

dott. Fabrizio Gola  
G E O L O G O



---

Regione Piemonte  
Città di Susa  
SCUOLA PRIMARIA  
Corso Couvert n.24

VERIFICA DI VULNERABILITA' SISMICA

INDAGINE GEOFISICA MASW  
E PROVA PENETROMETRICA  
(NTC 2008)

01 Dicembre 2017

il geologo consulente

collaborazione:  
geol. Andrea Scalbi

geol. Fabrizio Gola



## 1. PREMESSA

Lo studio espone i risultati dell'indagine condotta ai sensi del **D.M. 11/03/88** "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno, delle terre e delle opere di fondazione" e del **D.M. 14/01/08** "Norme Tecniche per le Costruzioni", e della **Legge 2/2/1974, n°64**, con particolare riferimento alla circolare del **P.G.R. del 7/3/1989, n°5/GEO/P**, all'**Ordinanza 3274 del P.C.M. del 20 marzo 2003** "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" mirante a verificare le caratteristiche geologico-geotecniche e sismiche del sito identificato in:

**Città di Susa (TO) – corso Couvert n.24**

**SCUOLA PRIMARIA** oggetto di verifica di vulnerabilità sismica su incarico dello Studio Tecnico Associato AS32 di Torino.

Vengono di seguito illustrati i risultati della campagna di indagine geognostica condotta in data 16.11.2017 ai fini di una caratterizzazione geotecnica e sismica del sito consistente in: n.1 prova penetrometrica effettuata con penetrometro dinamico continuo superpesante DPSH tipo PAGANI TG 73/200 KN con massa battente da 73,5 kg e n.1 stendimento geofisico di superficie mediante metodologia MASW per la determinazione del parametro Vs30 (NTC 2008).

## 2. CARATTERIZZAZIONE SISMICA LOCALE

Sulla base della **D.G.R. n. 4-3084 del 12 dicembre 2011** "D.G.R. n. 11-13058 del 19/01/2010. Approvazione delle procedure di controllo e gestione delle attività urbanistico-edilizie ai fini della prevenzione del rischio sismico attuative della nuova classificazione sismica del territorio piemontese" pubblicata sul B.U.R. n°50 del 15/12/11 il territorio comunale di Susa (TO) ricade in **Zona Sismica 3** (zona sismica bassa).

Classificazione sismica	Descrizione	$a_g$ (*)
1	E' la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti	$a_g > 0.25$
2	Nei Comuni inseriti in questa zona possono verificarsi terremoti abbastanza forti	$0.15 < a_g \leq 0.25$
3	I Comuni inseriti in questa zona possono essere soggetti a scuotimenti modesti	$0.05 < a_g \leq 0.15$

Classificazione sismica	Descrizione	$a_g$ (*)
4	E' la zona meno pericolosa	$a_g \leq 0.05$

## 2.1 Indagine geofisica - prova MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)

Il piano di indagini ha previsto la realizzazione di una prova MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) finalizzata ad ottenere la stratigrafia di velocità delle onde trasversali  $V_s$  da cui ricavare il parametro  $V_{s30}$  (velocità media di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità dal piano campagna, parametro di riferimento per la classificazione sismica dei suoli secondo il D.M. 14/01/08): si illustrano nel seguito le metodologie adottate ed i risultati ottenuti.

### 2.1.1 Strumentazione utilizzata e stendimento effettuato

Sismografo multicanale per geofisica a 24 canali; i geofoni utilizzati possiedono una frequenza di risonanza pari 4.5Hz; l'energizzazione è ottenuta con massa battente di 10 Kg su piastra.

### 2.1.2 Risultati dell'indagine MASW

In allegato a fondo testo sono riportati i risultati della prova MASW: è riportata l'immagine di dispersione dell'energia sismica, la curva di dispersione ed i grafici relativi al modello del terreno, sotto forma di stratificazione  $V_s$  (spezzata) e Modulo di Taglio.

Per il calcolo del modulo di taglio è stata usata una formula approssimata per la valutazione della densità, non nota.

