



## **Allegato 12**

# **Relazione geologica, di caratterizzazione geotecnica e sismica**

REGIONE PIEMONTE  
CITTA' METROPOLITANA DI TORINO

COMUNE DI TORINO

**Riqualificazione edificio scolastico *Enrico Fermi*  
in Piazza Giacomini 24**

**Relazione geologica, di caratterizzazione geotecnica e sismica**

Elaborato	Codice	Rev.	Data
G1		0	02/09/2016
		1	

Il geologo incaricato:  
**Dott. Geol. Michelangelo DI GIOIA**



Il Committente:

**FCA Partecipazioni SpA**

Via Nizza 250 - 10126 Torino

**Dott. Geol. Michelangelo DI GIOIA**  
Via Pietrino Belli, 65 - Torino cell. 335 5898360  
e-mail : michangelodigioia@gmail.com

## 1. PREMessa, RIFERIMENTI NORMATIVI E LOCALIZZAZIONE DEL SITO

Si illustrano i risultati di un'analisi puntuale degli aspetti di natura geomorfologica, litostratigrafica, idrogeologica, sismica e geotecnica relativi al sito sul quale è ubicato l'edificio scolastico "Enrico Fermi" in P.za Giacomini 24 nel Comune di Torino.

L'assetto geologico è stato definito attraverso l'esame dei dati ad oggi disponibili (documentazione geologica di PRGC per l'adeguamento al PAI, documentazione tecnico-scientifica a disposizione dello scrivente, indagini eseguite nelle vicinanze) e soprattutto mediante l'esecuzione di un sondaggio geognostico a carotaggio continuo di profondità 30 m, internamente al cortile del fabbricato.

La categoria di sottosuolo a fini sismici è stata determinata mediante l'esecuzione di una prova sismica MASW. In riferimento alla *D.G.R n. 11-13058 del 19/01/10 "Aggiornamento e adeguamento dell'elenco delle zone sismiche (O.P.C.M. n. 3274/2003 e O.P.C.M. 3519/2006)* il territorio comunale di Torino è inserito in zona sismica 4.

Sono stati altresì definiti i parametri geotecnici del terreno di sottofondo, utilizzando anche i risultati delle prove SPT eseguite nel corso di sondaggio.

Il lavoro è stato svolto nel rispetto di quanto previsto dalle normativa di legge con particolare riferimento al D.M. 14/01/2008 "Norme tecniche per le costruzioni" e successiva circolare esplicativa C.S.LL.PP. n. 617 del 2 febbraio 2009, al punto 6.1.2. delle NTC di cui al D.M.14/01/2008, nel più ampio capitolo 6 "Progettazione geotecnica" viene esplicitato che le scelte progettuali devono tener conto, fra gli altri, dei caratteri geologici del sito e che i risultati dello studio rivolto alla caratterizzazione e modellazione geologica debbono essere esposti in una specifica *Relazione Geologica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione geologica del sito (§ 6.2.1. delle NTC-08 e § C 6.2.1. della Circolare)*, quale relazione specialistica (§ C 10.1 e della Circolare) e quale elaborato integrante ed indispensabile del progetto, in riferimento ad ogni opera pubblica o privata che sia.

La *Relazione Geologica* deve contenere la caratterizzazione e la modellazione geologica del sito consistenti nella ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio. Essa dovrà possedere, dunque, i contenuti minimi necessari alla caratterizzazione dell'opera, del contesto geologico e, pertanto, la fattibilità degli interventi, fornire elementi indispensabili per la loro progettazione e far sempre parte degli elaborati prodotti fin dalle prime fasi dell'iter autorizzativo e della progettazione.

In funzione del tipo di opera o di intervento e della complessità del contesto geologico, la *Relazione Geologica* deve essere comunque supportata da specifiche indagini, su cui basare la costruzione del *MODELLO GEOLOGICO*, che deve essere sviluppato in modo da costituire utile elemento di riferimento per inquadrare i problemi geotecnici di cui si tratterà nella *Relazione Geotecnica sulle Indagini (§ 6.2.2. delle NTC-08 e § C 6.2.2. della Circolare)*.

La *Relazione sulla Modellazione Sismica*, anch'essa quale relazione specialistica, concernente la "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione (§ 3.2 delle NTC-08 e § C 3.2 della Circolare) è parte integrante del progetto.

Il presente studio comprende inoltre la caratterizzazione geotecnica dei terreni di sottofondo.

La localizzazione del sito è visibile sulla foto aerea di **Fig. 1.1.**



**Fig. 1.1 - Localizzazione su foto aerea 3D**

## 2. INQUADRAMENTO DELL'INTERVENTO EDIFICATORIO NEGLI STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE VIGENTI

Nella "carta di sintesi della pericolosità idrogeologica e dell'idoneità all'utilizzazione urbanistica" che riporta una zonizzazione del territorio attraverso la quale viene visualizzata la pericolosità geomorfologica intrinseca dei vari settori comunali, tradotta contestualmente in termini di idoneità all'utilizzazione urbanistica il lotto interessato dall'intervento qui trattato è compreso in un'area inserita in Sottoclasse **I (P)** (Fig. 2.1).

Tale sottoclasse comprende zone di pianura non soggette a pericolo di inondazione né di allagamento. Si tratta dei settori a pericolosità geomorfologica pressoché nulla, per i quali non esistono vincoli geologici, a parte ovviamente il rispetto delle norme vigenti (NTC) nel caso di un intervento edilizio.

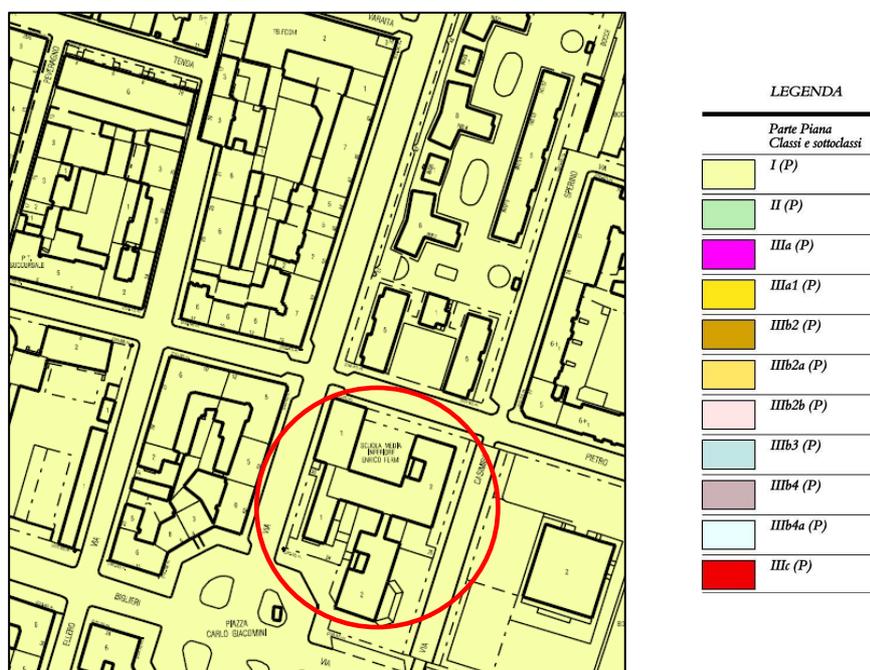


Fig. 2.1 - Estratto dalla carta di sintesi del PRGC

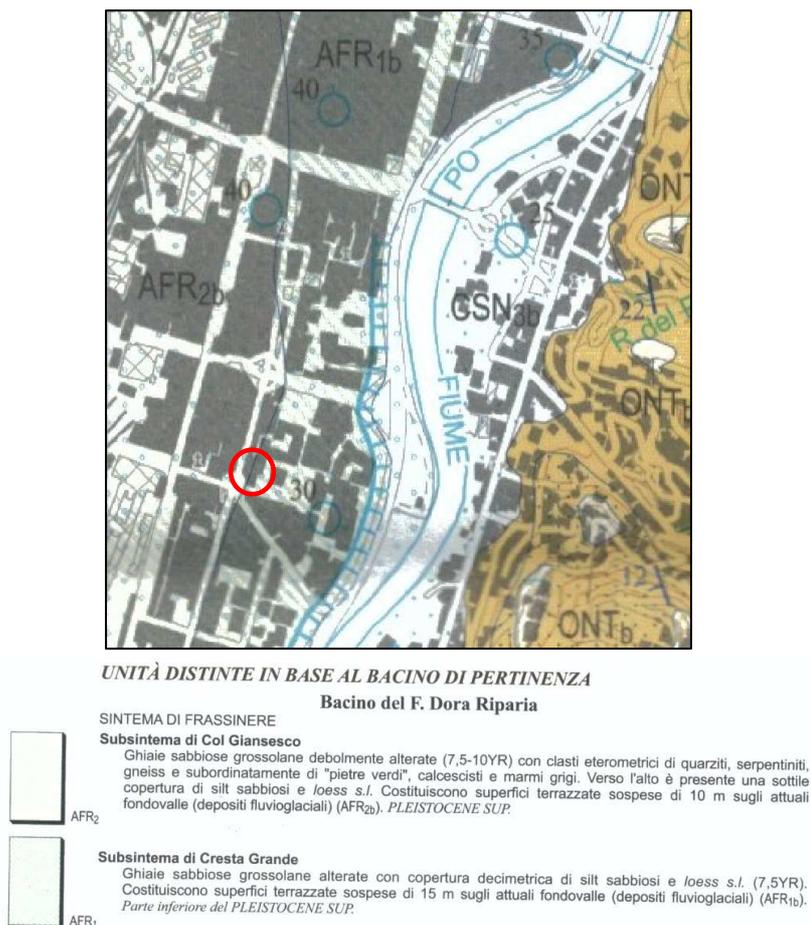
### 3. MODELLO GEOLOGICO

#### 3.1 Inquadramento geologico e geomorfologico

La superficie sulla quale si estende il territorio comunale di Torino è rappresentata, per la gran parte, dai depositi fluvio-glaciali che costituiscono il vasto conoide rissiano del Fiume Dora Riparia, che trae origine attraverso una serie di scaricatori glaciali, dalle morene frontali rissiane dall'Anfiteatro di Rivoli-Avigliana, allo sbocco della Valle di Susa.

A questo apparato si affiancano, in posizione contigua ad Ovest e ad Est, i conoidi del T. Sangone e della Stura di Lanzo, i cui prodotti deposizionali risultano interdigitati con il complesso dei sedimenti depositati dalla Dora Riparia. Complessivamente, questa superficie morfologica costituente il livello terrazzato fondamentale della pianura torinese appare smembrata in lembi più o meno estesi dalle incisioni operate dai tre citati corsi d'acqua durante la loro evoluzione quaternaria.

