



## CITTA' DI TORINO

DIVISIONE SERVIZI TECNICI – COORDINAMENTO  
SERVIZIO EDIFICI COMUNALI GESTIONE TECNICA

### PROGETTO CO-CITY – UIA (URBAN INNOVATIVE ACTIONS) MANUTENZIONE E MESSA IN SICUREZZA FABBRICATO VIA CUMIANA N°15



#### Gruppo di progettazione

progettista opere edili: arch. Roberta Bassi  
progettista opere edili: ing. Walter Scavo  
progettista strutturale : ing. Ermanno Piretta  
progettisti imp.idrisan-antinc: p.i. Mauro Raimondo  
ing. Laura Idrame  
progettista impianto elettrico: p.i. Pietro Lovecchio  
collaboratore opere edili: geom. Stefano Mazzei



Responsabile del Procedimento  
Dirigente Servizio Tecnico

ing. Eugenio Barbirato

Coord. sic. prog.:

ing. Rocco Pietrafesa  
arch. Massimo Casassa

## PROGETTO ESECUTIVO

OGGETTO

**PROGETTO STRUTTURALE  
RELAZIONE GEOLOGICA,  
GEOTECNICA E SISMICA**

NOME-FILE

SCALA

REV	MODIFICHE	DATA	REDATTO	CONTROLLATO
0	EMISSIONE	16/11/2018	STUDIO PIRETTA	
1				
2				
3				
4				

ELABORATO

**S-ALL.2**

geol. Giuseppe Genovese    geol. Pietro Campantico    geol. Giorgio Toselli

genovese & associati  
**genovese & associati**

CITTÀ DI TORINO

Manutenzione e messa in sicurezza degli stabili siti in Torino  
"Progetto Co-City"

Via Cumiana 15



D.M. 11/03/88 - D.M. 17/01/18  
**RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E  
SISMICA**

Torino, li 02/10/2018

geol. Giuseppe Genovese

*Collaboratore:*  
geol. Giulia Ghidone

genovese & associati - geologia & ambiente

via Camogli 10, 10134 TORINO - ☎ 0113199507 - genovese@genoveseassociati.it - p.iva 07282110019

## 1. PREMESSA

La Città di Torino, Divisione Servizi Tecnici – Coordinamento Servizio Edifici Comunali – Gestione Tecnica, ha affidato allo studio Genovese & Associati l'incarico per lo studio geologico e geotecnico nell'ambito dell'intervento di manutenzione e messa in sicurezza dello stabile ubicato in Torino - via Cumiana n°15 previsto dal Progetto Co-City.

I risultati dei rilievi e delle indagini geognostiche sono in accordo con quanto prescritto dal **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 dal **D.M. 17/01/18** "*Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni*".

Nella presente relazione vengono presi in esame i seguenti aspetti geologici e geotecnici:

- caratterizzazione geomorfologica, geologica ed idrogeologica dell'area;
- ricostruzione dell'assetto litostratigrafico
- caratterizzazione geotecnica e sismica dei terreni;
- individuazione delle problematiche geologiche connesse agli interventi in progetto e al suo intorno significativo;
- verifica della compatibilità tra l'assetto geologico e idrogeologico e le opere in progetto.

Le indagini geognostiche e geofisiche a supporto della presente sono state eseguite – secondo le specifiche e su incarico dell'Amministrazione Comunale – dalla ditta EuroGeo s.r.l. di Paderno Dugnano (MI) con supporto dello scrivente alla Direzione Lavori tra l'11/09/2018 e il 18/09/2018 e sono consistite in:

- n°2 sondaggi a carotaggio continuo (S1, S2) con esecuzione di prove SPT e prelievo di campioni per analisi chimiche. Ciascun sondaggio è stato spinto fino alla profondità di 12 m, a partire dalla quota di piano cortile del piano seminterrato del fabbricato esistente;
- n°4 pozzetti esplorativi realizzati mediante escavatore meccanico, dei quali:
  - n°2 saggi geotecnici (SG1, SG2) per accertare la morfologia e la profondità delle fondazioni esistenti;
  - n°2 saggi ambientali (SA1, SA2) spinti fino alla profondità massima di 2,5 m c.a dalla quota di piano cortile per l'osservazione diretta del sedime ed il prelievo di campioni per analisi chimiche, le quali non saranno tuttavia discusse nella presente.
- Per la caratterizzazione sismica del sedime è stata inoltre eseguita una indagine con metodologie geofisiche mediante l'esecuzione in sito di una prova MASW per il calcolo del parametro  $V_{seq}$ .

La documentazione della campagna di indagini di cui sopra è riportata in Appendice alla presente.

## 2. OPERE IN PROGETTO E SITUAZIONE NORMATIVA

Il progetto prevede il recupero funzionale con riconversione in spazi polifunzionali del fabbricato comunale sito in via Cumiana n°15: tale fabbricato è costituito da un ex capannone industriale dismesso, originariamente inserito nel più vasto complesso ex Lancia compreso tra le vie Cumiana ed Envie e i corsi Peschiera e Racconigi.

Lo stabile oggetto di indagine si inserisce su un'area cortile realizzata ad una quota di c.ca 4 m inferiore rispetto al piano strada circostante. Nel dettaglio, sono previsti interventi di ripristino, consolidamento ed eventuale rinforzo delle strutture esistenti e la realizzazione di nuove opere strutturali finalizzate ad adeguare il fabbricato e alcuni ambiti dell'edificato circostante (interessati dai percorsi di accesso) alla nuova destinazione d'uso.

Per quanto concerne la situazione normativa vigente sull'area oggetto di indagine si riporta quanto segue:

- negli Studi idrogeomorfologici di supporto al Progetto Definitivo della Variante n°100 al P.R.G.C. di Torino adottata con Deliberazione del Consiglio Comunale del 12 Aprile 2006, l'area è inserita nella **Carta della pericolosità geomorfologica e della idoneità all'utilizzazione urbanistica** (Allegato 5.1) in **Classe 1** a pericolosità assente e con nessuna prescrizione;
- nel "**PIANO stralcio per l'ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI)** - Interventi sulla rete idrografica e sui versanti - redatto dall'Autorità di Bacino del Fiume Po ai sensi della Legge 18 maggio 1989, n.183, art.17, comma 6-ter, ed adottato con deliberazione del Comitato Istituzionale n.18 in data 26.04.2001" non sussiste alcuna perimetrazione o segnalazione riguardante l'area in esame;
- il Piano Territoriale Regionale (**PTR**) non contempla per l'area in esame prescrizioni che ostino alla fattibilità dell'intervento;
- nel Progetto Territoriale Operativo del Po (**PTO**) formato ai sensi della L.R. 56/77 e s.m.i., strumento di specificazione della pianificazione territoriale regionale per la fascia fluviale del Po piemontese, l'area ricade al di fuori della fascia di pertinenza fluviale di cui all'art.22 delle Norme Tecniche: non sussistono pertanto prescrizioni che ostino alla fattibilità dell'intervento;
- il Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (**PTCP**) adottato con D.C.P. n. 621-71253 in data 28/04/1999 ed approvato dalla Regione Piemonte, ai sensi dell'art. 7 della LUR 56/77 e s.m.i., con D.C.R. n. 291-26243 in data 1/08/2003 e la successiva Variante (**PTC<sup>2</sup>**) approvata dal Consiglio regionale con Deliberazione n. 121-29759 del 21/07/2011 non contemplano per l'area in esame prescrizioni che ostino alla fattibilità dell'intervento.

- 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 Torino ricade in zona 4.

### **3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO**

Il sito di previsto intervento, localizzabile sulla Sezione n°155120 della Carta Tecnica Regionale della Regione Piemonte – scala 1:10.000, ad una quota del p.c. di 256 m c.ca s.l.m.m., si inserisce lungo Via Cumiana in corrispondenza del numero civico 15, nell’isolato compreso tra via Cumiana ad ovest, via Envie a sud, corso Racconigi ad est e corso Peschiera a nord.

Il sito si inquadra nel contesto geomorfologico dell’ampia pianura torinese che, estendendosi dall’edificio collinare a Est della Città, giunge a lambire il margine interno alpino ad Ovest.

L’assetto morfologico è caratterizzato dalla coalescenza dei due ampi conoidi fluviali di pertinenza del Fiume Dora Riparia e del Torrente Stura di Lanzo, situati rispettivamente allo sbocco delle valli di Susa e di Lanzo. Trattasi di complessi apparati formati dall’incastro di elementi di età diversa (“conoidi telescopiche”) che si manifestano con una serie di terrazzi sub-pianeggianti situati a quote diverse, i più recenti dei quali appaiono spesso incassati di parecchi metri rispetto a quelli più antichi. In prossimità dei corsi d’acqua attuali affiorano infatti sedimenti fluviali post-glaciali (Alluvioni Antiche, Alluvioni Medio Recenti, Alluvioni Attuali) fiancheggiati da depositi fluviali più antichi (mindeliani e rissiani), costituenti i più alti terrazzi latistanti e debolmente degradanti verso il Po.

Il substrato su cui riposa il complesso sedimentario sopra descritto è costituito da depositi marini terziari e da depositi quaternari: il fianco occidentale dell’anticlinale strutturata entro i depositi marini del Bacino Terziario Ligure Piemontese (e costituente l’ossatura della Collina di Torino) si immerge infatti al di sotto della pianura torinese, a formare un bacino subsidente con asse orientato NE-SW, circa parallelo all’anticlinale.

Tale bacino, sede durante il Quaternario di intensa sedimentazione dei depositi noti in letteratura come “Villafranchiano”, risulta maggiormente depresso sulla verticale del Comune di Venaria Reale, dove i depositi quaternari raggiungono spessori superiori a 200 m. Procedendo verso il Po gli spessori coinvolti diminuiscono, seppur in maniera non uniforme, fino ad azzerarsi. I depositi quaternari villafranchiani sono suddivisibili in una facies lacustre più antica, costituita da alternanze limoso-argillose, ed in una facies successiva di tipo fluvio-lacustre costituita da alternanze sabbioso-ghiaiose.