La formula utilizzata è la seguente:

$$\text{densità} = 1,5 + V_s/1000$$

Poiché il valore del modulo di taglio  $G$  in MegaPascal si ottiene dalla formula

$$G = V_s \times V_s \times \text{Densità} / 10^3$$

è facile ricalcolare il modulo  $G$  esatto quando si disponesse di valori più precisi di densità.

E' stato tracciato il valore di  $V_s$  progressiva: dalla curva si può quindi ricavare il valore di  $V_{s10}$ ,  $V_{s20}$  e così via, e quindi anche il valore di  $V_{s30}$ , quest'ultimo ovviamente alla profondità 30.

Si allega il sismogramma ed il valore del parametro  $V_{s30}$  calcolato utilizzando la stratigrafia  $V_s$  e la formula

$$V_{s30} = 30 / [(\sum_{i=1, N} h_i / V_i)]$$

dove  $h_i$  e  $V_i$  indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (m/s) dello strato  $i$ -esimo, per un totale di  $N$  strati presenti nei 30 m superiori.

Come illustrato nella tavola a fondo testo, il valore di **Vs30** ottenuto tramite la prova MASW assumendo un piano di fondazione pari a:

**piano fondazione = -2,0 m da p.c.**

Si rileva substrato rigido ( $V_s > 800$  m/s) a profondità inferiore a 20 m;  $V_s$  (medio) = **285 m/s** a partire dal piano campagna.

In riferimento al D.M. 14 Gennaio 2008 "Norme tecniche per le costruzioni", la suddetta stratigrafia e le caratteristiche geotecniche consentono di inquadrare il sedime nell'ambito della categoria di profilo stratigrafico del **suolo di fondazione di tipo 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)".

*Sottosuolo tipo C : valori  $V_{s30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < NSPT_{,30} < 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < c_{u,30} < 250$  kPa nei terreni a grana fina*

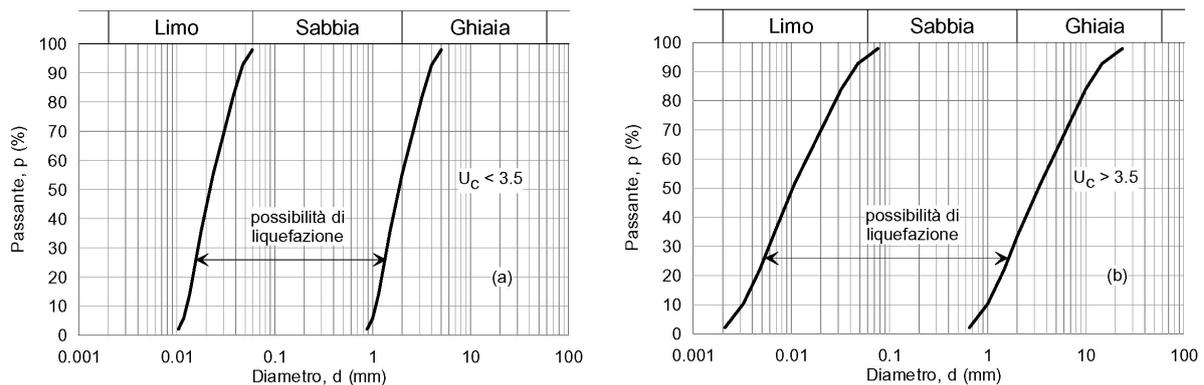
La categoria topografica T1 (pianeggiante) e sottosuolo di categoria E ( $V_{s30}=285$  m/s equivalente a sottosuolo tipo C avente spessore  $<20$  m su substrato rigido con  $V_s > 800$  m/s) i parametri da introdurre nei calcoli - considerando lo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV) - sono i seguenti:

#### caratterizzazione sismica locale

- $a_g$  = accel. orizz. max attesa su sito di riferimento rigido = 0,168 m/s<sup>2</sup>
- $S_s$  = amplificazione stratigrafica = 1,54
- $S_t$  = amplificazione topografica = 1,00
- $a_{max}$  = accelerazione orizzontale massima attesa al sito = 2,533 m/s<sup>2</sup>
- $\beta_s$  = coefficiente di riduzione dell'accelerazione max attesa al sito = 0,240
- $K_h$  = coefficiente per le azioni sismiche orizzontali = 0,062
- $K_v$  = coefficiente per le azioni sismiche verticali = 0,031