Il documento geologico di riferimento ufficiale è rappresentato dal Foglio 156 "Torino Est" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (**Fig. 3.1**), nella quale il fabbricato ricade proprio in corrispondenza del limite di separazione fra i depositi denominati AFR<sub>2b</sub> ad Ovest e i depositi denominati AFR<sub>1b</sub> ad Est, verso la scarpata di terrazzo del F. Po. Le descrizioni di tali formazioni sono riportate nella sottostante legenda.



**Fig. 3.1 – Estratto dalla CGI (Foglio CARG 156 "Torino Est")**

Secondo la descrizione si tratta in prevalenza di ghiaie sabbiose grossolane da debolmente alterate ad alterate con sottile copertura di silt sabbiosi e *loess s.l.* (Pleistocene sup.).

Per avere a disposizione un ulteriore dato cartografico si richiama la "*carta geologico-strutturale e geomorfologica dell'area di pianura*" redatta in occasione degli studi per la variante 100 al P.R.G.C., della quale si riporta un estratto comprendente l'area di interesse (**Fig. 3.2**).

La legenda in figura riporta gli elementi significativi.

Si osserva anche in questo caso che il fabbricato oggetto di intervento è attraversato da un limite geologico (indicato come limite interpolato molto incerto) che separa due unità allostratigrafiche: l'*Unità della Cittadella* ad Ovest e l'*Unità di Piazza Castello* a Est, entrambe appartenenti al bacino della Dora Riparia (depositi fluviale e fluvioglaciali - Pleistocene sup.).

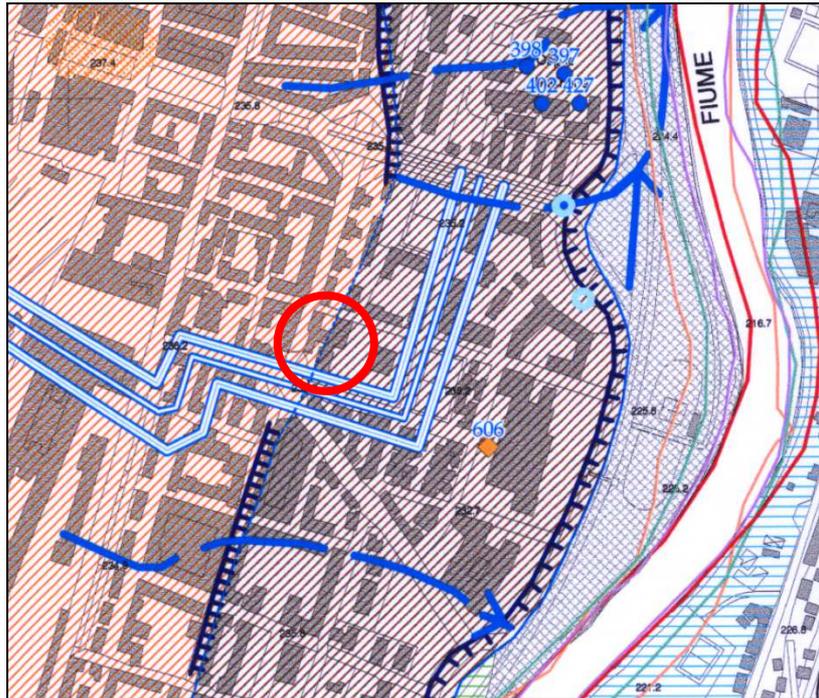
L'andamento del limite geologico incerto unisce due tratti di orlo di scarpata di terrazzo fluviale (orli di erosione più o meno rimodellati artificialmente) di altezza inferiore ai 5 m, presenti rispettivamente a Nord e a Sud.

L'*Unità di Piazza Castello*, denominata in questo modo dall'affioramento aperto nel 1999 sul lato NNE della piazza, ha facies simile a quella delle altre unità; si tratta di depositi fluvioglaciali localmente cementati con copertura di limi sabbiosi ed il suolo che vi si sviluppa presenta un ICM 7.5 YR, considerato indicativo della parte inferiore del Pleistocene sup. (Wurm 1 *Auct.*). Gli affioramenti sono molto scarsi ed incerti ed il passaggio alla successiva Unità della Cittadella è segnato da una appena percettibile diminuzione di pendenza. L'areale di distribuzione corrisponde comunque alla parte distale del conoide fluvioglaciale e si sviluppa tra 252 e 238 m s.l.m.. Il suo rapporto con la successiva Unità della Cittadella è quindi parte di appena accennato terrazzamento e parte invece di giustapposizione. Verso Est è troncata bruscamente da una scarpata con altezza di 5÷7 m, spesso addolcita o in parte mascherata da riporti artificiali (cfr. Valentino), che segna il margine sinistro dell'incisione del Po.

L'*Unità della Cittadella* costituisce la parte più estesa del settore del conoide fluvioglaciale su cui si estende la città di Torino e si sviluppa tra circa 275 e 245 m s.l.m. La litofacies è prevalentemente ghiaioso-sabbiosa con copertura di limi sabbiosi, molto simile a quella dell'unità precedente. I suoli che si sviluppano su questi depositi hanno ICM 10YR 4/4, considerato indicativo della parte superiore del Pleistocene superiore. Dato il relativamente maggior numero di affioramenti in cui è stato possibile osservarla, rispetto alle altre formazioni, si è notata una complessiva riduzione della pezzatura dei clasti di maggiori dimensioni ed un aumento della percentuale di matrice sabbiosa procedendo da monte verso valle. Dai dati di sottosuolo l'unità mostra di costituire un corpo generalmente con modesto spessore.

Il dato stratigrafico più vicino reperito nella Banca Dati Geologica Comunale corrisponde al pozzo n. 606 (vedi Fig. 3.2), in via Zuretti ang. via Biglieri.

La stratigrafia schematica indica "terra e pietre" fino a 11 m, poi ghiaia grigia fino a 13.3 m, "macigno" e conglomerato naturale fino a 21 m, ghiaia grossa grigia fino a 26 m, ghiaia fine gialla fino a 30 m ed infine "tufo bleu" al di sotto (fino a 31.4 m). Il livello statico della falda è indicato a -14.0 m dal p.c..



- reticolato idrografico artificiale (da Hydrodata, 1999):*
-  "bealere" consortili
  -  "bealere" municipali
- scarpate naturali di erosione più o meno rimodelate artificialmente*
-  con altezza < 5 metri
  -  con altezza > 5 metri
-  elementi del reticolato idrografico epigenetico (desunti dalla cartografia storica)
-  ubicazione di originarie sorgenti (da Sacco, 1912;1924)
- SOTTOSUOLO**
-  pozzi/sondaggi (la sigla è quella che li contraddistingue nella banca-dati Allegato 3-15/6)
  -  aree nel cui sottosuolo è stata accertata la presenza di conglomerati
  -  pozzi/sondaggi che hanno certamente incontrato conglomerati
-  limiti certi
  -  limiti interpolati molto incerti
  -  aree con più estesi e potenti riporti artificiali
-  U. PIAZZA CASTELLO
  -  U. CITTADELLA

**Fig. 3.2 - Estratto dalla carta geomorfologica di pianura (var. 100 PRGC)**

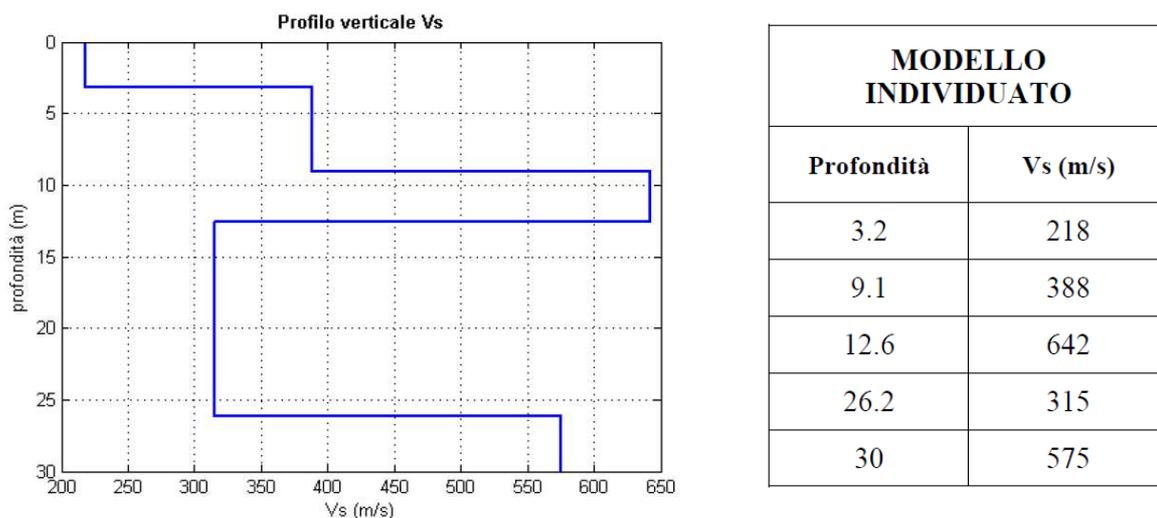
### 3.2 Litostratigrafia di dettaglio

La litostratigrafia di dettaglio in corrispondenza del sito è stata determinata mediante l'esecuzione di n. 1 sondaggio a carotaggio continuo di profondità 30 m, a cura della ditta Citiemme. I risultati di tale indagine costituiscono l'oggetto dell'allegato 1 - Indagini geognostiche.

La stratigrafia rilevata nel corso della perforazione si discosta dall'assetto geologico descritto nei documenti di riferimento, che indicano la presenza pressoché continua in profondità di terreni ghiaioso-sabbiosi: in particolare è stata riscontrata una importante sequenza di terreni prevalentemente fini tra 12.20 e 25.80 m di profondità (spessore 13.60 m), di granulometria da sabbioso-limosa a limoso-argillosa. All'interno della sequenza fine è presente unicamente un orizzonte ghiaioso da 22.60 a 25.10 m di profondità.

Peraltro si tratta di terreni con colorazione a componente rossiccia nella porzione superiore, ben evidente da 14.40 a 17.00 m di profondità, che costituiscono un probabile importante "paleosuolo", ora sepolto, mai rilevato prima dallo scrivente nell'ambito formazionale quaternario della pianura torinese.