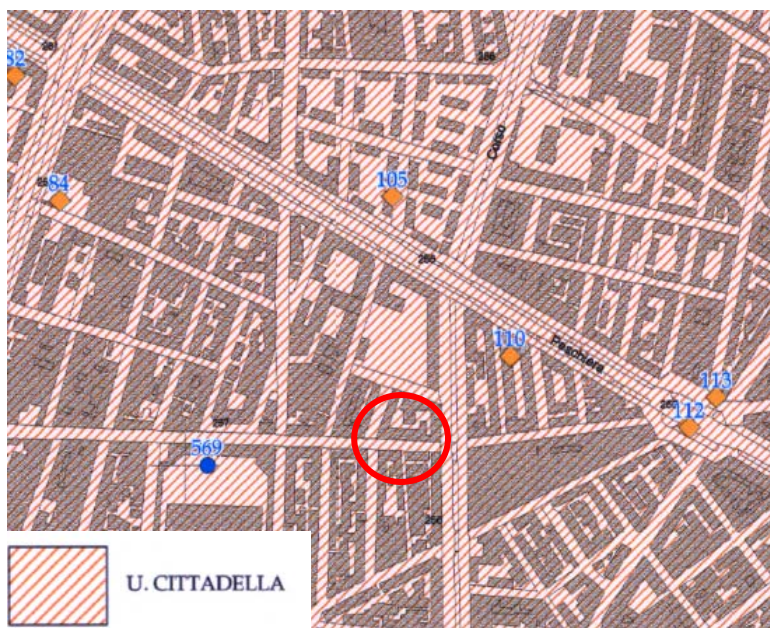
Nel dettaglio il sito di previsto intervento si localizza sulla vasta pianura che si estende in sponda destra del Fiume Dora Riparia a monte dell’immissione nel Fiume Po, sulla superficie terrazzata e lievemente ondulata del “Terrazzo Fluvioglaciale Riss” costituente il livello

fondamentale dell'alta pianura distinta e sopraelevata dalle più recenti alluvioni che bordano il corso attuale del Fiume Dora Riparia.

Il raccordo tra queste due superfici di terrazzo non è quindi sottolineato da una ripida scarpata poiché trattasi di un'area fortemente urbanizzata ed inserita all'interno del concentrico tardo-ottocentesco della città, con probabile migrazione del ciglio superiore a seguito di riporti e rimaneggiamenti recenti e/o storici.

In linea generale i depositi alluvionali affioranti nell'area sono prevalentemente costituiti da ghiaie e ghiaie sabbiose con ciottoli, talora con paleosuolo rosso-arancio più o meno sviluppato nelle porzioni più superficiali: in profondità le ghiaie tendono a prevalere sulla matrice sabbiosa e ad assumere un colore grigio. A luoghi tali depositi sono mascherati da una copertura discontinua limoso-sabbiosa di colore nocciola con sfaldatura prismatica, ascrivibile a fasi di sedimentazione eolica in un ambiente di steppa durante le fasi di ritiro glaciale (loess rissiano, F. 56 "Torino" - Carta Geologica d'Italia - scala 1:100.000): ove, come nell'area in esame, sono soggunte trasformazioni urbanistiche, tale terreno loessico, pedogenizzato e destrutturato nella porzione corticale, è talora assente o troncato e si osserva un orizzonte superficiale di riporto o di macerie.

Nella "Carta geologico-strutturale e geomorfologica" (Allegato 3.23 della Variante n°100 del PRGC) l'area di intervento è ascritta agli areali di affioramento di una unità pleistocenica completamente formata di pertinenza del fiume Dora Riparia: trattasi della "Unità della Cittadella" costituente la parte più estesa del settore del conoide fluvioglaciale su cui si estende la città di Torino e sviluppata tra circa 272 e 245 m s.l.m. Si tratta di depositi fluvioglaciali ghiaioso-sabbiosi localmente debolmente cementati, con una pezzatura dei clasti di maggiore dimensione in diminuzione procedendo da monte verso valle in associazione ad un aumento della percentuale di matrice sabbiosa. I suoli che si sviluppano su questi depositi, quando conservati, hanno un Indice di Colore di Munsell pari a 10YR 4/4, indicativo della parte superiore del Pleistocene.



La suddetta cartografia geologico-strutturale e geomorfologica evidenzia anche come il sito di intervento ricada ben al di fuori delle divagazioni d'alveo che nel passato storico hanno caratterizzato l'andamento della rete idrografica principale.

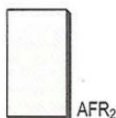
Nel Foglio 155 "Torino Ovest" della Carta Geologica d'Italia - scala 1:50.000 del Progetto CARG curata dall'Arpa Piemonte, dall'Università di Torino e dal C.N.R., l'area in esame è inserita in corrispondenza del "Sintema di Frassinere" e, nello specifico, all'interno del "Subsintema di Col Gianesco" costituito in tale settore da sabbie ghiaiose e ghiaie sabbiose con clasti eterometrici di quarziti, serpentiniti, gneiss e subordinatamente di prasiniti, calcescisti e marmi grigi (depositi fluvioglaciali).



**SINTEMA DI FRASSINERE**

**Subsintema di Col Gianesco**

Sabbie ghiaiose e ghiaie sabbiose con clasti eterometrici di quarziti, serpentiniti, gneiss e subordinatamente di prasiniti, calcescisti e marmi grigi (depositi fluvioglaciali) (AFR<sub>2b</sub>). Sottile copertura di silt sabbiosi e *loess l.s.* e locali accumuli di sabbie grossolane (depositi eolici) (AFR<sub>2d</sub>). Sabbie siltose e silt sabbiosi stratificati con intercalazioni ghiaiose e torbose (depositi lacustri, palustri e di torbiera) (AFR<sub>2e</sub>). Morenico scheletrico sparso (AFR<sub>2c3</sub>). *Diamicton* con clasti e blocchi angolosi e subangolosi, sfaccettati, levigati e striati, immersi in una matrice siltoso-sabbiosa addensata (depositi glaciali di fondo) (AFR<sub>2c4</sub>). *Diamicton* con clasti angolosi e subangolosi e blocchi di dimensioni metriche immersi in una matrice siltoso-sabbiosa (depositi glaciali di ablazione) (AFR<sub>2c5</sub>). I depositi sono complessivamente poco alterati (10-7,5YR). *Parte superiore del PLEISTOCENE SUP.*



*Estratto del Foglio 155 "Torino Ovest" della Carta Geologica d'Italia – scala 1:50.000 del progetto CARG.*

In linea generale l'analisi delle stratigrafie conservate nel database della Provincia di Torino relative ad alcuni pozzi trivellati in zone contigue, nonché i dati di indagini geognostiche in possesso dello scrivente e le risultanze delle indagini svolte sul sito di intervento, nel seguito dettagliate, confermano la presenza di ghiaia e ghiaia con sabbia almeno fino a 45 m c.ca cui seguono in profondità alternanze più fini sabbiose e ghiaiose o francamente limose almeno fino a 55 m.

## **4. IDROGEOLOGIA**

Per quanto concerne l'assetto idrogeologico, dai dati disponibili in letteratura il sottosuolo della Città di Torino ospita una falda multistrato di tipo multiradiale complesso, il cui deflusso risulta essere condizionato dai locali corsi d'acqua cittadini (Po, Sangone, Dora Riparia, Stura di Lanzo) e dalle opere idrauliche ad essi collegate. Il Fiume Po costituisce il livello di base ricettore della falda acquifera, mentre i rapporti fra la falda ed i corsi d'acqua minori sono d'interscambio reciproco, variabili stagionalmente e talvolta anche tra la sponda destra e quella sinistra dei corsi d'acqua; le linee di deflusso della falda sono orientate generalmente WNW-ESE, con andamento circa perpendicolare al Fiume Po: l'acquifero principale è costituito dal materasso alluvionale ghiaioso-sabbioso, caratterizzato da una permeabilità piuttosto elevata, sebbene a piccola e media scala i sedimenti alluvionali possano presentare una notevole eterogeneità dal punto di vista granulometrico e/o dal grado di addensamento e cementazione che si ripercuote anche sulla permeabilità del mezzo attraversato.

Per quanto concerne il settore comprendente l'area in esame, in sponda destra del Fiume Dora Riparia, l'analisi delle stratigrafie di pozzi profondi raccolti nel database della Provincia di Torino - Servizio Risorse Idriche e i dati in possesso dello scrivente relativi ad ambiti immediatamente contigui al sito di intervento, consentono di attestare la superficie piezometrica della prima falda freatica in condizioni di regime idrogeologico ordinario a profondità  $\geq 20$  m dal p.c. attuale (inteso come piano strada), ovvero a c.ca  $-26 \div 28$  m dal p.c..

In base alla ricostruzione dell'andamento delle isopieze effettuata con i dati ad oggi disponibili, la falda nel sito d'intervento è alimentata dal Fiume Dora Riparia e drenata dal Fiume Po, con tendenza delle isopieze a disporsi parallele allo stesso.

Nell'area d'ambito e nel suo intorno significativo non sussiste alcun elemento del reticolo idrografico superficiale naturale o artificiale che possa ritenersi significativo.

## **5. CARATTERIZZAZIONE DI DETTAGLIO DEL SITO D'INTERVENTO**

### **5.1 Stratigrafia di dettaglio del sito d'intervento**

Per la definizione della stratigrafia di dettaglio e la caratterizzazione del sedime costituente l'attuale sedime di imposta del fabbricato sono state effettuate dall'impresa EuroGeo s.r.l. di Paderno Dugnano (MI) su incarico dell'Amministrazione Comunale le seguenti indagini:

- n°2 sondaggi a carotaggio continuo (con avanzamento a secco fino a 4 m per il prelievo di campioni di suolo da sottoporre a caratterizzazione chimica) spinti fino alla profondità di -12 m a partire dalla quota di piano cortile, posizionati al margine orientale dei locali ad oggi accessibili del corpo fabbrica (S1) ed in prossimità di alcune vasche in cls di precontenimento nella porzione occidentale del fabbricato (S2).