## 2.2 Valutazione della verifica a liquefazione

Secondo quanto previsto dall'art. 7.11.3.4.2 delle NTC del D.M. 14 Gennaio 2008, la verifica a liquefazione non risulta necessaria in quanto - con riferimento al punto 5 dell'articolo sopra citato, trattandosi di terreni ghiaioso-sabbiosi, la distribuzione granulometrica del sedime fondazionale risulta esterna alle zone di possibile liquefazione dei terreni indicate nelle figure a) e b) dell'art. 7.11.3.4.2 delle NTC del D.M. 14 Gennaio 2008.



### 3. RAPPORTO GEOTECNICO

#### 3.1 Caratterizzazione geotecnica del sedime

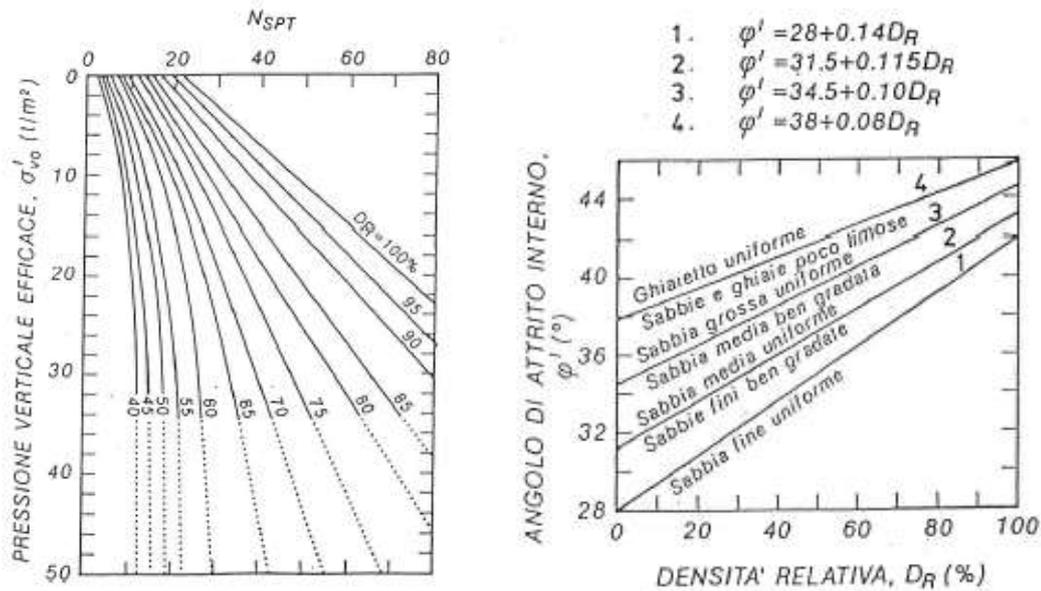
La stratigrafia geotecnica desunta dalle indagini in sito mediante prove penetrometriche dinamiche effettuate con sonda PAGANI avente massa battente 73 kg può essere così riassunta per tutta l'area di intervento:

- da p.c. a -2,5 m: orizzonte superficiale a pezzatura grossolana in matrice abbondante sabbiosa, avente media consistenza geotecnica (valore medio di resistenza penetrometrica rilevata pari a  $\approx 20$  colpi/30 cm).
- oltre -2,5 m: materasso ghiaioso di base caratterizzato da ciottoli abbondanti in scarsa matrice fine sabbiosa-limoso; elevata resistenza penetrometrica progressivamente passante a "rifiuto" (valore medio di resistenza penetrometrica rilevata  $> 40 \div 50$  colpi/30 cm).

La determinazione dei parametri fisici e meccanici dei terreni interessati dalle opere in progetto è stata elaborata sulla base di dati penetrometrici, risalendo dai valori di resistenza  $N_{30}$  (colpi/30cm) misurati ai valori di resistenza  $N_{SPT}$  (valori dello Standard Penetration Test) ed utilizzando poi le correlazioni per questo tipo di prova.

