 0003

Instrument: TRZ-0087/01-10

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: n.a.

Start recording: 17/10/16 15:34:25 End recording: 17/10/16 15:44:26

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

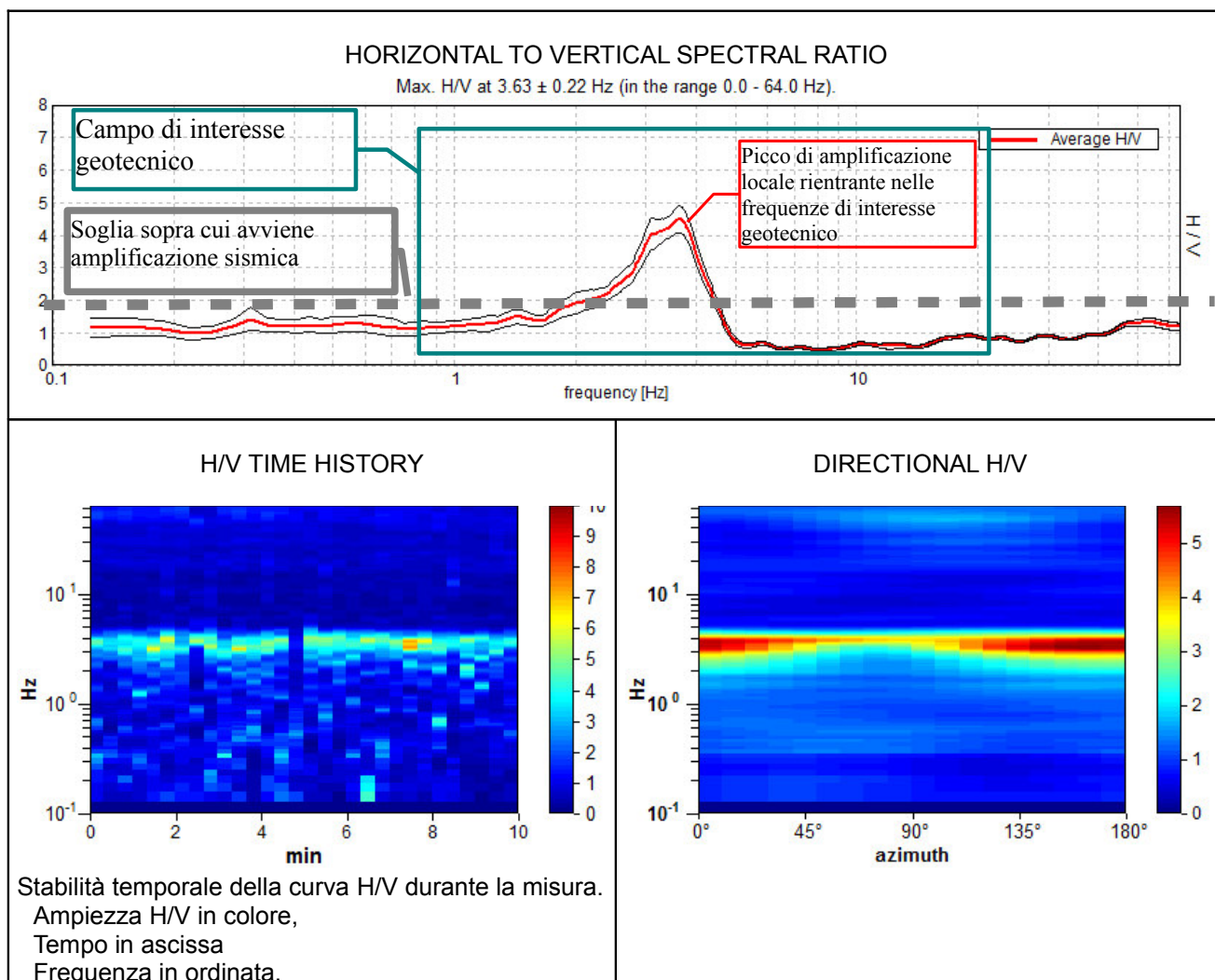
Trace length: 0h10'00". Analysis performed on the entire trace.

Sampling rate: 128 Hz

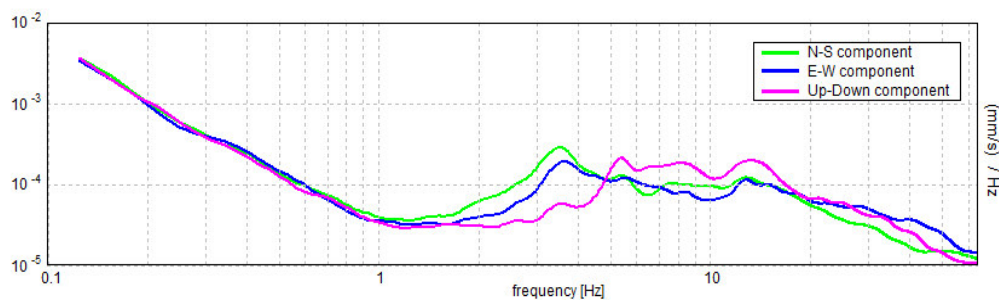
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