- saggi esplorativi geotecnici realizzati rispettivamente in corrispondenza del piede di un pilastro della campata centrale del locale seminterrato (SG1) e in corrispondenza della relativa antistante pilastratura perimetrale (SG2);
- saggi esplorativi ambientali realizzati in corrispondenza di due basamenti al margine orientale del fabbricato (SA1) e in corrispondenza dello spigolo nordoccidentale dello stesso (SA2).

Le indagini sopra descritte hanno evidenziato la seguente successione di terreni a partire dalla quota del piano cortile, assunta nel seguito come quota di riferimento:

da p.c. a -12,0 m:	al di sotto della soletta in cemento della pavimentazione del fabbricato affiora una successione continua di ghiaie e ghiaie sabbiose grossolane poligeniche con ciottoli e blocchi arrotondati, organizzate in struttura prevalentemente "clast supported", nel complesso molto addensate. Localmente si osservano tracce di cementazione carbonatica. I clasti si presentano generalmente ben arrotondati, in matrice sabbiosa di colore grigio non alterata.
--------------------	---

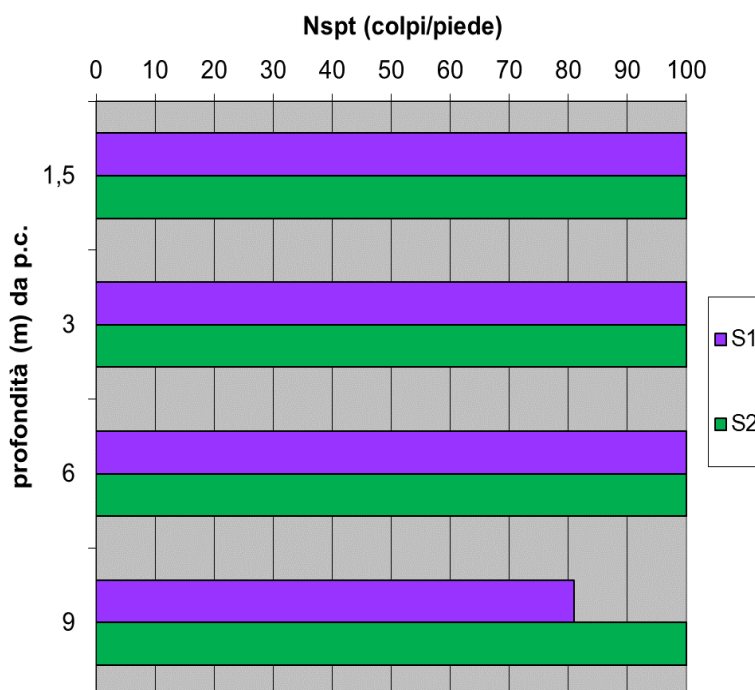
Si rimanda per maggior dettaglio alle stratigrafie dei sondaggi e dei singoli saggi in allegato a fondo testo.

## 5.2 Prove SPT eseguite nel foro di sondaggio

Per la valutazione del grado di addensamento e dei parametri geotecnici rappresentativi dei terreni attraversati, all'interno di ciascun foro sono state effettuate n°4 prove penetrometriche dinamiche **SPT** (*Standard Penetration Test*) conformi alle normative AGI per terreni granulari, per un totale di n°8 prove. Tali prove sono state realizzate, in ciascun sondaggio, alle profondità di 1,5 – 3,0 – 6,0 – 9,0 m a partire dalla quota di piano cortile, quota di riferimento per tutte le considerazioni che seguono.

I risultati delle prove penetrometriche dinamiche vengono espressi in termini di  $N_{SPT}$ , intendendo con tale quantità il numero di colpi necessario all'avanzamento della punta standard per un tratto di 30 cm. Il limite massimo per la penetrazione di ogni singolo tratto di 15 cm è di 50 colpi; al di sopra di tale valore si intende che il terreno offre rifiuto alla penetrazione.

Le prove SPT eseguite hanno fornito i valori riportati nel grafico a lato: si osserva un grado di addensamento del sedime molto elevato, con raggiungimento – nella quasi totalità delle prove – del rifiuto. Il valore minimo (seppur molto elevato) di  $N_{SPT} = 81$  colpi/piede è stato misurato esclusivamente nel sondaggio S1 a circa 9 m di profondità. Il sedime è pertanto schematizzabile come una unica formazione geotecnica, adottando nella caratterizzazione i parametri medi relativi ai valori di resistenza SPT misurati lungo la successione stratigrafica.



La valutazione della consistenza dei terreni granulari attraversati è espressa - in funzione dei valori  $N_{SPT}$  - in termini di addensamento come da tabella seguente.

#### **ADDENSAMENTO TERRENI GRANULARI**

<b><math>N_{SPT}</math></b>	<b>Stato di addensamento</b>	<b>Prove manuali</b>
0 ÷ 4	sciolto	si scava facilmente con un badile
4 ÷ 10	poco addensato	si scava abbastanza facilmente con un badile e si penetra con una barra
10 ÷ 30	moderatamente addensato	difficile da scavare con un badile o da penetrare con una barra
30 ÷ 50	addensato	molto difficile da penetrare; si scava con piccone
> 50	molto addensato	difficile da scavare con piccone

## 6. RAPPORTO GEOTECNICO

### 6.1 Caratterizzazione geotecnica del sedime

Sulla base delle osservazioni di campagna e dei risultati delle indagini geognostiche condotte, tenuto conto delle indicazioni della letteratura specifica, si è proceduto ad una parametrizzazione geotecnica degli orizzonti costituenti la parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dagli interventi in progetto.

La parametrizzazione dei terreni presenti è stata condotta in base ai risultati delle prove SPT adottando le correlazioni esistenti in letteratura specifica fra:

- $N_{SPT}$  e densità relativa ( $D_r$ ) → Gibbs e Holtz (1957); Meyerhof (1965); Schultze & Menzebach (1961); Bazaraa (1967); Skempton (1986);
- $N_{SPT}$  e angolo di attrito ( $\phi'$ ) → Sowers (1961); Peck-Hanson & Thornburn (1956); Meyerhof (1965), De Mello (1971), Wolff (1989);
- $N_{SPT}$  corretto ( $N_1$ ) per presenza falda → Terzaghi e Peck (1948)
- ang. di attrito ( $\phi'$ ) e densità relativa ( $D_r$ ) → Schmertmann (1977)
- $N_{SPT}$  e modulo elastico ( $E$ ) → D'Apollonia et al. (1983); Tornaghi et al. (1977); Jambu; Schmertmann (1978); Shultze & Menzebach (1979); Webb (1971)
- $N_{SPT}$  e modulo elastico secante ( $E'_{25}$ ) → Jamiolkowski (1985)
- $N_{SPT}$  e modulo di taglio ( $G_0$ ) → Ohsaki & Iwasaki (1973); Ohta & Goto (1978); Yoshida & Motonori (1988);
- $N_{SPT}$  e modulo edometrico ( $M$ ) → Farrent (1963); Menzebach e Malcev.

I risultati delle elaborazioni delle prove SPT sono riassunti nella tabella seguente.