Anche il modello sismo-stratigrafico risultante dalla prova MASW (**Fig. 3.3**) evidenzia uno strato a minore velocità delle onde sismiche tra 12.6 e 26.2 m di profondità, in buona analogia con l'indagine diretta (pochi decimetri di differenza).



**Fig. 3.1 - Profilo verticale delle Vs**

Riassumendo il modello geologico può essere così schematizzato:

strato 1 da p.c. a 2.40 m

terreno di riporto ghiaioso-sabbioso a tratti limoso con ciottoli sparsi e subordinati frammenti lateritici, poco addensato

strato 2 da 2.40 m a 12.20 m

ghiaie in abbondante matrice sabbioso-limosa, ciottolose, molto addensate, con livelli debolmente cementati (Nspt = rifiuto; 3 misure)

strato 3 da 12.20 m a 25.80 m

terreni prevalentemente fini da sabbioso-limosi a limoso-argillosi moderatamente consistenti (livello ghiaioso in matrice limosa, alterato, da 22.60 a 25.30 m) (Nspt = 20÷38; valore medio = 28; 5 misure)

strato 4 da 25.80 m a 30.00 m

ghiaie in matrice limoso-sabbiosa sabbioso-limosa, rari ciottoli, ossidate ed alterate, molto addensate (Nspt = 55÷rifiuto; 2 misure).

#### **4. CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE E IDROGEOLOGICHE**

Nell'ambito del lotto non esistono corsi d'acqua.

Per quanto riguarda la quota della superficie piezometrica della falda, il documento relativo alla stratigrafia del pozzo n. 606 (Fig. 3.2) indica una soggiacenza di 14 m.

Il livello di falda rilevato nel corso del sondaggio, pur in assenza di un vero e proprio piezometro, risulta di circa 12 m.

I dati a disposizione confermano che la falda è collocata a profondità significativa (> 10 m) e che non sussistono quindi rischi di interferenza tra falda idrica e fabbricato.

## 5. ASPETTI SISMICI E GEOTECNICI

### 5.1. Parametri sismici

L'amplificazione stratigrafica di  $a_g$  (§ 3.2.3.2.1 NTC-08) dipende dai litotipi presenti in corrispondenza del sito in esame, che devono essere identificati in una delle categorie riportate nella tabella di riferimento.

Tali categorie o classi vengono definite sulla base della determinazione di  $V_{s,30}$  "average shear wave velocity", che è una sorta di velocità equivalente (e non media) di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 metri di sottosuolo.

La categoria di sottosuolo è stata determinata mediante l'esecuzione di una prova sismica MASW a cura della ditta Citiemme (Allegato 1 - Indagini geognostiche).

I risultati dell'indagine sono riassunti nella precedente Fig. 3.1, che mostra l'andamento delle onde sismiche in profondità.

Il valore medio di  **$V_s 30$**  corrisponde esattamente a **352 m/s**.

Il rapporto della Citiemme cita espressamente:

Ai sensi delle NTC/08, per un  $V_{s,30} = 352$  m/s si potrebbe assegnare il terreno alla classe C, tuttavia l'interpretazione rigorosa delle NTC/08 imporrebbe di assegnare il sottosuolo alla classe S2, in quanto non è verificata l'ipotesi di "graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità" richiesta per l'attribuzione della Classe C.

L'attribuzione della categoria sismica è comunque responsabilità del professionista incaricato dello studio di microzonazione sismica in funzione dell'assetto geologico e geomorfologico, della pericolosità sismica di base e di ogni altra informazione in suo possesso: in sede di indagine si fornisce solamente una indicazione preliminare descrittiva del profilo sismico del terreno.

Sulla base del valore di  $V_s 30$  medio risultante dall'indagine, collocato appena al di sotto del limite inferiore della classe B (360 m/s), e considerando che la velocità delle onde sismiche minima rilevata (315 m/s), relativa alla sequenza di terreni fini mediamente consistenti presenti tra 12 e 26 m, è comunque collocata verso il limite superiore del "range" di variazione della classe C (180÷360 m/s), lo scrivente attribuisce il sottosuolo alla **categoria C**, pur non osservando un tipico graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità. In realtà la diminuzione della velocità delle onde sismiche non si correla ad una diminuzione dell'addensamento o consistenza dei terreni, bensì ad una differente composizione granulometrica. I terreni fini si presentano infatti ben addensati e mediamente consistenti, come osservato direttamente nel corso del carotaggio.

L'amplificazione topografica di  $a_g$  (§ 3.2.3.2.1 NTC-08) dipende dalle condizioni topografiche del sito, inquadrato in categorie ed è espressa tramite un coefficiente. Per il sito in esame il coefficiente  $S_t$  risulta pari a 1.0, trattandosi di una superficie pianeggiante.

## 5.2. Modello geotecnico e caratterizzazione geotecnica

Sulla base della stratigrafia rilevata è possibile identificare quattro strati geotecnici.

Il primo strato, costituito da terreni di riporto, non è verosimilmente presente al di sotto delle fondazioni dell'edificio scolastico. La posa di terreni di riporto è correlata al riempimento dei vari volumi di scavo lateralmente all'edificio e alla sistemazione finale delle aree esterne. Ai fini geotecnici non si caratterizza pertanto tale strato, con parametri geotecnici variabili e comunque non rilevante ai fini dell'adeguamento sismico del fabbricato.

Sono state eseguite 10 prove SPT nel foro di sondaggio che hanno fornito i seguenti valori:

<b>prof. (m)</b>	<b>N<sub>spt</sub></b>	<b>strato</b>
3.00÷3.20	<b>Rif.</b>	2 (ghiaie)
6.00÷6.22	<b>Rif.</b>	2 (ghiaie)
9.00÷9.10	<b>Rif.</b>	2 (ghiaie)
12.00÷12.45	<b>32</b>	3 (limi e sabbie)
15.00÷15.45	<b>28</b>	3 (limi e sabbie)
18.00÷18.45	<b>21</b>	3 (limi e sabbie)
21.00÷21.45	<b>20</b>	3 (limi e sabbie)
24.00÷24.45	<b>38</b>	3 (limi e sabbie)
27.00÷27.45	<b>55</b>	4 (ghiaie)
30.00÷30.20	<b>Rif.</b>	4 (ghiaie)

Come si osserva i terreni ghiaiosi (strati 2 e 4) hanno quasi sempre determinato rifiuto alla penetrazione della punta, dato che si correla ad un ottimo addensamento degli stessi.

In corrispondenza dello strato 3 costituito da prevalenti terreni fini i valori di N<sub>spt</sub> sono comunque abbastanza elevati (20÷38), indicando pertanto una buona consistenza degli stessi, rilevata anche all'atto di estrazione delle carote dalle aste di perforazione.

Sulla base dei valori di N<sub>spt</sub>, utilizzando le più note correlazioni di letteratura con criterio cautelativo sono stati stimati i valori deterministici dei vari strati geotecnici.

Dopo aver ricavato il valore deterministico dei parametri geotecnici, il D.M. 14 gennaio 2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni", basato sull'analisi semiprobabilistica, impone di ricavare il valore caratteristico, definito come "stima ragionata e cautelativa del valore del parametro nello stato limite considerato".

Per quanto riguarda i parametri di resistenza al taglio è stata effettuata una riduzione del valore deterministico del 5% (circa) e del 10% relativamente al modulo elastico; tali percentuali esprimono in modo attendibile la variabilità relativa ai citati parametri. La maggiore percentuale di riduzione applicata al modulo elastico è dovuta alla maggiore variabilità di detto parametro.

### **Caratterizzazione geotecnica strati (parametri caratteristici):**

#### strato 1 da p.c. a 2.40 m

- *descrizione*: terreno di riporto ghiaioso-sabbioso a tratti limoso con ciottoli sparsi e subordinati frammenti lateritici, poco addensato
- *angolo di resistenza al taglio* :
- *coesione* :
- *peso di volume* : 19 kN/m<sup>3</sup>
- *modulo elastico* :

#### strato 2 da 2.40 m a 12.20 m

- *descrizione*: ghiaie in abbondante matrice sabbioso-limosa, ciottolose, molto addensate, con livelli debolmente cementati (Nspt = rifiuto)
- *angolo di resistenza al taglio* : 35°
- *coesione* : 0 kPa
- *peso di volume* : 21 kN/m<sup>3</sup>
- *modulo elastico* : 45000 kPa (450 daN/cm<sup>2</sup>)

#### strato 3 da 12.20 m a 25.80 m

- *descrizione*: terreni prevalentemente fini da sabbioso-limosi a limoso-argillosi moderatamente consistenti (livello ghiaioso in matrice limosa, alterato, da 22.60 a 25.30 m) (Nspt = 20÷38; valore medio = 28)
- *angolo di resistenza al taglio medio* : 26°
- *coesione* : 0÷5 kPa
- *peso di volume* : 20 kN/m<sup>3</sup>
- *modulo elastico* : 7000÷15000 kPa (70÷150 daN/cm<sup>2</sup>)

#### strato 4 da 25.80 m a 30.00 m

- *descrizione* ghiaie in matrice limoso-sabbiosa sabbioso-limosa, rari ciottoli, ossidate ed alterate, molto addensate (Nspt = 55÷rifiuto)
- *angolo di resistenza al taglio*: 35°
- *coesione* : 0 kPa
- *peso di volume* : 21 kN/m<sup>3</sup>
- *modulo elastico* : 45000 kPa (450 daN/cm<sup>2</sup>)

## 6. NOTE DI SINTESI

In conclusione si è stabilito che:

- il fabbricato ricade in un ambito pianeggiante privo di pericolosità geomorfologica. E' compreso infatti nella Sottoclasse **I (P)** che comprende zone di pianura non soggette a pericolo di inondazione né di allagamento. Si tratta dei settori a pericolosità geomorfologica pressoché nulla, per i quali non esistono vincoli geologici;
- i terreni rilevati a seguito del sondaggio geognostico sono così schematizzabili (modello geologico) :

strato 1 da p.c. a 2.40 m

terreno di riporto ghiaioso-sabbioso a tratti limoso con ciottoli sparsi e subordinati frammenti lateritici, poco addensato

strato 2 da 2.40 m a 12.20 m

ghiaie in abbondante matrice sabbioso-limosa, ciottolose, molto addensate, con livelli debolmente cementati (Nspt = rifiuto)

strato 3 da 12.20 m a 25.80 m

terreni prevalentemente fini da sabbioso-limosi a limoso-argillosi moderatamente consistenti (livello ghiaioso in matrice limosa, alterato, da 22.60 a 25.30 m) (Nspt = 20÷38; valore medio = 28)

strato 4 da 25.80 m a 30.00 m

ghiaie in matrice limoso-sabbiosa sabbioso-limosa, rari ciottoli, ossidate ed alterate, molto addensate (Nspt = 55÷rifiuto).