Si è ritenuto corretto definire "una stratigrafia geotecnica" cercando di individuare materiali con comportamento meccanico simile e di utilizzare per essi parametri rappresentativi di una situazione "media" e piuttosto conservativa: per lo strato affiorante fino a -3,5 m la parametrizzazione è stata condotta adottando le correlazioni esistenti in letteratura fra  $N_{SPT}$  e densità relativa ( $D_r$ ) [Gibbs e Holtz, 1957], fra angolo di attrito ( $\phi'$ ) e densità relativa ( $D_r$ ) [Schmertmann, 1977].

Il valore del modulo di Young può essere ricavato indirettamente mediante le correlazioni e gli abachi riassunti da Denver (1982); il coefficiente di Poisson può essere assunto pari a  $\nu = 0,30$ . Infine il peso di volume può essere valutato sulla base delle correlazioni proposte dal NAVFAC (1971), che per terreni di questa granulometria forniscono un valore di  $20 \text{ kN/m}^3$ .



abachi di correlazione N<sub>SPT</sub> e densità relativa (D<sub>R</sub>) e angolo di attrito ( $\phi'$ ) e densità relativa (D<sub>R</sub>)

La correlazione fra il numero di colpi per 30 cm di abbassamento (N<sub>30</sub>) ed il parametro standardizzato S.P.T. (Standard Penetration Test) utilizzato in letteratura geotecnica per ricavare i parametri geotecnici è  $N_{30} / N_{SPT} = 0,57$ .

I parametri geotecnici degli orizzonti sabbiosi e ghiaiosi affioranti al di sotto dello strato di riporto superficiale sono i seguenti:

alla profondità di -2,0m (piano di fondazione) – fondazioni a plinto di lato 2,0 x 2,0 m

$\gamma_n$  = peso di volume naturale = 20 kN/m<sup>3</sup>

$c'$  = coesione efficace = 0,00 kPa

$\phi$  = angolo di resistenza al taglio = 34°

N<sub>SPT</sub> = resistenza penetrometrica ~ 35 colpi/piede (valore medio)

#### 4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

I risultati dell'indagine geologica, geotecnica e sismica possono essere di seguito riassunti:

- Presenza di un orizzonte superficiale affiorante fino a -2,5 m costituito da ghiaia e sabbia avente resistenza penetrometrica media pari a SPT=35 colpi/piede
- Segue un assise di ghiaia grossolana maggiormente addensata e compatta al quale si associa un'elevata resistenza penetrometrica: SPT>50 colpi/piede (rimbalzo e rifiuto alla penetrazione)
- Zona sismica 3
- Tipologia sottosuolo E (determinata mediante stendimento MASW; V<sub>S30</sub>=285 m/s su substrato rigido Vs>800 m/s avente spessore <20 m)

**Si rimanda ai calcoli di capacità portante sulla base delle caratteristiche geotecniche dei terreni affioranti al piano di sedime fondazionale.**

### ALLEGATO RISULTATI MASW



Curva di dispersione

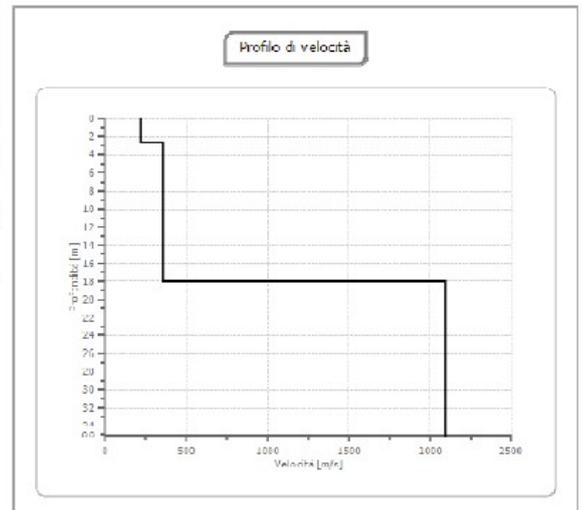
n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	20.7	454.4	1
2	23.8	559.7	2
3	25.1	500.7	2
4	28.7	441.8	2
5	29.7	403.8	1
6	31.7	378.6	1
7	35.3	353.3	1
8	37.1	378.6	2
9	41.5	374.4	2
10	46.6	387.0	2
11	51.4	361.7	2
12	61.7	374.4	2
13	65.8	332.2	1
14	69.3	357.5	2
15	73.9	361.7	2
16	76.0	311.2	1