### Sondaggio S1

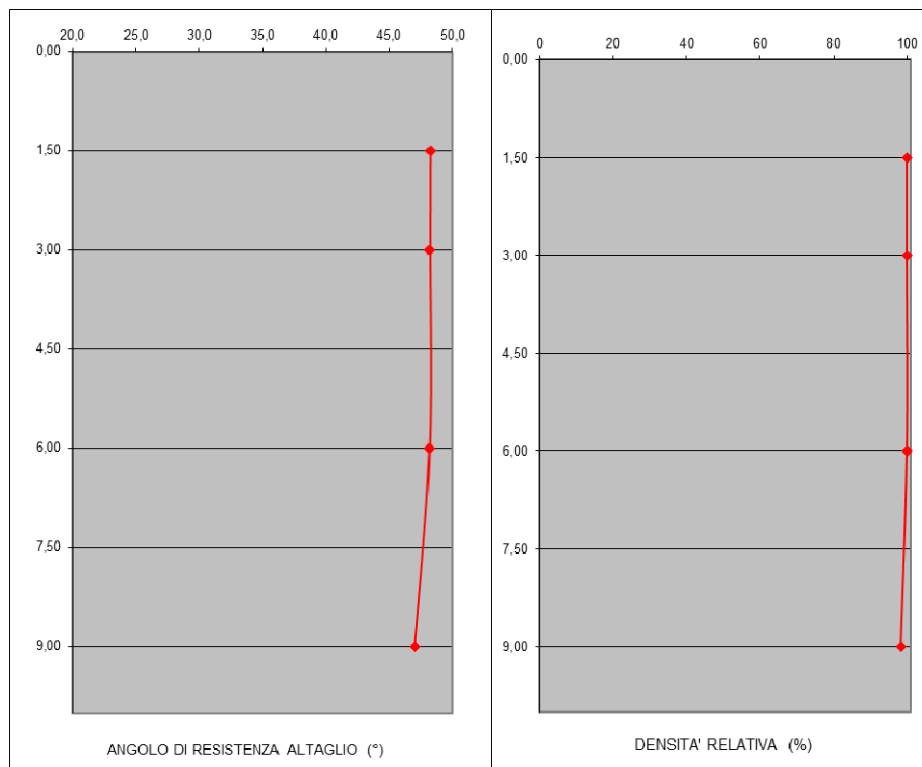
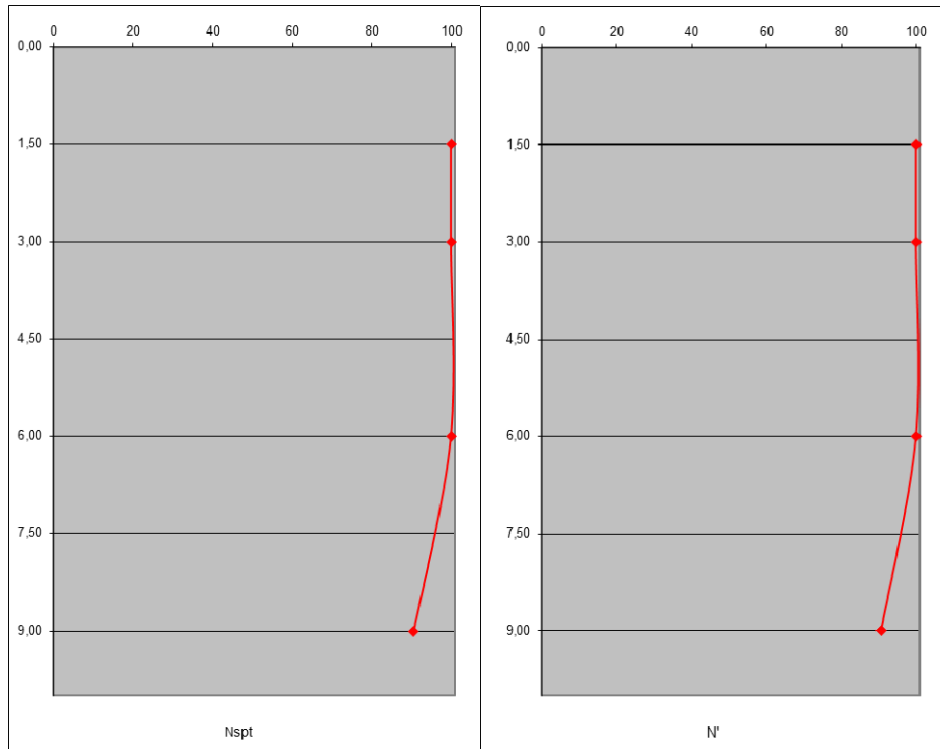
	SPT1	SPT2	SPT3	SPT4
quota dal piano cortile (m)	1,50	3,00	6,00	9,00
falda	No	No	No	No
Nspt	100	100	100	81
N'	100	100	100	81
<b>ANGOLO DI RESISTENZA ALTAGLIO (°)</b>				
De Mello	36,4	36,2	36,0	35,0
Sowers	56,0	56,0	56,0	50,7
Peck Hanson & Thornburn	55,2	55,2	55,2	49,9
Meyerhof	35,5	35,5	35,5	40,5
Hatanaka & Uchida	59,2	59,2	59,2	55,3
Wolff	51,7	51,7	51,7	47,9
Schmertmann (DR)	43,6	43,6	43,6	42,8
<b>VALORE MEDIO</b>	<b>48,2 °</b>	<b>48,2 °</b>	<b>48,2 °</b>	<b>46,0 °</b>
<b>DENSITA' RELATIVA (%)</b>				
Gibbs & Holtz	100	100	100	100
Meyerhof	100	100	100	100
Schultze & Menzebach	100	100	100	100
Bazaraa	100	100	100	89
Skempton	100	100	100	96
<b>VALORE MEDIO</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>97</b>
<b>MODULO ELASTICO [Young] (MPa)</b>				
D'Appolonia <i>et al</i>	94,3	94,3	94,3	79,9
Tornaghi <i>et al</i>	70,0	70,0	70,0	63,0
Jambu	24,2	52,3	74,0	90,6
Schmertmann	196,0	196,0	196,0	158,8
Schultz & Menzebach	/	/	/	/
Webb	33,1	33,1	33,1	27,1
Jamiolkowski <i>et al</i> [E25]	78,9	78,9	78,9	66,7
<b>VALORE MEDIO</b>	<b>82,7</b>	<b>87,4</b>	<b>91,0</b>	<b>81,0</b>
<b>MODULO DI TAGLIO (MPa)</b>				
Ohsaki & Iwasaki	383,6	383,6	383,6	326,8
Ohta & Goto	173,6	240,8	317,2	346,9
Yoshida e Motonori	173,8	225,3	273,6	275,9
<b>VALORE MEDIO</b>	<b>243,6</b>	<b>283,2</b>	<b>324,8</b>	<b>316,5</b>
<b>MODULO EDOMETRICO (MPa)</b>				
Farrent	69,6	69,6	69,6	56,4
Menzebach & Malcev	119,8	119,8	119,8	97,7
<b>VALORE MEDIO</b>	<b>94,7</b>	<b>94,7</b>	<b>94,7</b>	<b>77,0</b>
<b>VELOCITA' ONDE S (m/sec)</b>				
Ohta & Goto	302	347	398	416
Yoshida e Motonori	302	336	370	371
<b>VALORE MEDIO</b>	<b>302</b>	<b>341</b>	<b>384</b>	<b>394</b>

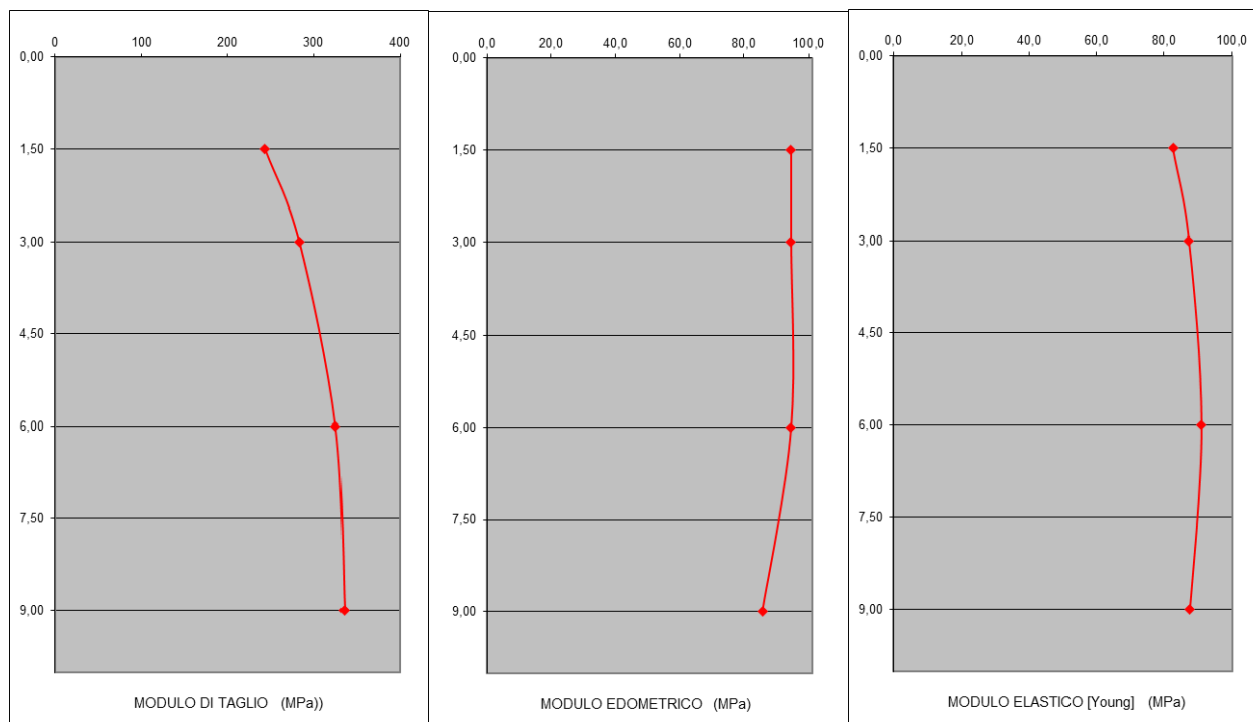
### Sondaggio S2

	SPT1	SPT2	SPT3	SPT4
quota dal piano cortile (m)	1,50	3,00	6,00	9,00
falda	No	No	No	No
Nspt	100	100	100	100
N'	100	100	100	100
<b>ANGOLO DI RESISTENZA ALTAGLIO (°)</b>				
De Mello	36,4	36,2	36,0	35,8
Sowers	56,0	56,0	56,0	56,0
Peck Hanson & Thornburn	55,2	55,2	55,2	55,2
Meyerhof	35,5	35,5	35,5	35,5
Hatanaka & Uchida	59,2	59,2	59,2	59,2
Wolff	51,7	51,7	51,7	51,7
Schmertmann (DR)	43,6	43,6	43,6	42,8
<b>VALORE MEDIO</b>	<b>48,2 °</b>	<b>48,2 °</b>	<b>48,2 °</b>	<b>48,0 °</b>
<b>DENSITA' RELATIVA (%)</b>				
Gibbs & Holtz	100	100	100	99
Meyerhof	100	100	100	100
Schultze & Menzebach	100	100	100	100
Bazaraa	100	100	100	99
Skempton	100	100	100	100
<b>VALORE MEDIO</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>MODULO ELASTICO [Young] (MPa)</b>				
D'Appolonia <i>et al</i>	94,3	94,3	94,3	94,3
Tornaghi <i>et al</i>	70,0	70,0	70,0	70,0
Jambu	24,2	52,3	74,0	90,6
Schmertmann	196,0	196,0	196,0	196,0
Schultz & Menzebach	/	/	/	/
Webb	33,1	33,1	33,1	33,1
Jamiolkowski <i>et al</i> [E25]	78,9	78,9	78,9	82,3
<b>VALORE MEDIO</b>	<b>82,7</b>	<b>87,4</b>	<b>91,0</b>	<b>94,4</b>
<b>MODULO DI TAGLIO (MPa)</b>				
Ohsaki & Iwasaki	383,6	383,6	383,6	383,6
Ohta & Goto	173,6	240,8	317,2	372,8
Yoshida e Motonori	173,8	225,3	273,6	306,5
<b>VALORE MEDIO</b>	<b>243,6</b>	<b>283,2</b>	<b>324,8</b>	<b>354,3</b>
<b>MODULO EDOMETRICO (MPa)</b>				
Farrent	69,6	69,6	69,6	69,6
Menzebach & Malcev	119,8	119,8	119,8	119,8
<b>VALORE MEDIO</b>	<b>94,7</b>	<b>94,7</b>	<b>94,7</b>	<b>94,7</b>
<b>VELOCITA' ONDE S (m/sec)</b>				
Ohta & Goto	302	347	398	432
Yoshida e Motonori	302	336	370	391
<b>VALORE MEDIO</b>	<b>302</b>	<b>341</b>	<b>384</b>	<b>412</b>

L'elaborazione statistica dei parametri calcolati con le correlazioni proposte e in funzione della profondità e di  $N_{SPT}$  fornisce i valori riassunti nella tabella e nei grafici seguenti.