Lo strato 1 (terreni di riporto) non è verosimilmente presente al di sotto delle fondazioni dell'edificio scolastico, ma solo lateralmente ad esso;

- la falda idrica si colloca a profondità elevata, maggiore di 10 m, e pertanto non esistono interazioni tra essa e il fabbricato oggetto di intervento;
- la prova sismica MASW ha consentito di rilevare la Vs 30 del sottosuolo, corrispondente a 352 m/s. Sulla base di tale valore il sottosuolo è stato classificato in categoria C;
- nel paragrafo 5.2 sono stati definiti i parametri geotecnici caratteristici dei terreni di sottofondo delle fondazioni.

**Dott. Geol. Michelangelo DI GIOIA**  
N. 145 Ordine dei Geologi del Piemonte

*Michelangelo Di Gioia*



# **ALLEGATO 1**

## **INDAGINI GEOGNOSTICHE**

**(sondaggio a carotaggio S1 - prova sismica MASW)**

# REGIONE PIEMONTE CITTA' METROPOLITANA DI TORINO

## INDAGINE GEOGNOSTICA PER IL PROGETTO DI RISTRUTTURAZIONE/ADEGUAMENTO EDIFICIO SCOLASTICO SCUOLA MEDIA "E. FERMI"



### RAPPORTO CERTIFICATIVO DELLE INDAGINI

**CODICE ELABORATO**

16001-10/ IG-gf

**COMMITTENTE**

Dr. Geologo Michelangelo Di Gioia

c/o FCA  
Via Nizza, 250 - Torino



COMPAGNIA TORINESE MONITORAGGI Srl



Decreto di autorizzazione  
n. 4965 del 04/06/2010  
per esecuzione e certificazione di  
indagini geognostiche e prove in sito  
ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n. 380/01

Accettazione n.16001-10 del 25/02/2016

*Dr. A. Cantù*  
Dr. A. Cantù

*Dr. A. Cantù*  
Dr. A. Cantù



Dr. *Giorgio Sola*

AGOSTO 2016

Lo Sperimentatore

Lo Sperimentatore

Il Direttore del Laboratorio

**DATA EDIZIONE**

**REDATTO**

**CONTROLLATO**

**VALIDATO**



REGIONE PIEMONTE  
CITTA' METROPOLITANA DI TORINO

INDAGINI GEOGNOSTICHE PER INTERVENTO DI  
RISTRUTTURAZIONE/ADEGUAMENTO EDIFICIO SCOLASTICO  
SCUOLA MEDIA STATALE "E. FERMI"

*Rapporto certificativo delle indagini geognostiche*

---

Agosto 2016

---

#### INDICE CERTIFICATI

16001-10/01 Rilievo stratigrafico di perforazione S1 .....	
16001-10/02 Prove penetrometriche dinamiche SPT sondaggio S1 .....	

## INDAGINI GEOGNOSTICHE

**Committente:** Dr. Geologo Michelangelo Di Gioia c/o FCA

**Commessa:** I6001-10

**Cantiere:** Torino – Piazza Giacomini, 24 – Scuola Media Statale “E. Fermi”

Tra il 03/08/2016 e il 04/08/2016 è stato realizzato n. 1 sondaggio a carotaggio continuo in Comune di Torino (Vedi corografia e Tav.01).

In particolare, si tratta del sondaggio:

- S1: profondo 30 m.

La terebrazione è stata eseguita impiegando una sonda COMACCHIO MC T450P montata su autocarro gommato Unimog, di cui nella tabella allegata a seguire ne vengono presentate le principali caratteristiche.



*Particolare fotografico della sonda utilizzata*



<b>SONDA PERFORATRICE IDRAULICA</b>		
Modello: <b>COMACCHIO – MC T450 P su autocarro Unimog – U2150</b>		
Coppia max.	kgm	1100
Velocità di rotazione	rpm	20÷550
Spinta	kg	4500
Tiro	kg	6500
Velocità rapida risalita	m/min	22
Velocità rapida discesa (min.-max.)	m/min	32
Tiro max. argano	kg	2000
Motore JOHN DEERE	KW	86
	C.C.	4500
	C.V.	115
<i>Dimensioni</i>		
<i>Lunghezza</i>	m	7.65
<i>Larghezza</i>	m	2.45
<i>Altezza (in movimento)</i>	m	3.50
<i>Altezza (in fase lavorativa)</i>	m	7.70
<i>Peso</i>	kg	12100
<b>Pompa a pistoncini Triplex 200 per fanghi</b>		
Portata max.	l/min	200
Pressione max. esercizio	bar	45

## METODOLOGIA DI PERFORAZIONE

### Carotaggio continuo

La perforazione del sondaggio è stata condotta con rotazione a carotaggio continuo del terreno attraversato utilizzando carotieri semplici di diametro 101 mm e 131 mm, tali da rendere minimo il disturbo dei materiali attraversati e da consentire il prelievo dei campioni rappresentativi (carote). La perforazione di carotaggio per il recupero dei campioni realizzata con carotiere semplice, è stata eseguita, compatibilmente con la natura dei terreni attraversati, senza l'uso di fluido di circolazione (carotaggio a secco).

## RIVESTIMENTO

La natura del terreno e la finalità dell'intervento hanno determinato la necessità di rivestire i fori per il sostegno delle pareti: a tal scopo sono stati impiegati rivestimenti provvisori consistenti in tubi di acciaio speciale filettati, della lunghezza di 1.5 m e del diametro di 152 mm e 127 mm alla profondità indicata in stratigrafia.

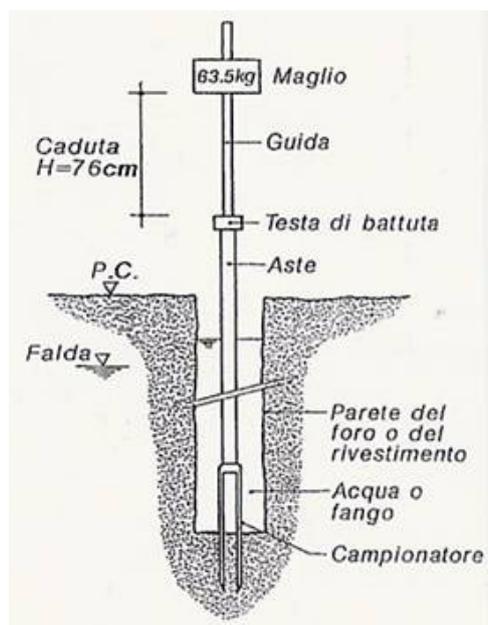
Durante le operazioni di posa del rivestimento provvisorio si è reso necessario l'impiego di fluidi di perforazione per il raffreddamento del tagliente (scarpa) e l'asportazione del detrito: a tale scopo si è impiegata circolazione diretta di acqua chiara.

### PROVE S.P.T.

Nel foro di sondaggio sono state eseguite n. 10 prove S.P.T. ("Standard Penetration Test"), alle profondità indicate in stratigrafia.

La prova è di tipo discontinuo e viene eseguita nel corso della perforazione a carotaggio continuo, interrompendo l'avanzamento del sondaggio a intervalli regolari o prestabiliti; essa consente di ottenere dati sulla consistenza e sul grado di addensamento dei terreni attraversati.

Le prove S.P.T. si effettuano tramite l'infissione, a partire dal fondo foro raggiunto, di un campionatore a parete grossa tipo Raymond (diam. 51 mm, lunghezza utile 562 mm), collegato alla sonda da una batteria di aste di dimensioni standardizzate (diam. 51 mm, peso 7.5 kg/m), per mezzo di un'apparecchiatura a percussione del peso standard di 63.5 kg con sganciamento automatico del maglio (Trip Monkey tipo Pilcon) dall'altezza prefissata di 760 mm. Il dispositivo di sollevamento è fornito dall'argano oleodinamico della sonda perforatrice.



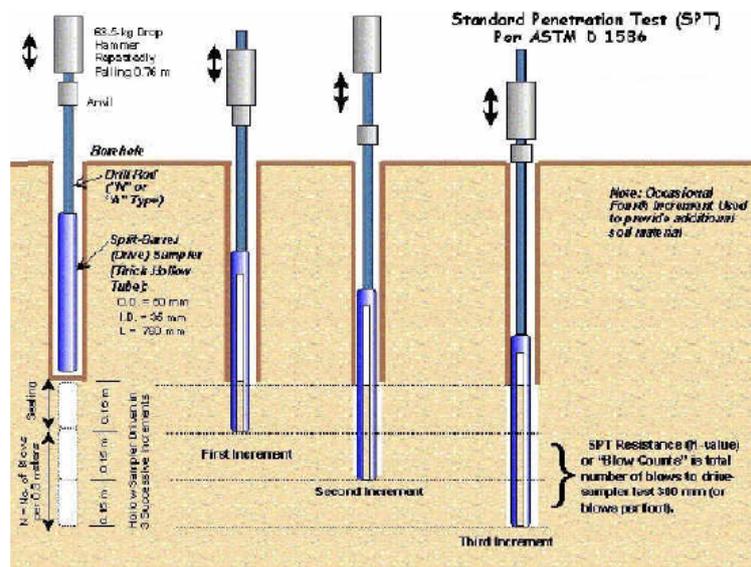
Il campionatore viene fatto penetrare nel terreno per una profondità di 45 cm, a partire dalla quota di fondo foro (eventualmente ripulito tramite apposita manovra), rilevando il numero di colpi (N) necessari per la penetrazione di ciascun intervallo di 15 cm. Il valore di NSPT è ottenuto sommando i colpi necessari per il 2° e 3° tratto.

La prova viene sospesa ogni qualvolta il numero di colpi N, per un tratto di 15 cm, supera il valore di 50, annotando in tal caso il rifiuto alla penetrazione e registrando l'infissione in centimetri ottenuta con 50 colpi.

Nei casi in cui non vi è pericolo di repentino collasso del foro, la prova viene eseguita immediatamente dopo la manovra di carotaggio e prima della manovra di rivestimento, per evitare disturbi al terreno, previa verifica della quota del fondo foro.

Per l'esecuzione delle prove SPT si è utilizzato il campionatore Raymond corredato di una scarpa troncoconica a punta aperta o chiusa a seconda della granulometria riscontrata.