**Inversione**

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	Limi sabbiosi	2.67	2.67	1800.0	0.3	No	402.7	215.2
2	Ghiaie e sabbie consistenti	18.05	15.38	2000.0	0.3	No	663.1	354.4
3	Substrato lapideo	∞	∞	2500.0	0.25	No	3629.5	2095.5

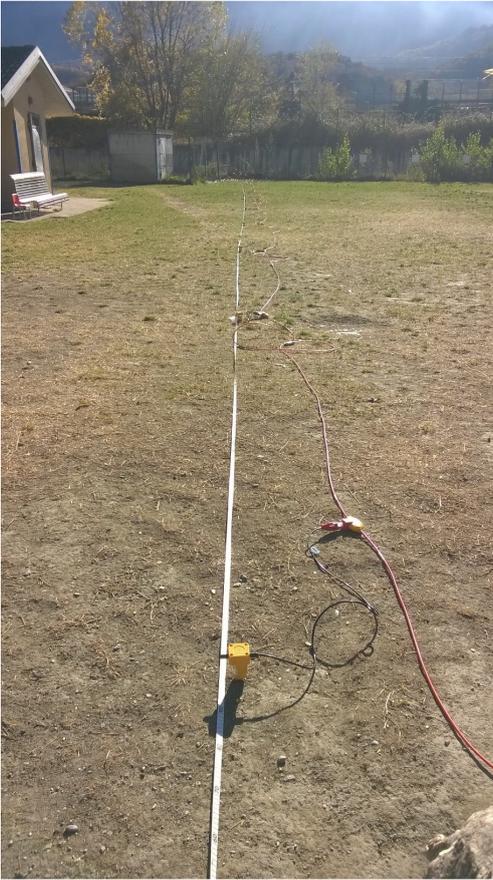
Percentuale di errore 0.087 %

Fattore di disadattamento della soluzione 0.029



( \_\_\_\_\_ stendimento MASW    ★ prova penetrometrica )

## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



stendimento MASW



prova penetrometrica

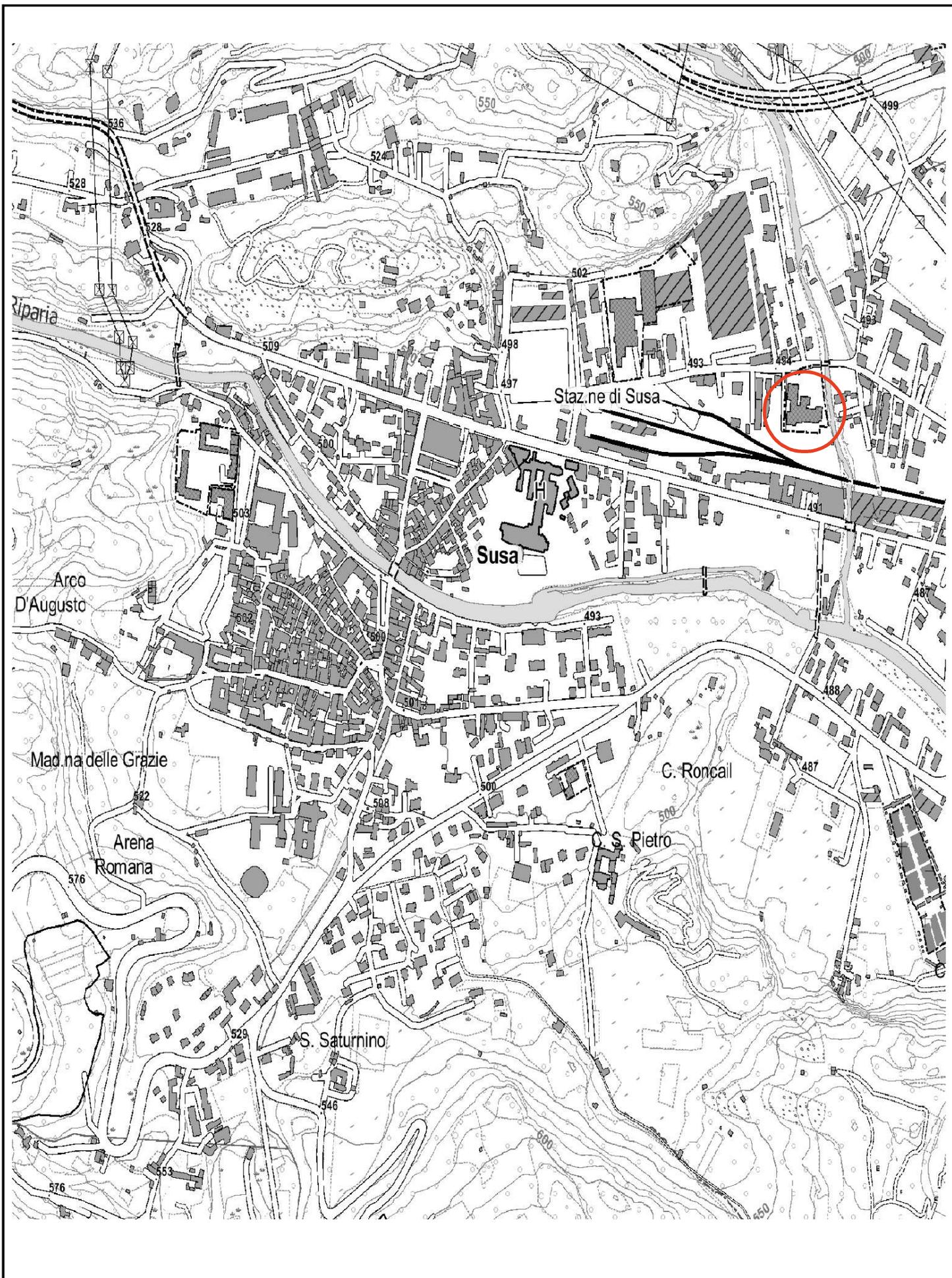
Chieri, 01 Dicembre 2017

il geologo consulente:

geol. Fabrizio Gola  
**GOLA SCALBI**  
GEOLOGICAL GROUP

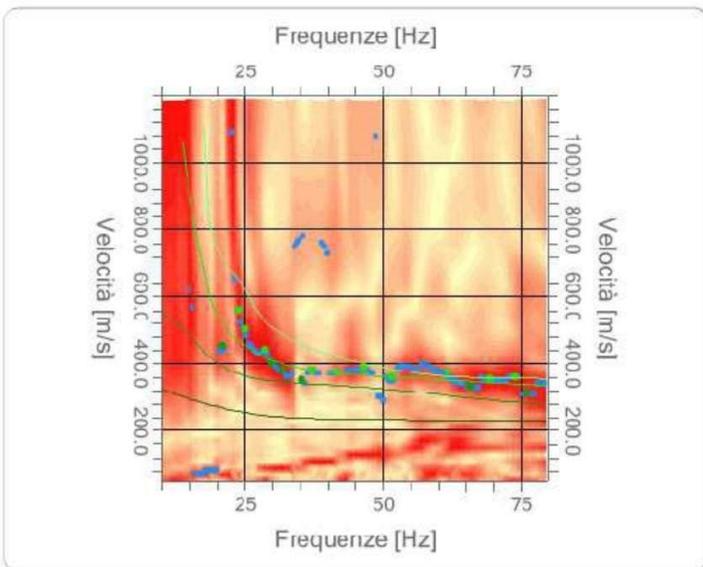


collaborazione:  
geol. Andrea Scalbi

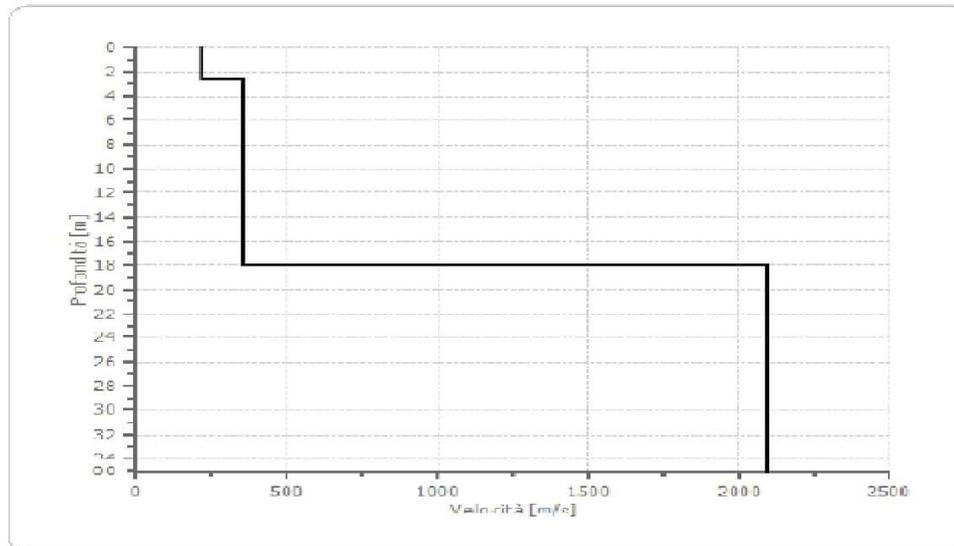


**COROGRAFIA GENERALE** - scala 1:10.000 -  
Estratto da Carta Tecnica Regionale BD TRE - sezione n°154050

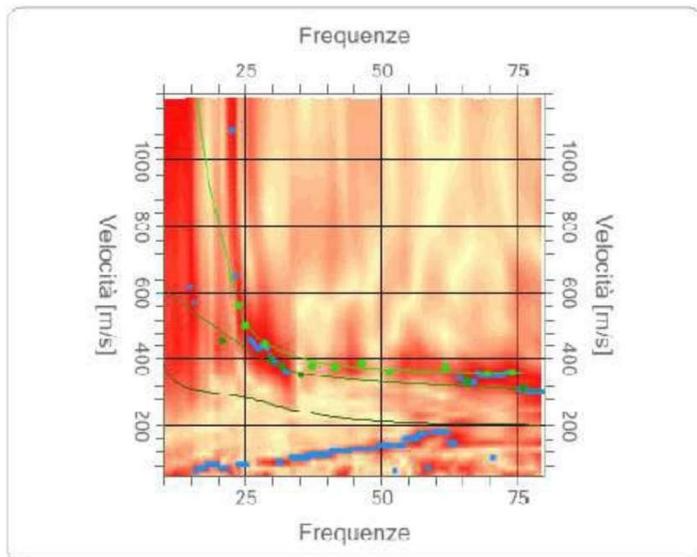
Spettro Velocità di fase - Frequenze



Profilo di velocità



Inversione



**Vs,30 [m/sec]** | 285  
**Categoria del suolo** | E

**Suolo di tipo E:** terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessori non superiori a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con Vs >800 m/s)

<b>PROVA SISMICA MASW</b>
<b>DETERMINAZIONE PARAMETRO Vs,30</b>
<b>Corso Luciano Couvert, 24 - Susa (TO)</b>
<b>Scuola Primaria</b>
<b>Operatori : Geol. Fabrizio Gola - Geol. Andrea Scalbi</b>
<b>Data esecuzione prova: 16/11/2017</b>
dott. Fabrizio Gola G E O L O G O

ricerche geologiche

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA**  
**Penetrometro dinamico pesante DPSH Meardi AGI**