Profondità	Nspt	N'	Dr (%)	$\Phi$ (°)	E (MPa)	G0 (MPa)	M (MPa)	vs (m/s)
1,50	100	100	100	48,2	82,7	244	94,7	302,3
3,00	100	100	100	48,2	87,4	283	94,7	341,3
6,00	100	100	100	48,2	91,0	325	94,7	384,1
9,00	91	91	98	47,0	87,7	335	85,9	402,8





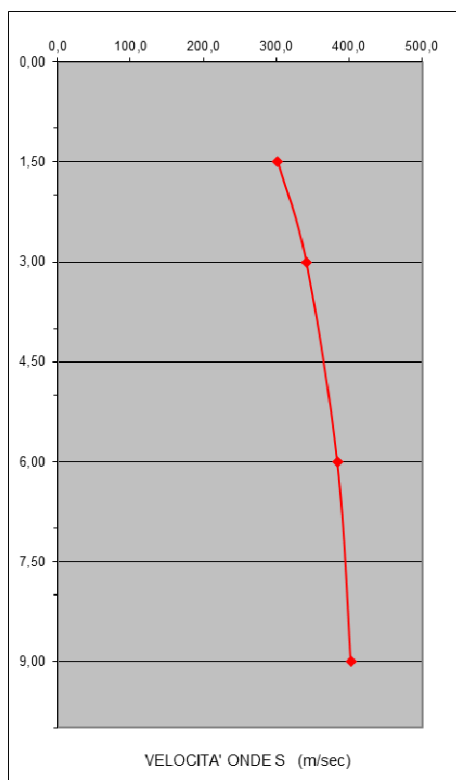
Come descritto nel capitolo precedente l'assetto stratigrafico puntuale, a partire dalla quota di piano cortile, è caratterizzato dalla presenza di un orizzonte prevalentemente ghiaioso e ghiaioso-sabbioso molto addensato, omogeneo dal punto di vista geotecnico. I valori successivamente riportati, ottenuti mediante il metodo statistico applicato in maniera ragionata, possono essere considerati come valori caratteristici per la successiva modellizzazione.

**ORIZZONTE 1** dalla quota di piano cortile (di riferimento) e fino a almeno 12 m di profondità: depositi ghiaiosi e ghiaiosi-sabbiosi con ciottoli eterometrici dall'elevato grado di addensamento. Sulla base delle indagini e successive correlazioni si ritiene corretto assumere i seguenti parametri geotecnici:

$\gamma_n$	=	peso di volume naturale = 20,0 kN/m <sup>3</sup>
$c'$	=	coesione efficace = 0,00 kPa
$N_{SPT}$	>	81 colpi/piede
$D_r$	=	grado di addensamento = 100%
$\phi'_p$	=	resistenza al taglio di picco = 48°
$\phi'_{cv}$	=	resistenza al taglio a volume costante = 40°
$E$	=	modulo di Young = 87 MPa
$G_0$	=	Modulo di taglio = 297 MPa
$M$	=	Modulo edometrico = 92 Mpa
$\nu$	=	coefficiente di Poisson = 0,30

Nei calcoli per la valutazione della capacità portante sarà adottato il valore di resistenza al taglio a volume costante  $\phi'_{cv}$ : come dimostrato da *YAMAGUCHI et Al. (1972)*, si ha infatti il raggiungimento della portata limite in corrispondenza di elevate deformazioni, a livello delle quali il comportamento del terreno granulare risulta caratterizzato dall'assenza di variazioni di volume.

## 6.2 Caratterizzazione sismica del sedime



Una prima caratterizzazione sismica del sedime può essere fornita sulla base dei valori NSPT registrati nei sondaggi effettuati adottando gli approcci metodologici che correlano tale parametro alla velocità ( $V_s$ ) delle onde sismiche: nel dettaglio sono stati utilizzate le proposte di Ohta & Goto (1978) e Yoshida & Motonori (1988).

Il grafico a lato sintetizza i risultati ottenuti, mostrando un progressivo incremento della velocità all'interno degli orizzonti ghiaiosi. Il valore medio di  $V_s$  nell'intervallo di profondità considerato – rispetto al piano cortile – è pari a 358 m/s.

Il piano di indagini ha tuttavia consentito di implementare tale dato mediante 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 direttamente il parametro  $V_{seq}$  (parametro di riferimento per la classificazione sismica dei

suoli secondo il D.M. 17/01/18). Tale indagine è stata eseguita dalla ditta EuroGeo s.r.l. di Torino; si illustrano nel seguito le metodologie adottate ed i risultati ottenuti.

### 6.2.1 Cenni teorici sull'analisi multicanale delle onde superficiali (MASW)

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) e l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs.

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. Dei valori approssimati per il rapporto di Poisson e per la densità sono necessari per ottenere il profilo verticale Vs dalla curva di dispersione e vengono solitamente stimati utilizzando misure prese in loco o valutando le tipologie dei materiali.

Quando si generano le onde piane della modalità fondamentale delle onde di Reyleigh, 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.

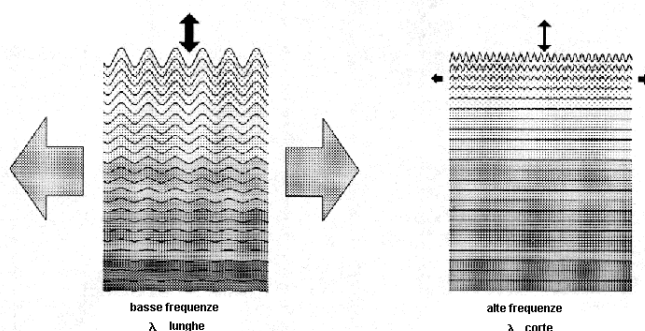
Le onde superficiali riverberate (back scattered) possono essere prevalenti in un sismogramma multicanale se in prossimità delle misure sono presenti discontinuità orizzontali quali fondazioni e muri di contenimento. Le ampiezze relative di ciascuna tipologia di rumore generalmente cambiano con la frequenza 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. È 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.



L'illustrazione mostra le proprietà di dispersione delle onde di superficie. Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali quale la MASW può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde S ( $V_s$ ) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

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.

### 6.2.2 Strumentazione e configurazione utilizzati (cfr. Relazione EuroGeo/Techgea in Appendice)

L'acquisizione è stata effettuata con un sismografo a 24 canali dotato di convertitore analogico/digitale a 24 bit (unità Daq Link IV, Seismic Source Ltd.). Lo strumento è fornito di una connessione di rete standard 10/100 (base RJ45) per la comunicazione con un computer portatile

su cui è installato un apposito programma (VibraScope ® v.2.4.40) che gestisce la visualizzazione, l'analisi e la memorizzazione delle forme d'onda registrate.

I geofoni utilizzati (Weihai Sunfull) possiedono una frequenza di risonanza pari 4.5 Hz con distorsione inferiore allo 0,2%.

L'energizzazione è stata ottenuta con massa battente da 10 Kg su piastra metallica; per l'innesco (trigger) si è utilizzato uno "shock sensor" collegato alla mazza battente e connesso via cavo al sismografo.

Per l'acquisizione dei dati di campo è stato realizzato - in corrispondenza del settore assiale del lotto - uno stendimento geofonico di lunghezza pari a 34,5 m, posizionando n°24 geofoni con un interasse di 1,5 m. Sono stati individuati n°9 punti di energizzazione distanti fino ad un massimo di 15 m dal geofono G1.

Per ogni punto di energizzazione sono stati generati almeno 3 impulsi sismici.

### 6.2.3 Risultati dell'indagine MASW (cfr. Relazione EuroGeo/Techgea in Appendice)

In Appendice a fondo testo sono riportati i risultati della prova MASW effettuata.

La normativa vigente individua come parametro di riferimento per la classificazione sismica dei suoli la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio  $V_{S,eq}$  (in m/s) e viene calcolato mediante l'espressione:

$$V_{S,eq} = H / [(\sum_{i=1, N} h_i / V_i)]$$

dove H è la profondità del substrato sismico ( $V_s > 800$  m/s),  $h_i$  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 al di sopra del substrato sismico. Per depositi, tuttavia, con profondità H del substrato superiore a 30 m, la  $V_{S,eq}$  è definita dal parametro  $V_{S30}$  ottenuto ponendo  $H=30$  m nell'espressione generale.

Come illustrato nella relazione a fondo testo, il valore di  $V_{S,eq}$  ottenuto tramite la prova MASW effettuata è risultato pari a **395 m/s** a partire dal piano cortile.

In riferimento al D.M. 17 Gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni", il valore di  $V_{S,eq}$  ottenuto tramite la prova MASW effettuata, risultato pari a **395 m/s**, consente pertanto di inquadrare il sedime nell'ambito della **categoria di profilo stratigrafico del suolo di fondazione di tipo B** "Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s."

### **6.3 Analisi della risposta sismica locale**

Si è infine proceduto a valutare i fattori correttivi per l'azione sismica, tenendo in considerazione la "pericolosità sismica di base" del sito in esame: la pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

Considerato che l'area in esame è posta in Zona 4 della **D.G.R. n. 4-3084 del 12 dicembre 2011**, con categoria topografica T1 e sottosuolo di categoria B, i parametri da introdurre nei calcoli - considerando lo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV) - sono i seguenti:

- $a_g$  = accel. orizz. max attesa su sito di riferimento rigido = 0,058 g
- $S_s$  = amplificazione stratigrafica = 1,20
- $S_t$  = amplificazione topografica = 1,00
- $a_{max}$  = accelerazione orizzontale massima attesa al sito = 0,677 m/s<sup>2</sup>
- $\beta_s$  = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito = 0,200
- $K_h$  = coefficiente per le azioni sismiche orizzontali = 0,014
- $K_v$  = coefficiente per le azioni sismiche verticali = 0,007

#### 6.4 Verifica a liquefazione

Secondo quanto previsto dall'art. 7.11.3.4.2 delle NTC del D.M. 17 Gennaio 2018, la verifica a liquefazione non risulta necessaria in quanto - con riferimento al punto 1 dell'articolo sopra citato - l'accelerazione massima attesa al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) risulta minore di 0,1 g.