Per l'esecuzione della prova si veda lo schema a seguire:



≈

In allegato vengono forniti il certificato stratigrafico del sondaggio geognostico, il certificato delle prove eseguite e le fotografie delle carote prelevate.

*Torino –Piazza Giacomini - Scuola “E. Fermi”*  
*Corografia di inquadramento delle indagini*



*Torino –Piazza Giacomini - Scuola “E. Fermi”*

*Tav. 01 – Ubicazione sondaggi*



---

# CERTIFICATI

---



Decreto di autorizzazione n. 4965 del 04/06/2010 per esecuzione e certificazione di indagini geognostiche e prove in sito ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n. 380/01

Mod. 7.5.4 rev. 00

# RILIEVO STRATIGRAFICO DI PERFORAZIONE

UNI EN ISO 22475-1:2007  
UNI EN ISO 14688-1:2003 e 14689-1:2004

SONDAGGIO

S1

Committente Dr. Geologo Michelangelo Di Gioia c/o FCA

Cantiere Intervento di ristrutturazione/adequamento edificio scolastico.

Località Torino - Piazza Giacomini n° 24 - Scuola Media Statale "E. Fermi".

Commessa n. 16001-10

Pagina 1 di 1

Perforazione inizio: 03/08/2016 fine: 04/08/2016 Sonda: Com. MCT450P Unimog

Lo Sperimentatore  
Dr. A. Cantù

Il Direttore del Laboratorio  
Dr. Geol. Giorgio Sola

Coordinate: N= 45°2'3.90"

E= 7°40'16.40"

Scala 1 : 100

Accettazione n. 16001-10

Certificato n. 16001-10/01

del 04/08/2016

*Dr. A. Cantù*

*Dr. Geol. Giorgio Sola*

profondità dal p.c. [m]	potenza dello strato [m]	sezione stratigrafica	descrizione litologica	falda	metodo e diam. di perforazione	diametro rivestimenti	percentuale di carotaggio	piezometro tubo aperto	inclinometro	S.P.T.	pocket penetrometer	pocket vane test	campioni indisturbati	campioni rimaneggiati	permeabilità [m/s]
0.00	2.40		Terreno di riporto ghiaioso-sabbioso a tratti limoso con ciottoli sparsi e subordinati frammenti lateritici.		carotaggio continuo 131mm semplice										
2.40	0.60		Ghiaia eterometrica in matrice limoso-debolmente sabbiosa fine con rari ciottoli, moderatamente addensata, colore nocciola-brunastro.							3.00 26-R (5cm)					
3.00	9.20		Ghiaia eterometrica in abbondante e/o prevalente matrice fine sabbioso-siltosa, ciottolosa (diam max 8-10 cm), molto addensata con livelli debolmente cementati, colore grigio.			152 mm				6.00 30-R (7cm)					
12.20	1.10		Sabbia medio-fine debolmente limosa, moderatamente addensata, colore nocciola-brunastro.	12.00						9.00 R (10cm)					
13.30	1.10		Limo argilloso, moderatamente consistente, colore bruno.							12.00 27-15-17					
14.40	1.20		Limo sabbioso fine a tratti argilloso, intensa ossidazione, moderatamente consistente, colore da bruno rossiccio a bruno scuro rossiccio.				90-100 %			15.00 12-13-15					
15.60	0.80		Sabbia fine limosa ossidata, moderatamente consistente, colore bruno rossiccio.							18.00 10-8-13					
16.40	0.60		Sabbia molto fine limosa e/o limo sabbioso, moderatamente consistente, colore bruno rossiccio.							21.00 13-10-10					
17.00	3.10		Sabbia prevalentemente medio-fine debolmente limosa, intensa ossidazione, moderatamente addensata, colore bruno-nocciola.		carotaggio continuo 101 mm semplice					24.00 18-21-17					
20.10	0.60		Limo sabbioso fine con intercalati livelletti sabbiosi, da intensa a discreta ossidazione, moderatamente consistente, colore da bruno-nocciola a nocciola.							27.00 23-20-35					
20.70	0.30		Limo sabbioso fine, moderatamente consistente, colore nocciola.			127 mm									
21.00	1.00		Limo sabbioso fine talora debolmente argilloso a tratti debolmente organico, moderatamente consistente, colore grigio scuro.												
22.00	0.60		Limo sabbioso fine passante a sabbia fine debolmente argillosa a fondo strato, debole ossidazione, moderatamente consistente, colore da nocciola a grigiastro.												
22.60	2.50		Ghiaia eterometrica in matrice limoso-debolmente sabbioso-argillosa, intensa ossidazione ed alterazione dei clasti, da moderatamente addensata ad addensata, colore bruno-nocciola con screziature ocracee d'ossidazione.												
25.10	0.70		Sabbia medio-fine limosa, addensata, colore grigio.												
25.80	4.20		Ghiaia eterometrica in matrice limoso-sabbiosa a livelli prevalente, rari ciottoli, intensa ossidazione ed alterazione, molto addensata, colore nocciola brunastro con screziature ocracee d'ossidazione.												
30.00										30.00 35-R (5cm)					

Deposito cassette : magazzino scolastico  
Il foro di sondaggio è stato ritombato al termine della perforazione.

 <p>COMPAGNIA TORINESE MONITORAGGI</p> <p>Decreto di autorizzazione n. 4965 del 04/06/2010 per esecuzione e certificazione di indagini geognostiche e prove in sito ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n. 380/01</p>	<b>PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE</b> <b>SPT (UNI EN ISO 22476-3:2012)</b>	<b>SONDAGGIO</b> <b>n.</b> <b>S1</b>	
	Mod. 7.5.13 rev. 01	Committente: <u>Dr. Geologo Michelangelo Di Gioia c/o FCA</u>	Eseguito il 03-04/08/2016
	Cantiere: <u>Intervento di ristrutturazione/adeguamento edificio scolastico</u>	Località: <u>Torino – P.zza Giacomini 24 – Scuola Media Statale “E. Fermi”</u>	
	Coordinate: <u>N=45°2'3.90"      E=7°40'16.40"</u>	Accettazione n. 16001-10 - Certificato n. 16001-10/02 del 04/08/2016 - Commessa n. 16001-10	

Prova n.	inizio prova prof. [m] da p.c.	N° colpi			note
		15 cm	30 cm	45 cm	
1	3.00	26	Rif.		Rifiuto dopo 5 cm di penetrazione
2	6.00	30	Rif.		Rifiuto dopo 7 cm di penetrazione
3	9.00	Rif.			Rifiuto dopo 10 cm di penetrazione
4	12.00	27	15	17	
5	15.00	12	13	15	
6	18.00	10	8	13	
7	21.00	13	10	10	
8	24.00	18	21	17	
9	27.00	23	20	35	
10	30.00	35	Rif.		Rifiuto dopo 5 cm di penetrazione
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					

**NOTE E OSSERVAZIONI:**

Lo Sperimentatore  
Dr. A. Cantù



Il Direttore del Laboratorio  
Dr. Geol. Giorgio Sola



---

# FOTOGRAFIE CASSETTE

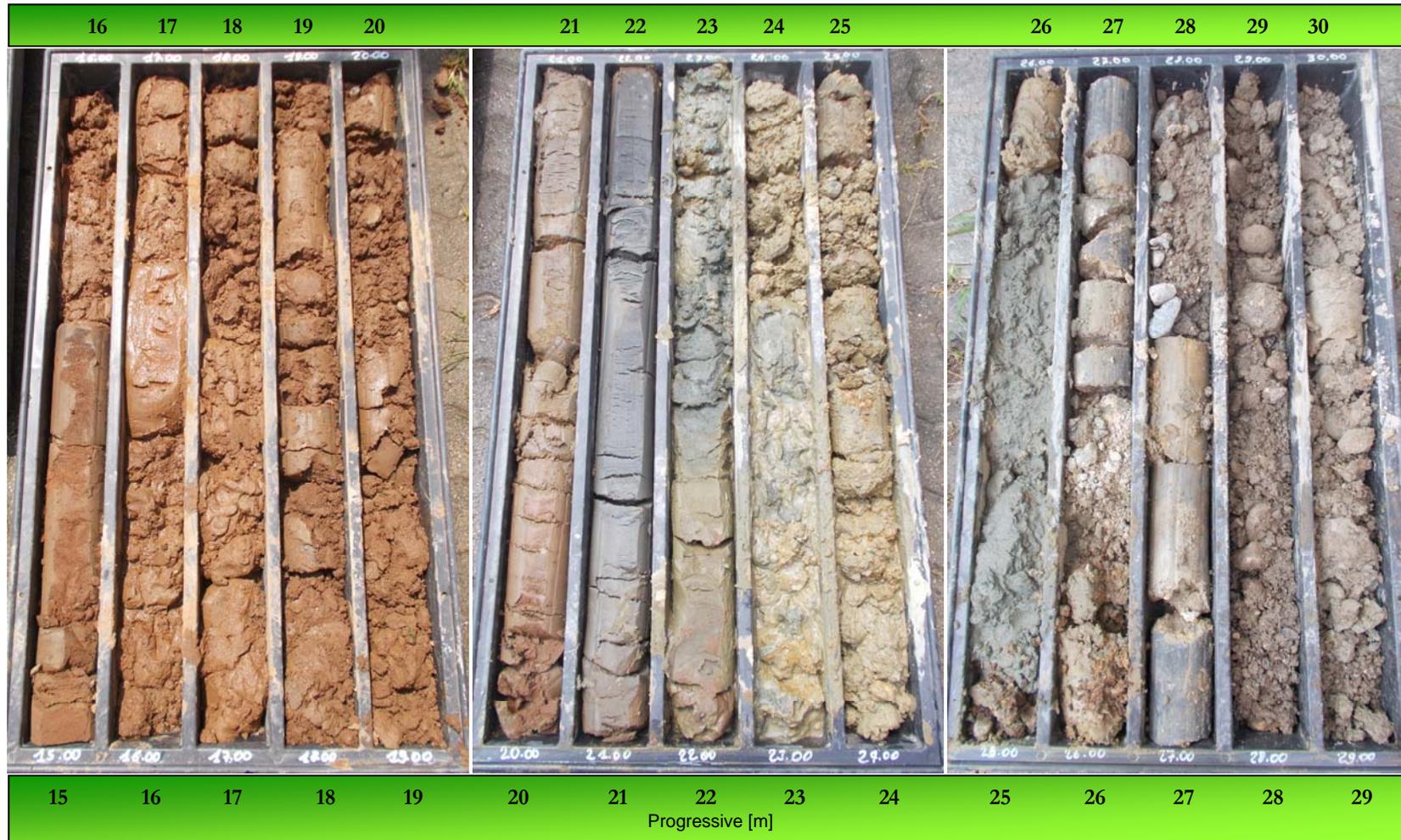
---

*Torino – Scula Media “E. Fermi” - Sondaggio SI (L = 30.00 m)*



Cassette 1-3 da 0.00 m a 15.00 m da p.c.