*prova n°:* **DPSH 1**

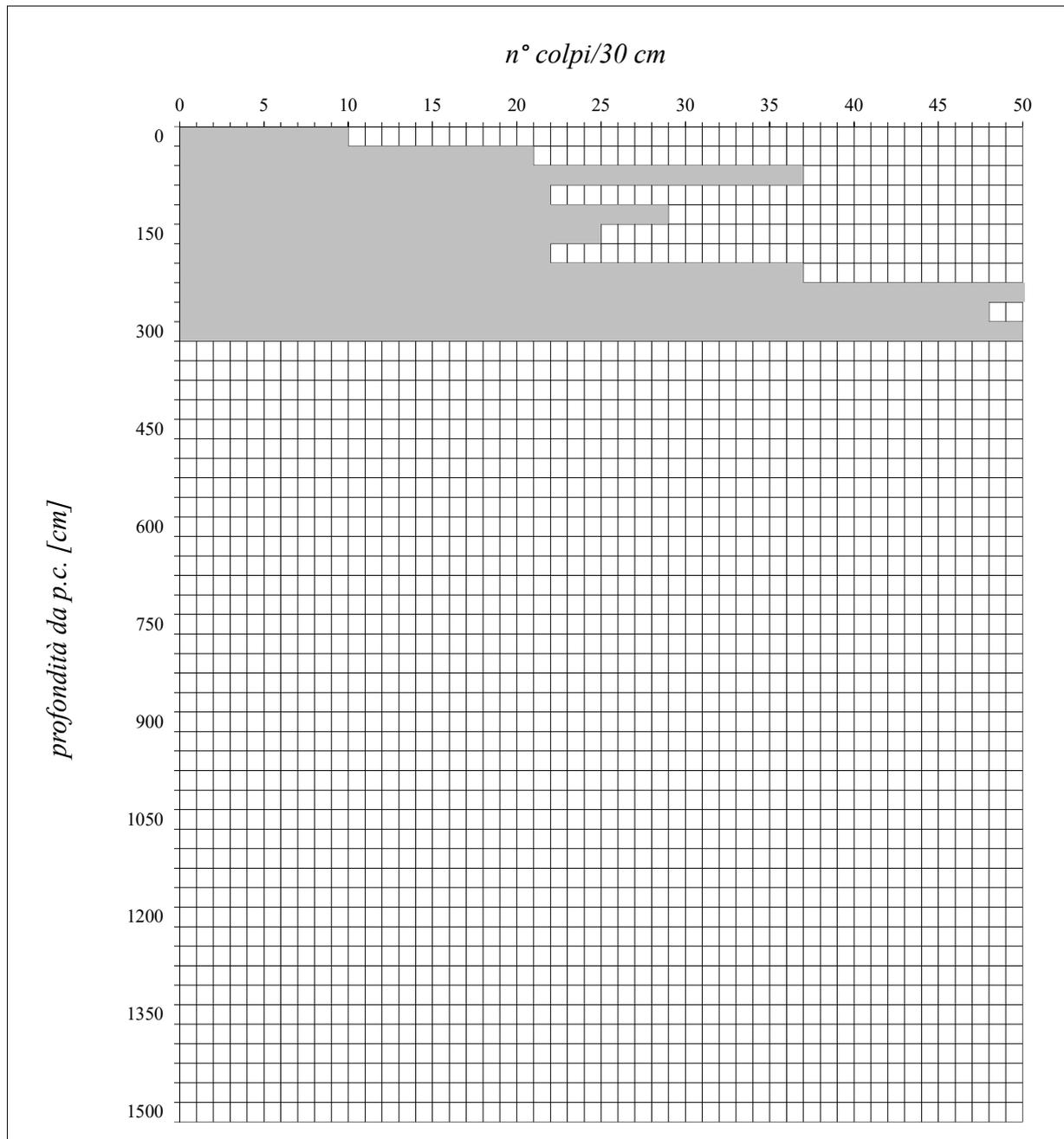
**SCUOLA PRIMARIA**

*località:* **SUSA (TO) - corso Couvert 24**

*falda:* non rilevata

*quota inizio:* piano cortile

*data:* **16/11/2017**



Massa battente [Kg]	altezza di caduta [m]	punta conica diametro di base 51 mm	registrazione num. colpi ogni 0,30 m (N <sub>30</sub> )
73	0.75	angolo di apertura 60°	coeff. teorico di energia N <sub>30</sub> / N <sub>SPT</sub> = 0,57