#### 6.5 Verifica di capacità portante

Come già dettagliato in precedenza, il progetto prevede il recupero di un ex capannone industriale dismesso, inserito su un'area cortilizia realizzata ad una quota di c.ca 4 m inferiore rispetto al piano strada circostante. In particolare, sono previsti interventi di ripristino, consolidamento ed eventuale rinforzo delle strutture esistenti e la realizzazione di nuove opere strutturali finalizzate ad adeguare il fabbricato e alcuni ambiti dell'edificato circostante (interessati dai percorsi di accesso) alla nuova destinazione d'uso. La ricostruzione stratigrafica e la parametrizzazione geotecnica condotta in base ai risultati delle indagini geognostiche effettuate hanno evidenziato la presenza - a partire dalla quota di piano cortile - di un potente orizzonte ghiaioso-sabbioso addensato (ORIZZONTE 1), affiorante fino ad almeno 12 m di profondità dalla quota summenzionata.

Le strutture di fondazione del fabbricato esistente risultano immorsate in tale orizzonte: nel seguito si è dunque proceduto alla verifica delle fondazioni esistenti, consistenti in **plinti** isolati di lato  $B=1,5$  immorsati ad una profondità di c.ca 0,5 m rispetto al piano cortile.

La valutazione della capacità portante limite ed ammissibile del terreno è stata verificata utilizzando il metodo di verifica ex **D.M. 17/01/2018** nei confronti degli **stati limite ultimi (SLU)**, introducendo i fattori correttivi per l'**azione sismica**, utilizzando l'**Approccio 2 (A1+M1+R3)** in cui la resistenza globale del sistema è ridotta tramite i coefficienti  $\gamma_R$  del gruppo R3; le azioni di progetto in fondazione derivano da analisi strutturali che devono essere svolte impiegando i coefficienti parziali del gruppo A1.

In mancanza di indicazioni sulle azioni di progetto, si è proceduto al calcolo della capacità portante del terreno: si evidenzia quindi che le azioni di progetto Ed [la cui definizione è demandata al progettista] dovranno risultare inferiori alle capacità portanti ridotte dai relativi fattori di sicurezza R (ed indicate nel seguito come Rd). Si è inoltre proceduto ad inserire nei calcoli i fattori correttivi per l'azione sismica, come precedentemente definiti.

I calcoli sono stati effettuati utilizzando il software LOADCAP<sup>®</sup> della Geostru: trattasi di un software per il calcolo del carico limite di fondazione su terreni sciolti secondo Terzaghi, Meyerhof, Hansen, Vesic e Brinch-Hansen e per il calcolo dei cedimenti con il loro decorso nel tempo. Il programma permette inoltre l'analisi in condizioni sismiche utilizzando le correzioni sismiche secondo Vesic e Sano.

Le verifiche sono state fatte adottando la soluzione di *BRINCH - HANSEN [1970]*; affinché una fondazione possa resistere il carico di progetto con sicurezza nei riguardi della rottura generale, per tutte le combinazioni di carico relative allo SLU (stato limite ultimo), deve essere soddisfatta la seguente disuguaglianza:

$$V_d \leq R_d$$

dove  $V_d$  è il carico di progetto allo SLU, normale alla base della fondazione, comprendente anche il peso della fondazione stessa, mentre  $R_d$  è il carico limite di progetto della fondazione nei confronti di carichi normali, tenendo conto anche dell'effetto di carichi inclinati o eccentrici.

Per le condizioni drenate il carico limite di progetto è calcolato come segue.

$$R/A' = c' N_c s_c i_c + q' N_q s_q i_q + 0,5 \gamma' B' N_\gamma s_\gamma i_\gamma$$

dove:

$$N_q = e^{\pi \tan \phi'} \tan^2(45 + \phi' / 2)$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi'$$

$$N_\gamma = 1,5(N_q - 1) \tan \phi'$$

$s_c$ ,  $s_q$  e  $s_\gamma$  sono i fattori di forma:

$$s_q = 1 + (B' / L') \sin \phi' \quad \text{per forma rettangolare}$$

$$s_q = 1 + \sin \phi' \quad \text{per forma quadrata o circolare}$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3(B' / L') \quad \text{per forma rettangolare}$$

$$s_\gamma = 0,7 \quad \text{per forma quadrata o circolare}$$

$$s_c = (s_q \cdot N_q - 1) / (N_q - 1) \quad \text{per forma rettangolare, quadrata o circolare.}$$

$i_q$  e  $i_c$  sono i fattori inclinazione risultante dovuta ad un carico orizzontale H parallelo a  $L'$

$$i_q = i = 1 - H / (V + A' c' \cot')$$

$$i_c = (i_q N_q - 1) / (N_q - 1)$$

$i_q$ ,  $i_c$  e  $i_\gamma$  sono i fattori inclinazione risultante dovuta ad un carico orizzontale H parallelo a  $B'$

$$i_q = [1 - 0,7H / (V + A' \cdot c' \cdot \cot \phi')]^3$$

$$i_\gamma = [1 - H / (V + A' \cdot c' \cdot \cot \phi')]^3$$

$$i_c = (i_q \cdot N_q - 1) / (N_q - 1)$$

Oltre ai fattori correttivi di cui sopra sono considerati quelli complementari della profondità del piano di posa e dell'inclinazione del piano di posa e del piano campagna (Hansen).

Infine, per tener conto degli effetti inerziali indotti dal sisma sulla determinazione del  $q_{lim}$  vengono introdotti i fattori correttivi  $z$  di Paolucci e Pecker:

$$z_q = \left(1 - \frac{k_h}{tg \phi}\right)^{0,35}$$

$$z_c = 1 - 0,32 \cdot k_h$$

$$z_\gamma = z_q$$

dove  $k_h$  è il coefficiente sismico orizzontale.

Le verifiche effettuate utilizzando il metodo precedentemente descritto hanno fornito i valori  $R_d$  per la verifica allo stato limite ultimo (**SLU**) riportati nella tabella seguente.

<b>P.F. -0,5 M DA PIANO CORTILE</b>	<b>Approccio 2</b>		
	$Q_{lim}$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$R_d$ (kg/cm <sup>2</sup> )	coeff. di sottofondo <b>k</b> Winkler (kg/cm <sup>3</sup> )
	M1	M1+R3	
plinto B = 1,5 m	19,90	8,65	7,96

Come già anticipato, le azioni di progetto  $E_d$  (ridotte dai relativi coefficienti del gruppo A) dovranno risultare inferiori ai valori di  $R_d$  sopra indicati.

I valori di  $R_d$  ottenuti non possono inoltre essere considerati pari alla pressione ammissibile poiché occorre effettuare anche la verifica nei confronti degli Stati Limite di Esercizio (SLE).

La verifica nei confronti degli Stati Limite di Esercizio (SLE) è stata eseguita con il medesimo programma, utilizzando il metodo di calcolo di *BURLAND e BURBIDGE* [1984]. Il programma infatti permette, qualora si disponga di dati ottenuti da prove penetrometriche dinamiche, di effettuare il calcolo dei cedimenti con il metodo di Burland e Burbidge (1985), nel quale viene correlato un indice di compressibilità  $I_c$  al risultato  $N$  della prova penetrometrica dinamica. L'espressione del cedimento proposta dai due autori è la seguente:

$$S = f_s \cdot f_H \cdot f_t \cdot \left[ \sigma'_{v0} \cdot B^{0,7} \cdot I_C / 3 + (q' - \sigma'_{v0}) \cdot B^{0,7} \cdot I_C \right]$$

nella quale:

$q'$  = pressione efficace lorda;

$\sigma'_{v0}$  = tensione verticale efficace alla quota d'imposta della fondazione;

$B$  = larghezza della fondazione;

$I_c$  = indice di compressibilità;

$f_s, f_H, f_t$  = fattori correttivi che tengono conto rispettivamente della forma, dello spessore dello strato compressibile e del tempo, per la componente viscosa.

L'indice di compressibilità  $I_c$  è legato al valore medio  $N_{AV}$  di  $N_{SPT}$  all'interno di una profondità significativa  $z$ :

$$I_C = \frac{1.706}{N_{AV}^{1.4}}$$

Le espressioni dei fattori correttivi  $f_s$ ,  $f_H$  e  $f_t$  sono rispettivamente:

$$f_s = \left( \frac{1.25 \cdot L/B}{L/B + 0.25} \right)^2$$
$$f_H = \frac{H}{z_i} \left( 2 - \frac{H}{z_i} \right)$$
$$f_t = \left( 1 + R_3 + R \cdot \log \frac{t}{3} \right)$$

con:

$t$  = tempo in anni  $> 3$ ;

$R_3$  = costante pari a 0,3 per carichi statici e 0,7 per carichi dinamici;

$R$  = 0,2 nel caso di carichi statici e 0,8 per carichi dinamici.

Nei calcoli dei cedimenti è stato utilizzato un valore di  $N_{AV}$ , che rappresenta la media "conservativa" dei valori  $N_{SPT}$  all'interno della profondità significativa  $z$  (funzione del lato della fondazione), cautelativamente pari a  $N_{SPT} = 30$  colpi/piede, in modo da tenere conto della possibile presenza localizzata di passate a granulometria più fine e/o meno addensate all'interno del bulbo di influenza delle fondazioni.

Per contenere i cedimenti differenziali su valori accettabili per la stabilità della struttura, considerato che trattasi di opera già in essere oggetto di manutenzione e messa in sicurezza, si è imposto un cedimento massimo ammissibile nell'immediato ( $S_{imm}$ ) e dopo 30 anni dall'applicazione del carico ( $S_{max}$ ) inferiore a 10 mm. La verifica ha fornito i seguenti valori limite dell'effetto delle azioni  $C_d$  (portata ammissibile ai cedimenti):

PORTANZA AMMISSIBILE VERIFICATA AI CEDIMENTI (SLE)

<u>P.F. -0,5 M DA PIANO CORTILE</u>	$S_{imm}$ (mm)	$S_{max}$ (mm)	<b><math>C_d</math> (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
plinto B = 1,5 m	6,524	9,786	<b>3,5</b>

Le azioni di progetto  $E_d$  (ridotte dai relativi coefficienti del gruppo A) dovranno pertanto risultare inferiori ai valori di  $C_d$  sopra indicati.