Torino – Scula Media “E. Fermi” - Sondaggio SI (L = 30.00 m)



Cassette 4-6 da 15.00 m a 30.00 m da p.c.

REGIONE PIEMONTE  
CITTA' METROPOLITANA DI TORINO

**INDAGINE GEOGNOSTICA PER INTERVENTO DI  
RISTRUTTURAZIONE/ADEGUAMENTO EDIFICIO SCOLASTICO  
SCUOLA MEDIA STATALE "E. FERMI"**

INDAGINE GEOFISICA CON METODOLOGIA MASW



RAPPORTO INTERPRETATIVO DELL'INDAGINE

**CODICE ELABORATO**

16001-10/GF-ig

**COMMITTENTE**

Dr. Geologo Michelangelo Di Gioia

c/o FCA  
Via Nizza, 250 - Torino



2					
1					
0	AGOSTO 2016	Edizione	Dott. M. Lavezzo	Dott. G. Sola	Dott. G. Sola
REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO



REGIONE PIEMONTE  
CITTA' METROPOLITANA DI TORINO

Indagine geognostica  
per intervento di ristrutturazione/adeguamento edificio scolastico  
Scuola Media Statale "E. Fermi"

INDAGINE GEOFISICA CON METODOLOGIA MASW

*Rapporto interpretativo dell'indagine*

*Agosto 2016*

---

**SOMMARIO**

---

1	PREMESSA .....	2
2	METODOLOGIE DI INDAGINE .....	3
2.1	Principi di base .....	3
2.2	Descrizione del metodo .....	4
3	PARAMETRO $V_{S30}$ .....	7
3.1	Stima del parametro $V_{S30}$ .....	7
3.2	Classificazione dei terreni secondo la Normativa Italiana.....	8
4	STRUMENTAZIONE.....	9
4.1	Sismografo.....	9
4.2	Ricevitori .....	10
4.3	Sorgente di energizzazione.....	10
5	MODALITA' DI ACQUISIZIONE .....	11
6	FINALITA' .....	11
7	ANALISI DEI DATI E CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	12

**ALLEGATI**

*Risultati indagine MASW (Tav. M-01)*



## **1 PREMESSA**

*In data 04/08/2016 è stata eseguita un'indagine geofisica sismica di tipo MASW composta da uno stendimento di geofoni verticali nel concentrico metropolitano di Torino, presso la Scuola Media Statale "E. Fermi" di Piazza Giacomini n. 24, per il progetto di ristrutturazione/adeguamento dell'edificio scolastico stesso.*

*Lo stendimento tipo è costituito da 24 geofoni verticali.*

*L'indagine è stata finalizzata a ricavare il parametro rappresentativo  $V_{s30}$  per la caratterizzazione sismica del terreno indagato, secondo quanto disposto dalla normativa tecnica vigente.*

*Di seguito vengono fornite la documentazione relativa alla metodologia di indagine adottata, i risultati dell'indagine e la relativa documentazione fotografica.*



## 2 METODOLOGIE DI INDAGINE

### 2.1 Principi di base

Le indagini sismiche si basano sulla misura della velocità di propagazione delle onde elastiche in rocce e terreni. Le onde elastiche vengono create artificialmente per mezzo di esplosioni controllate o di altre tipologie di sorgenti e la loro propagazione viene rilevata in punti diversi, in superficie e/o in profondità tramite trasduttori che generano un segnale elettrico misurabile corrispondente alla sollecitazione elastica del terreno nel punto di misura.

Se un corpo in equilibrio subisce una sollecitazione in un punto, esso tende a deformarsi in relazione alle caratteristiche elastiche del corpo stesso e al tipo di sollecitazione. La propagazione della deformazione nei punti circostanti avviene come propagazione di onde la cui velocità dipende dalle caratteristiche elastiche del corpo (Godio et al., 2001).

Le onde sismiche (o onde elastiche) si generano e si propagano in un corpo quando questo viene sollecitato da uno sforzo impulsivo di piccola energia (cioè nel campo delle piccole tensioni e delle piccole deformazioni). Quando il corpo sollecitato si deforma nel campo elastico (campo di linearità della legge di Hooke) le sue particelle si spostano dalla loro posizione di equilibrio.

Al cessare della sollecitazione le particelle tendono a tornare alla loro posizione di equilibrio innescando un moto di oscillazione (vibrazione). Tale moto di oscillazione si propaga in tutte le direzioni alle particelle circostanti con velocità che dipende dalla facilità delle particelle ad abbandonare il loro stato di quiete, cioè dalle caratteristiche meccaniche del corpo.

Le onde elastiche così generatesi interessano tutto il volume del corpo (onde di volume), non sono dispersive (la velocità di propagazione non dipende dalla frequenza) e possono essere distinte in funzione della direzione di vibrazione rispetto alla direzione di propagazione.

Si hanno dunque:

- onde di compressione (onde P): longitudinali e primarie, si propagano ad alta velocità sia nei solidi che nei liquidi e sono caratterizzate da un moto delle particelle nella stessa direzione di propagazione dell'onda, con successive compressioni e rarefazioni;
- onde di taglio (onde S): trasversali e secondarie, si propagano più lentamente delle onde P e presentano un moto delle particelle perpendicolare alla direzione di propagazione; non si trasmettono nei fluidi;

- onde di Rayleigh: sono onde superficiali e determinano spostamenti ellittici delle particelle il cui moto avviene nel piano verticale e con verso retrogrado rispetto alla direzione di propagazione stessa;
- onde di Love: sono onde superficiali che si sviluppano solo in presenza di uno strato a bassa velocità e non si trasmettono nei fluidi; gli spostamenti sono orizzontali e trasversali rispetto alla direzione di propagazione.

## 2.2 Descrizione del metodo

Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali.

Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga: questa proprietà si chiama dispersione.

Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali. La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali.

Questo tipo di analisi fornisce i parametri fondamentali comunemente utilizzati per valutare la rigidità superficiale, una proprietà critica per molti studi geotecnici.

L'intero processo comprende tre passi successivi:

- l'acquisizione delle onde superficiali (*ground roll*);
- la costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza);
- l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle  $V_s$ .



Il principale vantaggio di un metodo di registrazione multicanale è la capacità di riconoscimento dei diversi comportamenti, che consente di identificare ed estrarre il segnale utile dall'insieme di varie e differenti tipi di onde sismiche. Quando un impatto è applicato sulla superficie del terreno, tutte queste onde vengono simultaneamente generate con differenti proprietà di attenuazione, velocità e contenuti spettrali. Queste proprietà sono individualmente identificabili in una registrazione multicanale e lo stadio successivo del processo fornisce grande versatilità nell'estrazione delle informazioni utili.

Per ottenere un profilo Vs bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore. Una molteplicità di tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di dispersione, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi. L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione diretta che per la procedura ai minimi quadrati.

Quando si generano le onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh, vengono generate anche una molteplicità di tipi diversi di onde. Fra queste le onde di corpo, le onde superficiali non piane, le onde riverberate (*back scattered*) dalle disomogeneità superficiali, il rumore ambientale e quello imputabile alle attività umane. Le onde di corpo sono in vario modo riconoscibili in un sismogramma multicanale. Quelle rifratte e riflesse sono il risultato dell'interazione fra le onde e l'impedenza acustica (il contrasto di velocità) fra le superfici di discontinuità, mentre le onde di corpo dirette viaggiano, come è implicito nel nome, direttamente dalla sorgente ai ricevitori (geofoni). Le onde che si propagano a breve distanza dalla sorgente sono sempre onde superficiali. Queste onde, in prossimità della sorgente, seguono un complicato comportamento non lineare e non possono essere trattate come onde piane. Le onde superficiali riverberate (*back scattered*) possono essere prevalenti in un sismogramma multicanale se in prossimità delle misure sono presenti discontinuità orizzontali quali fondazioni e muri di contenimento.

Le ampiezze relative di ciascuna tipologia di rumore generalmente cambiano con la frequenza e la distanza dalla sorgente. Ciascun rumore, inoltre, ha diverse velocità e proprietà di attenuazione che possono essere identificate sulla registrazione multicanale grazie all'utilizzo di modelli di coerenza e in base ai tempi di arrivo e all'ampiezza di ciascuno.

La scomposizione di un campo di onde registrate in un formato a frequenza variabile consente l'identificazione della maggior parte del rumore, analizzando la fase e la frequenza



dipendentemente dalla distanza dalla sorgente. La scomposizione può essere quindi utilizzata in associazione con la registrazione multicanale per minimizzare il rumore durante l'acquisizione. La scelta dei parametri di elaborazione così come del miglior intervallo di frequenza per il calcolo della velocità di fase, può essere fatto con maggior accuratezza utilizzando dei sismogrammi multicanale. Una volta scomposto il sismogramma, una opportuna misura di coerenza applicata nel tempo e nel dominio della frequenza può essere utilizzata per calcolare la velocità di fase rispetto alla frequenza. La velocità di fase e la frequenza sono le due variabili ( $x$ ;  $y$ ), il cui legame costituisce la curva di dispersione.

E' anche possibile determinare l'accuratezza del calcolo della curva di dispersione analizzando la pendenza lineare di ciascuna componente di frequenza delle onde superficiali in un singolo sismogramma. In questo caso MASW permette la miglior registrazione e separazione ad ampia banda ed elevati rapporti S/N. Un buon rapporto S/N assicura accuratezza nel calcolo della curva di dispersione, mentre l'ampiezza di banda migliora la risoluzione e la possibile profondità di indagine del profilo  $V_s$  di inversione.

Le onde di superficie sono facilmente generate da una sorgente sismica quale, ad esempio, una mazza battente. La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura MASW sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a riflessione (CMP). Però alcune regole operative per MASW sono incompatibili con l'ottimizzazione della riflessione. Questa similitudine permette di ottenere, con la procedura MASW, delle sezioni superficiali di velocità che possono essere utilizzate per accurate correzioni statiche dei profili a riflessione.



### 3 PARAMETRO $V_{S30}$

Il D.M. 14/01/2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni) disciplina la progettazione e la costruzione di nuovi edifici soggetti ad azioni sismiche, oltre alla valutazione della sicurezza e degli interventi di adeguamento su edifici esistenti soggetti al medesimo tipo di azioni.