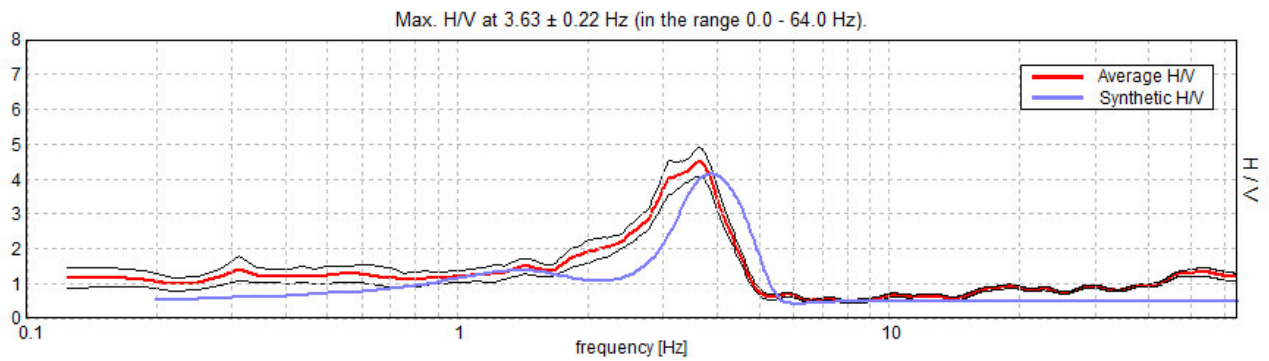
Smoothing: 10%



## SINGLE COMPONENT SPECTRA



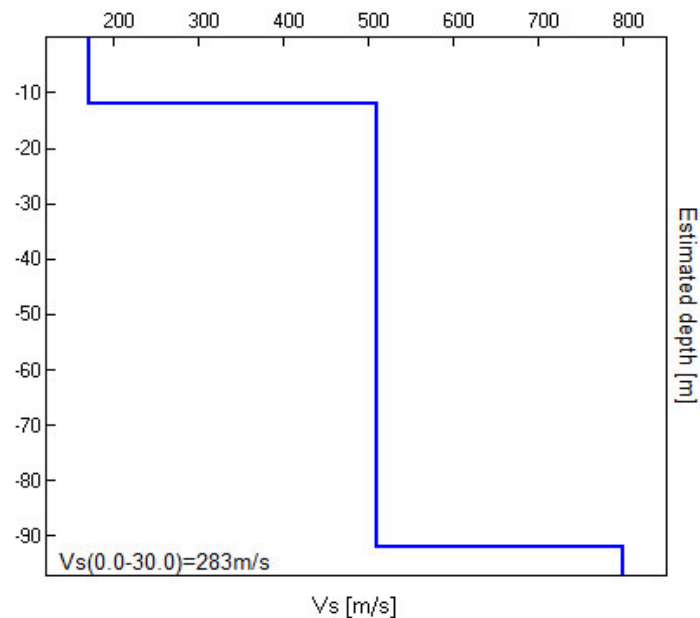
## EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
12.00	12.00	170	0.25
92.00	80.00	510	0.35
inf.	inf.	800	0.35

$$V_s(0.0-30.0)=283\text{m/s}$$

La precisione della misura di  $V_{30}$  è di circa il 30% in quasi tutte le metodologie geofisiche ma anche il campo di delimitazione delle categorie di sottosuolo è affetto da una variabilità del 25% come è stato evidenziato da Francesco Mulargia, Silvia Castellaro (2009) in Experimental uncertainty on the  $V_s(z)$  profile and seismic soil classification. "Seismological Research Letters" Volume 80, Number 6 November/December. Si impone quindi una scelta oculata della categoria da assegnare al progetto. Si deve perciò tener conto di altre informazioni (anche strutturali) come quelle che si possono evincere dallo studio delle frequenze di risonanza e dei picchi H/V.



**Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo**

Categoria	Descrizione
<b>A</b>	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di <math>V_{s,30}</math> superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.</i>
<b>B</b>	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s,30}</math> compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero <math>N_{SPT,30} &gt; 50</math> nei terreni a grana grossa e <math>c_{u,30} &gt; 250</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
<b>C</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s,30}</math> compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero <math>15 &lt; N_{SPT,30} &lt; 50</math> nei terreni a grana grossa e <math>70 &lt; c_{u,30} &lt; 250</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
<b>D</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di <math>V_{s,30}</math> inferiori a 180 m/s (ovvero <math>N_{SPT,30} &lt; 15</math> nei terreni a grana grossa e <math>c_{u,30} &lt; 70</math> kPa nei terreni a grana fina).</i>
<b>E</b>	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con <math>V_s &gt; 800</math> m/s).</i>

### **IL SOTTOSUOLO RIENTRA NELLA CATEGORIA E**

**IL PROGETTISTA CONTROLLI** CHE IL MODO DI VIBRARE FONDAMENTALE DELL'EDIFICIO SIA A FREQUENZE INFERIORI DI QUELLE "DI SITO" QUI ESPOSTE, E COMUNQUE LONTANO DAL PICCO EVENTUALMENTE PRESENTE POICHÉ IN CASO DI DANNEGGIAMENTO LA FREQUENZA PROPRIA DELL'EDIFICIO DIMINUISCE. SI TENGA ANCHE CONTO CHE NEL SOTTOSUOLO POSSONO MANIFESTARSI MODI DI VIBRARE SUPERIORI, ANCORA ENERGETICI E NON RISCONTRABILI CON IL METODO DEI MICROTREMORI. INFATTI SE LE FREQUENZE SUOLO E STRUTTURA COINCIDONO LA SITUAZIONE È PROBLEMATICAMENTE DAL PUNTO DELLA VULNERABILITÀ SISMICA DELL'EDIFICIO PER EFFETTO DI RISONANZA.

[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.**]

**Max. H/V at  $3.63 \pm 0.22$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

### Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$3.63 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$2175.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 175 times	OK	

### Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	2.406 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	4.375 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$4.48 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.06084  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.22053 < 0.18125$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4163 < 1.58$	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

### Threshold values for $\sigma_f$ and $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	$< 0.2$	$0.2 - 0.5$	$0.5 - 1.0$	$1.0 - 2.0$	$> 2.0$
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

In fede: Massimo Trossero, geologo