## 7. GESTIONE DELLE ACQUE SUPERFICIALI E IPOGEE

Come precedentemente segnalato, il livello piezometrico della falda superficiale si attesta mediamente ad una profondità di c.ca 26÷28 m dal piano campagna naturale (coincidente con il piano strada) e di c.ca 22÷24 m rispetto al piano cortile, a quote pertanto non interferenti con gli interventi in progetto.

I pluviali ricadenti all'interno del lotto d'intervento dovranno essere adeguatamente raccolti e smaltiti in un idoneo recettore.

## 8. CONCLUSIONI

Le analisi svolte ai punti precedenti hanno permesso di individuare le principali problematiche geologico-tecniche connesse alla realizzazione del progetto in corrispondenza del lotto in esame: sulla base dei rilievi eseguiti e delle indagini condotte, è stato possibile pervenire a una definizione dettagliata dell'assetto litostratigrafico e dei parametri geotecnici dei terreni presenti.

Il modello concettuale geotecnico del sottosuolo ha inoltre consentito di valutare la capacità portante ammissibile del terreno secondo la configurazione attuale della struttura in oggetto.

**L'esame condotto nei capitoli precedenti permette quindi di esprimere un giudizio positivo circa la fattibilità geologica, geotecnica, idrogeologica e sismica degli interventi nonché la loro compatibilità con gli strumenti di pianificazione vigenti e con la pericolosità geomorfologica delineata dal PRGC, fatti salvi i risultati e le prescrizioni riportate nella presente.**

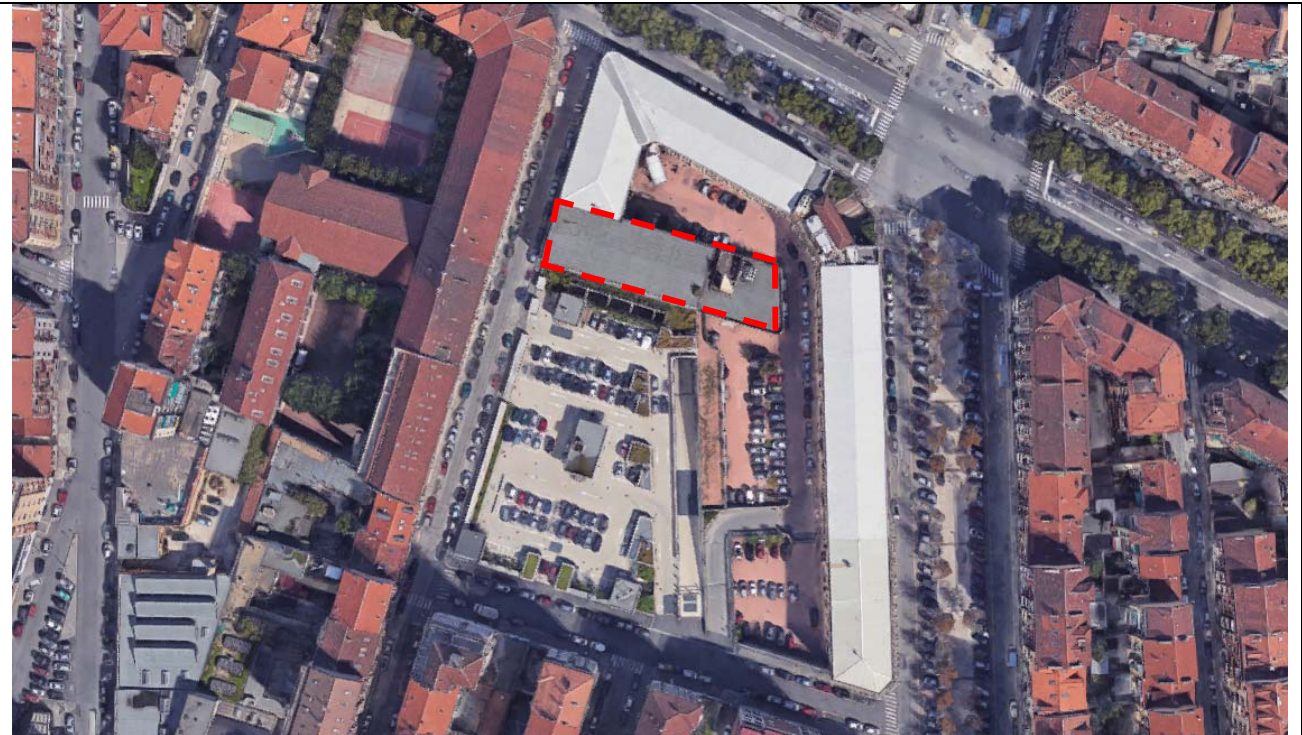
Torino, lì 2 ottobre 2018

geol. Giuseppe Genovese

*Collaborazione:*  
geol. Giulia Ghidone



### DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Veduta aerea del fabbricato in esame



Sondaggio S1 (12 m)



Sondaggio S2 (12 m)



Ubicazione dei saggi SG1 (dx) ed SG2 (sx)



Dettaglio del saggio SG1



Dettaglio del saggio SG2



Ubicazione del saggio SA1



Stratigrafia del saggio SA1



Ubicazione del saggio SA2



Stratigrafia del saggio SA2



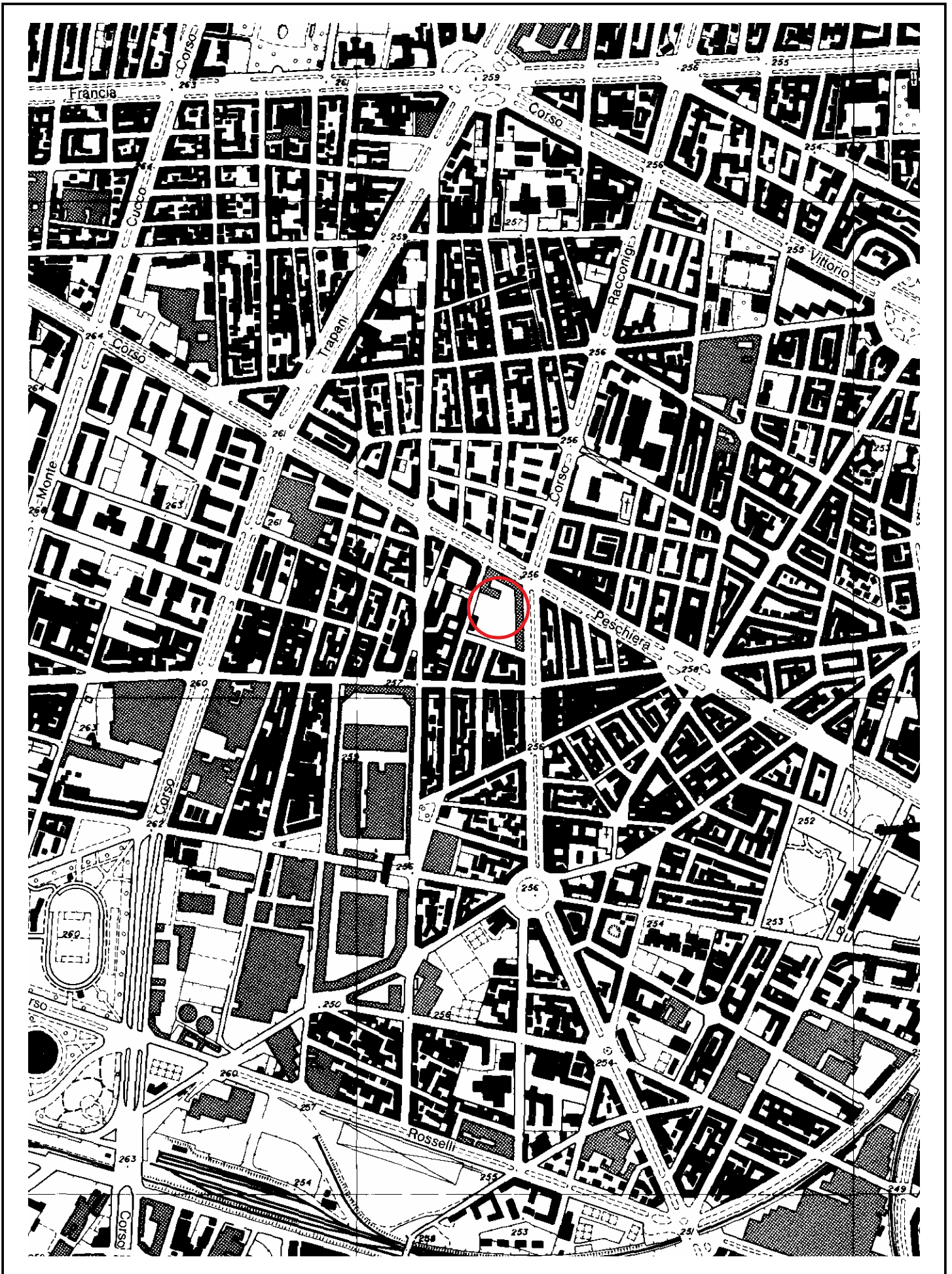
Stendimento indagine sismica attiva MASW

## ALLEGATI

- Corografia generale - scala 1:10.000
- Stralcio della CARTA DI SINTESI DELLA PERICOLOSITA' GEOMORFOLOGICA E DELL'IDONEITA' ALL'UTILIZZAZIONE URBANISTICA - scala 1:5.000
- Planimetria generale dell'area con ubicazione delle indagini effettuate
- Stratigrafia dei saggi geotecnici e ambientali