La definizione dell'azione sismica a cui gli edifici sono soggetti è legata alla determinazione di alcuni fattori importanti per l'edificio stesso, tra i quali la classificazione del suolo di fondazione su cui l'edificio verrà costruito.

$V_{S30}$  è la velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio e viene calcolata con la seguente espressione:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

$h_i$  = Spessore in metri dello strato  $i$ -esimo

$V_i$  = Velocità dell'onda di taglio  $i$ -esima

$N$  = Numero di strati

#### 3.1 Stima del parametro $V_{S30}$

E' stato dimostrato (Comina et al., 2010) che, data un'adeguata profondità di investigazione, la non unicità della soluzione non costituisce un problema per la stima della  $V_{S30}$  e che il metodo delle onde superficiali fornisce risultati comparabili a quelli ottenuti con metodi invasivi quali down-hole test (DH) o seismic dilatometer test (SDMT).

Per questo motivo, la metodologia proposta non fornisce un unico profilo di  $V_s$ , ma un set di possibili soluzioni che descrivono il dato sperimentale in modo statisticamente equivalente.

Per ogni modello si calcola il valore di  $V_{S30}$  secondo la formulazione proposta nel D.M. 14/01/2008 e dalla distribuzione dei valori di  $V_{S30}$  stimati è possibile ricavare un valore modale che rappresenta il parametro  $V_{S30}$  del sito.

### 3.2 Classificazione dei terreni secondo la Normativa Italiana

La Normativa Italiana (Decreto Ministeriale del 14/01/2008 Norme Tecniche per le costruzioni e S.O. n. 30 alla G.U. n. 29 del 04/02/08), coerentemente con quanto indicato nell'Eurocodice 8, prevede una classificazione del sito in funzione sia della velocità delle onde S nella copertura sia dello spessore della stessa. Vengono identificate 5 classi, A, B, C, D, E, a ognuna delle quali è associato uno spettro di risposta elastico. In generale il fenomeno dell'amplificazione sismica diventa più accentuato passando dalla classe A alla classe E.

Lo schema indicativo di riferimento per la determinazione della classe del sito è il seguente:

Classe	Descrizione
<b>A</b>	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
<b>B</b>	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 Vs30 compresi fra 360 m/s e 800 m/s (ovvero Nspt30>50 nei terreni a grana grossa e cu30 >250 kPa nei terreni a grana fina).
<b>C</b>	Depositati 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 Vs30 compresi fra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15<Nspt30<50 nei terreni a grana grossa e 70<cu30<250 kPa nei terreni a grana fina).
<b>D</b>	Depositati 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 Vs30 inferiori a 180 m/s (ovvero Nspt30<15 nei terreni a grana grossa e cu30<70 kPa nei terreni a grana fina).
<b>E</b>	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con Vs30>800 m/s).

Classi di suolo per le quali non è utilizzabile alcuna procedura semplificata:

Classe	Descrizione
<b>S1</b>	Depositati di terreni caratterizzati da valori di VS30 inferiori 100 m/s (ovvero 10<cu30<20 kPa) che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includano almeno 3 m di torba o argille altamente organiche.
<b>S2</b>	Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.



## 4 STRUMENTAZIONE

Il sistema di acquisizione dati è sostanzialmente costituito dai seguenti elementi:

- Sismografo
- Ricevitori
- Sorgente di energizzazione

### 4.1 Sismografo

L'acquisizione dati è stata effettuata con il sismografo Geometrics GEODE dotato di 24 canali a 24 bit, possibilità di stacking, filtri analogici e digitali. Nella tabella si riportano le caratteristiche tecniche del sismografo. L'interfaccia con il sismografo avviene tramite l'utilizzo di un pc portatile collegato direttamente al modulo.

A/D Conversion	24 bit result using Crystal Semiconductor sigma-delta converters and Geometrics proprietary oversampling
Dynamic Range	144 dB (system), 110 dB (instantaneous, measured) at 2ms, 4dB
Sample Interval	0.02, 0.3125, 0.0625, 0.125, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 16.0 ms
Record Length	16,000 samples
Maximum Input Signal	2.8 VPP
Distortion	0.0005% @ 2 ms, 1.75 to 208 Hz
Bandwidth	1.75 Hz to 20 kHz
Common Mode Rejection	>-100 dB at <=100 Hz, 36 dB
Crosstalk	-125 dB at 23.5 Hz, 24 dB, 2 ms
Noise Floor	0.2uV, RFI at 2 ms, 36 dB, 1.75 to 208 Hz
Stacking Trigger Accuracy	1/32 of sample interval
Input Impedance	20 kOhm, 0.02 uf
Anti-alias Filters	-3 dB at 83% of Nyquist frequency, down 90 dB
Delay	0 to 9999 ms in 1 ms steps
Acquisition and DisplayFilters	<ul style="list-style-type: none"> <li>– LowCut: OUT, 10, 15, 25, 35, 50, 70, 100, 140, 200, 280, 400 Hz, 24 or 48 dB/octave, Butterworth.</li> <li>– Notch: 50, 60, 150, 180 Hz and OUT, with the 50 dB rejection bandwidth 2% of center frequency.</li> <li>– HighCut: OUT, 250, 500 or 1000 Hz, 24 or 48 dB/octave.</li> </ul>
Triggering	Positive, negative or contact closure, software adjustable threshold

## 4.2 Ricevitori

Per l'indagine in esame sono stati utilizzati geofoni con asse verticale con frequenza pari a 4.5 Hz. I geofoni sono sensori di tipo elettromagnetico che generano una tensione proporzionale alla velocità della perturbazione sismica. I cavi utilizzati per l'acquisizione sono cavi con guaina in polipropilene schermati con connettori tipo militare Bendix o Cannon a 36 pin.

## 4.3 Sorgente di energizzazione

Per l'indagine è stata utilizzata come sorgente di energia la massa battente, costituita da un martello avente massa da 10 kg utilizzato da un operatore. L'impulso viene generato attraverso il colpo del martello su una piastra metallica appoggiata al terreno. L'istante di trigger è fornito da un geofono posizionato in prossimità del punto di battuta.



Sistema di acquisizione GEODE e interfaccia pc.



Geofono verticale.

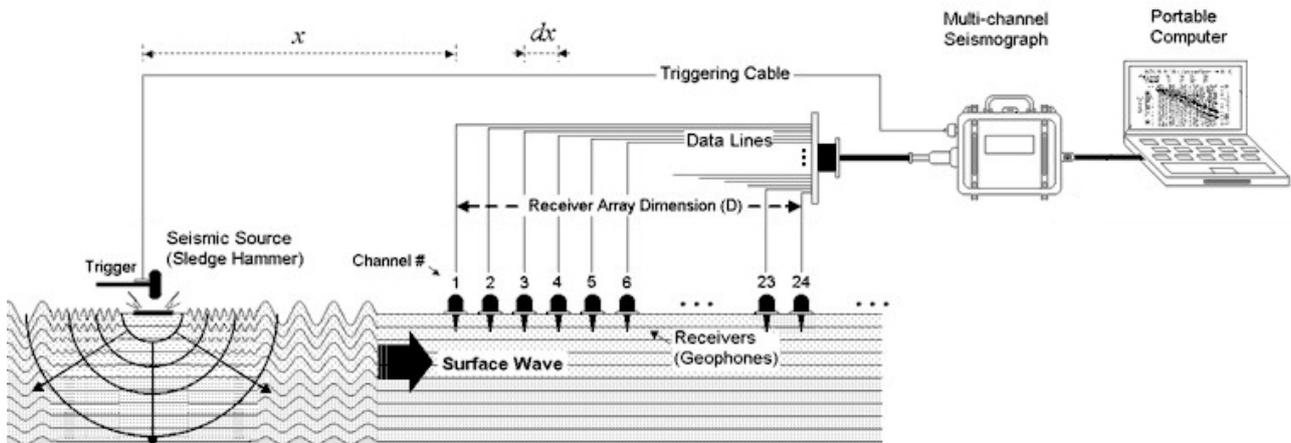


Sistema di energizzazione: geofono trigger, mazza e piastra di battuta.

**Figura 1 – Sismica attiva: strumentazione utilizzata.**

## 5 MODALITA' DI ACQUISIZIONE

È stato realizzato uno stendimento sismico MASW costituiti da 24 geofoni. L'energizzazione è stata effettuata in 2 punti collocati a distanza dal primo e dall'ultimo geofono dello stendimento, come da schema seguente. Un geofono trigger è stato disposto accanto ad ogni punto di energizzazione per dare inizio alla registrazione del segnale trasmesso dai 24 geofoni al sismografo multicanale.



La scelta di energizzare in due punti diversi è dettata dalla possibilità, in fase di elaborazione dati, di selezionare la registrazione migliore e più chiara ai fini del calcolo del  $V_{s30}$ ; pertanto in allegato viene presentata la tavola riepilogativa di un solo sismogramma.

La geometria di acquisizione è riportata nella tabella seguente.

### Schematizzazione dello stendimento geofonico MASW 1

Interdistanza geofonica	$dx$	2.00 m
Distanza sorgente da primo ed ultimo ricevitore	$x$	10.00 m
Lunghezza complessiva dell'array geofonico	$D$	46.00 m

## 6 FINALITA'

L'indagine sismica con metodologia MASW è stata realizzata lungo la strada chiusa al traffico adiacente l'edificio scolastico, prospiciente il cortile a E dell'edificio stesso dove è stato realizzato



il sondaggio geognostico a carotaggio continuo. La lunghezza del tratto disponibile, rettilineo e in piano, ha permesso l'adozione di un array sismico pari a 46.00 m, con distanza intergeofonica di 2.00 m e con punto di energizzazione a distanza di 10 m dal primo/ultimo ricevitore.

Secondo quanto richiesto dalla Committenza, l'indagine si è resa necessaria per la valutazione del parametro  $V_{S30}$  dei terreni in fase di studio e per l'attribuzione della classe di suolo come previsto dal Decreto Ministeriale del 14/01/2008 Norme Tecniche per le costruzioni e S.O. n. 30 alla G.U. n. 29 del 04/02/08.

## 7 ANALISI DEI DATI E CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

I risultati dell'indagine sono riportati nel seguito; vengono allegate le tavole contenenti il sismogramma registrato in fase di misura ed i relativi grafici ottenuti dall'elaborazione (Tav. M-01).

La tavola riporta il sismogramma prodotto dai 24 geofoni in fase di acquisizione dati, ossia a seguito dell'attivazione del geofono starter dopo l'energizzazione, le curve delle velocità rapportate alla frequenza ed alla profondità del terreno, una tabella di calcolo delle Vs ed il valore finale di  $V_{S30}$ .

Di seguito vengono riportati i risultati ottenuti.

**Tipo di analisi:** Onde di Rayleigh

### MASW 1 Valori calcolati e stimati dal modello medio

Profondità	Spessori	Vs	Vp - stima	Poisson - stima	Densità - stima
3.2	3.2	218	466	0.36	1.87
9.1	5.9	388	702	0.28	1.97
12.6	3.5	642	1201	0.30	2.10
26.2	13.6	315	848	0.42	2.01
<i>half-space</i>	<i>half-space</i>	575	1142	0.33	2.09

<b><math>V_{S30}</math> modello medio (m/s)</b>	<b>352 m/s</b>
<b>Classificazione suolo secondo D.M. 14/01/2008</b>	<b>C (S2)</b>

I risultati ottenuti consentono di evidenziare un mezzo dalle discrete caratteristiche di resistenza meccanica, caratterizzato da una evidente inversione della velocità di propagazione delle onde S. Il



bedrock sismico di riferimento ( $V_s > 800$  m/s) non è riscontrabile entro la massima profondità raggiunta dall'indagine (30 m).

Ai sensi delle NTC/08, per un  $V_{s,30} = 352$  m/s si potrebbe assegnare il terreno alla classe C, tuttavia l'interpretazione rigorosa delle NTC/08 imporrebbe di assegnare il sottosuolo alla classe S2, in quanto non è verificata l'ipotesi di “graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità” richiesta per l'attribuzione della Classe C.

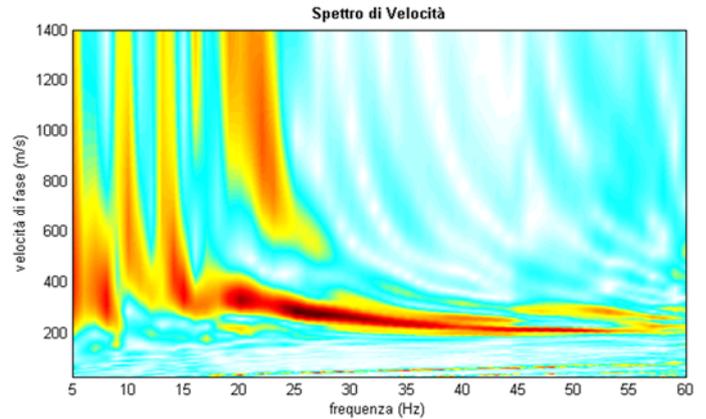
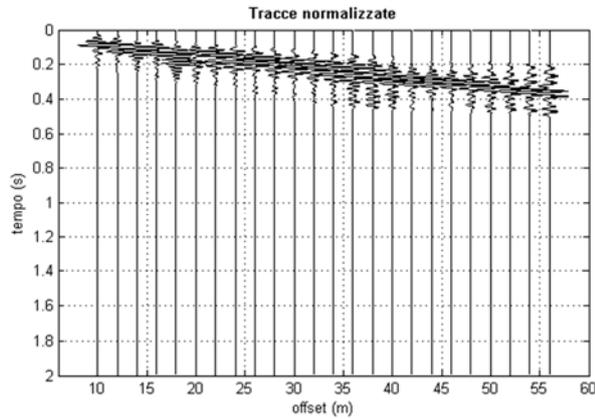
L'attribuzione della categoria sismica è comunque responsabilità del professionista incaricato dello studio di microzonazione sismica in funzione dell'assetto geologico e geomorfologico, della pericolosità sismica di base e di ogni altra informazione in suo possesso: in sede di indagine si fornisce solamente una indicazione preliminare descrittiva del profilo sismico del terreno.

---

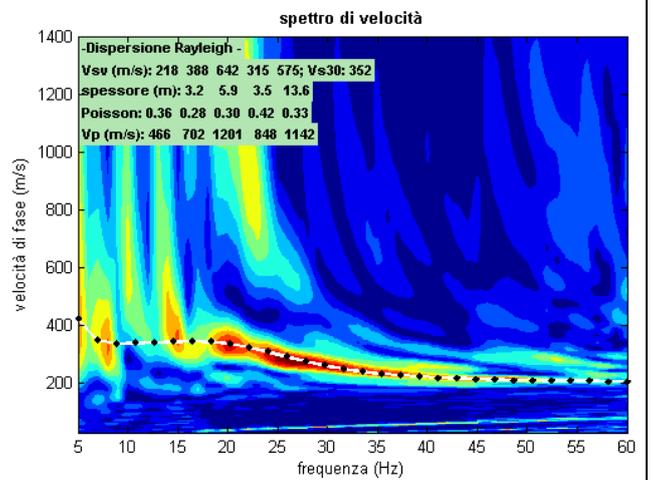
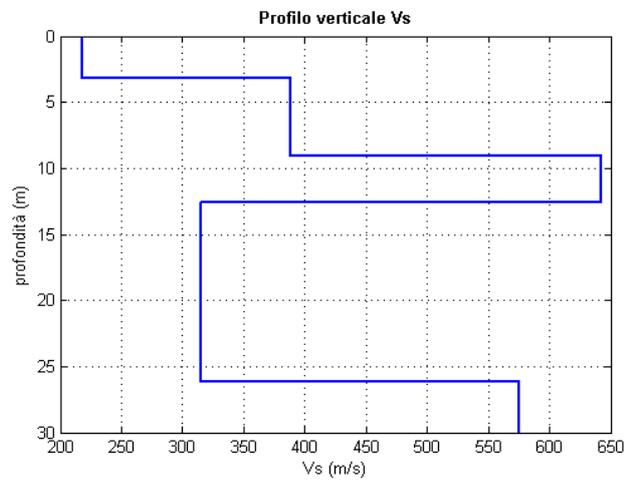
# ALLEGATI

---

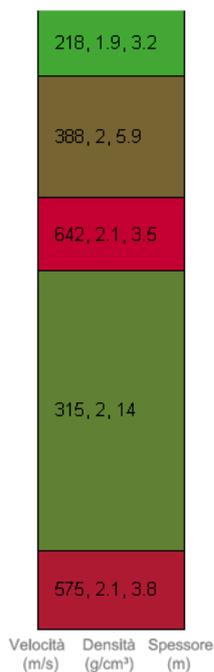
**DATI ACQUISITI E SPETTRO DI VELOCITA' CALCOLATO**



**PROFILO VERTICALE DI Vs IDENTIFICATO E SPETTRO DI VELOCITA' CON CURVA DI DISPERSIONE**



**PROFILO VERTICALE DI Vs IDENTIFICATO**



MODELLO INDIVIDUATO	
Profondità	Vs (m/s)
3.2	218
9.1	388
12.6	642
26.2	315
30	575

<b>Vs 30</b>	<b>352 m/s</b>
--------------	----------------

Regione Piemonte  
Città Metropolitana di Torino

**Indagine geognostica per intervento di ristrutturazione/adeguamento edificio scolastico – Scuola Media Statale “E. Fermi”**

**INDAGINE GEOFISICA MASW (multichannel analysis of surface waves)**

**MASW 1**

**PROFILO VERTICALE Vs**

Committente:

Dr. Geol. Michelangelo Di Gioia c/o FCA

Tavola

**M-01**

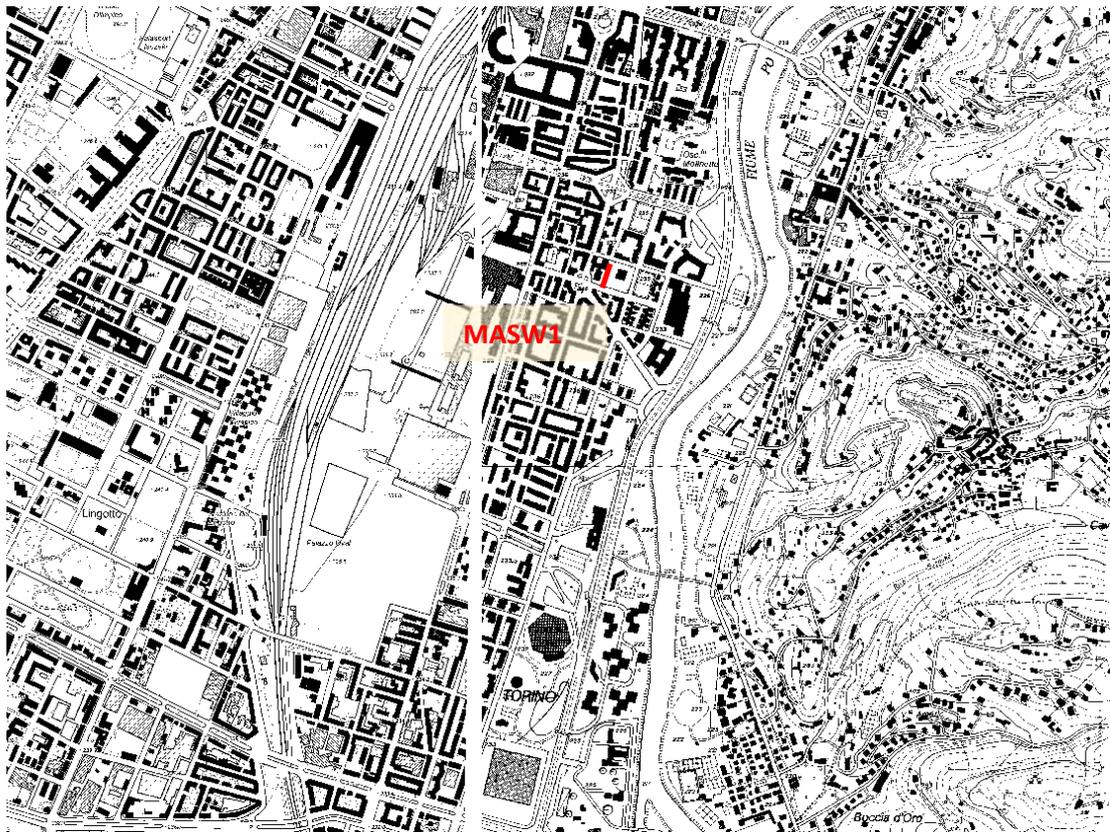
Data: 04/08/2016



## UBICAZIONE



(Fonte: Google Earth)



(Fonte: CTR Piemonte, Sezioni 155160 e 156130)

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