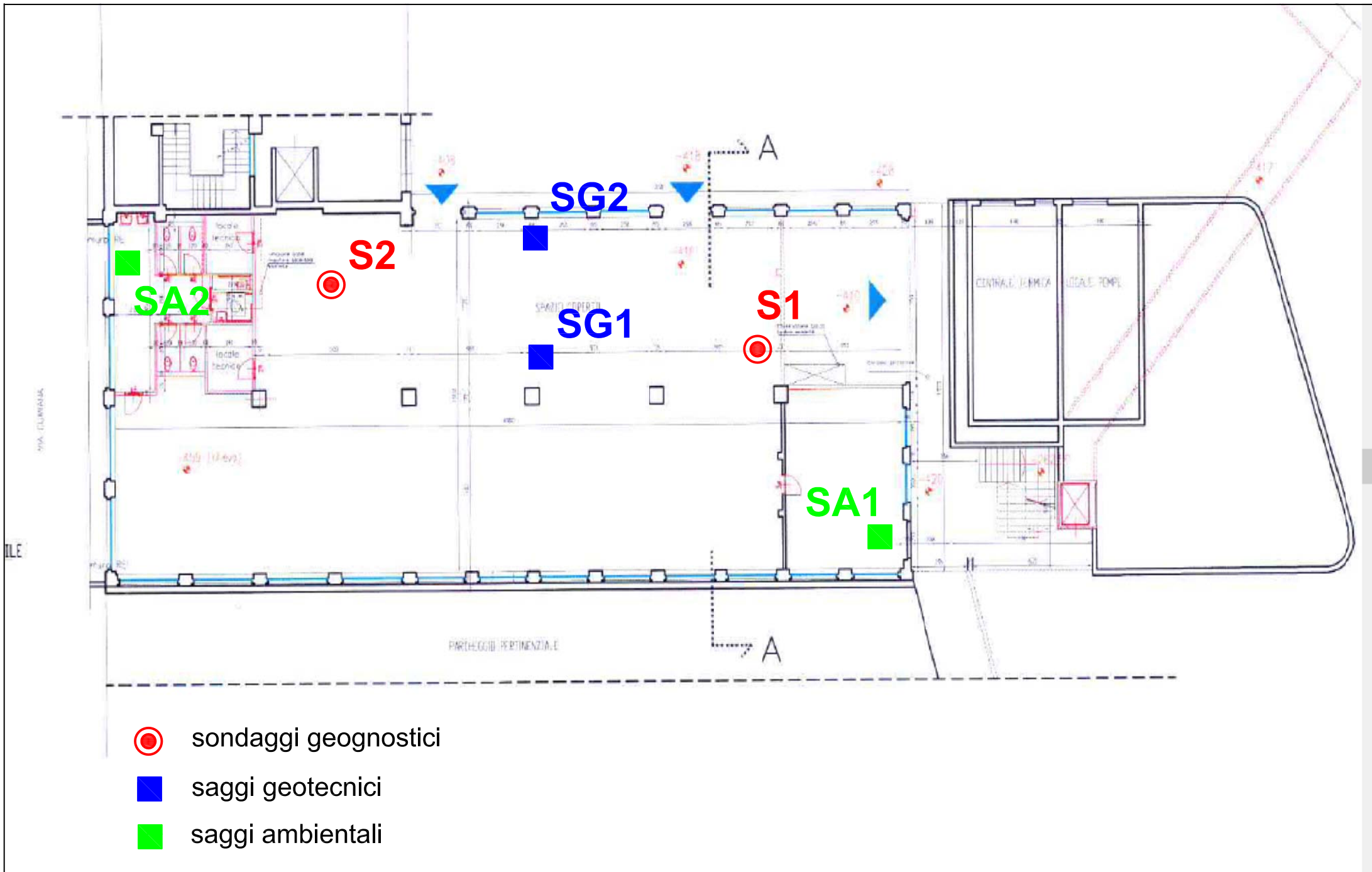
## APPENDICE

- INDAGINE GEOGNOSTICA (EuroGeo s.r.l.)
- INDAGINE GEOFISICA – MASW (EuroGeo s.r.l./Techgea s.r.l.)



**COROGRAFIA GENERALE** - scala 1:10.000 -  
Estratto da Carta Tecnica Regionale - sezione n°155120





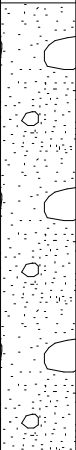
Planimetria generale dell'area d'intervento con ubicazione delle indagini geognostiche effettuate

**genovese & associati**  
geologia & ambiente  
via Camogli 10 - 10134 Torino  
tel./fax 011-3199507  
e-mail genovese@iol.it  
p.iva 07282110019

Committente Città di Torino  
Cantiere Via Cumiana 15  
Località Torino  
Data Inizio 11/09/2018 Data Fine 11/09/2018

SONDAGGIO FOGLIO  
**SA1** **1/1**

Il geologo  
dott. Campantico

Stratigrafia	Profondita'	Descrizione	Campioni
	1.50	Ghiaie sabbiose e sabbie con ghiaie poligeniche ed eterometriche con ciottoli e blocchi arrotondati in matrice sabbiosa di colore grigio non alterata. Clasti caratterizzati da sfericità medio-alta e, localmente, tracce di cementazione carbonatica. Struttura prevalente di tipo clast supported.	

**genovese & associati**

geologia & ambiente  
via Camogli 10 - 10134 Torino  
tel./fax 011-3199507  
e-mail genovese@iol.it  
p.iva 07282110019

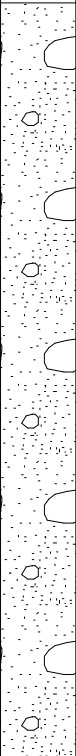
Committente Città di TorinoCantiere Via Cumiana 15Località TorinoData Inizio 11/09/2018Data Fine 11/09/2018

SONDAGGIO

FOGLIO

**SA2****1/1**

Il geologo  
dott. Campantico


Stratigrafia	Profondita'	Descrizione	Campioni
	2.50	Ghiaie sabbiose e sabbie con ghiaie poligeniche ed eterometriche con ciottoli e blocchi arrotondati in matrice sabbiosa di colore grigio non alterata. Clasti caratterizzati da sfericità medio-alta e, localmente, tracce di cementazione carbonatica. Struttura prevalente di tipo clast supported.	

**genovese & associati**  
 geologia & ambiente  
 via Camogli 10 - 10134 Torino  
 tel./fax 011-3199507  
 e-mail genovese@iol.it  
 p.iva 07282110019

Committente Città di Torino  
 Cantiere Via Cumiana 15  
 Località Torino  
 Data Inizio 11/09/2018 Data Fine 11/09/2018

SONDAGGIO FOGLIO  
**SG1 1/1**

Il geologo  
 dott. Campantico

Stratigrafia	Profondita'	Descrizione	Campioni
	1.50	<p>Ghiaie sabbiose e sabbie con ghiaie poligeniche ed eterometriche con ciottoli e blocchi arrotondati in matrice sabbiosa di colore grigio non alterata. Clasti caratterizzati da sfericità medio-alta e, localmente, tracce di cementazione carbonatica. Struttura prevalente di tipo clast supported.</p>	

**genovese & associati**

geologia & ambiente  
via Camogli 10 - 10134 Torino  
tel./fax 011-3199507  
e-mail genovese@iol.it  
p.iva 07282110019

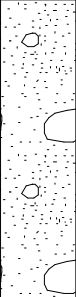
Committente Città di TorinoCantiere Via Cumiana 15Località TorinoData Inizio 11/09/2018Data Fine 11/09/2018

SONDAGGIO

FOGLIO

**SG2****1/1**

Il geologo  
dott. Campantico

Stratigrafia	Profondita'	Descrizione	Campioni
	1.00	Ghiaie sabbiose e sabbie con ghiaie poligeniche ed eterometriche con ciottoli e blocchi arrotondati in matrice sabbiosa di colore grigio non alterata. Clasti caratterizzati da sfericità medio-alta e, localmente, tracce di cementazione carbonatica. Struttura prevalente di tipo clast supported.	

# APPENDICE

# INDAGINE GEOGNOSTICA (EuroGeo s.r.l.)

Committente: COMUNE DI TORINO	Sondaggio: S1
Riferimento: VIA ENVIE - TORINO	Data: 18.09.18
Coordinate:	Quota:
Perforazione: CAROTAGGIO CONTINUO	

SCALA 1:100

## STRATIGRAFIA

Pagina 1/1

Ø mm	R v	A r	Pz	metri batt.	Standard Penetration Test			Campioni	prove in foro	LITOLOGIA	prof. m	DESCRIZIONE
					m	S.P.T.	N Pt					
				0,0				1) Dis < 0,10 1,00			0,0	Soletta calcestruzzo
				1,0	1,5	50/10cm	Rif A	2) Dis < 1,00 2,00				Sabbia e ghiaia centimetrica poligenica da arrotondata ad angolare (max 4-5cm) con abbondanti ciottoli centimetrici da centimetrici a decimetrici asciutta di colore grigio-marrone. Presenza di locali evidenze di alterazione di colore biancastro
				2,0								
				3,0	3,0	42-50/6cm	Rif A	3) Dis < 3,00 4,00				
				4,0								
				5,0								
				6,0	6,0	50/4cm	Rif A					
				7,0								
				8,0								
				9,0	9,0	37-42-39	81 A					
				10,0								
				11,0								
131				12,0								

Prelevato per analisi chimiche dei volatili:

- 1 campione tra 0,00-1,00m
- 1 campione tra 1,00-2,00m
- 1 campione tra 3,00-4,00m

Prelevato per analisi chimiche dei terreni:

- 1 campione tra 0,00-1,00m
- 1 campione tra 1,00-2,00m
- 1 campione tra 3,00-4,00m

Committente: COMUNE DI TORINO

Sondaggio: S1

Riferimento: VIA ENVIE - TORINO

Data: 18.09.18

Fotografie - Pagina 1/2

Pagina 1



Sond. S1 cassa 1 da 0,00 a 5,00m



Sond. S1 cassa 2 da 5,00 a 10,00m

Committente: COMUNE DI TORINO

Sondaggio: S1

Riferimento: VIA ENVIE - TORINO

Data: 18.09.18

Fotografie - Pagina 2/2

Pagina 2



Sond. S1 cassa 3 da 10,00 a 12,00m




posizionamento su sondaggio S1 - via Envie

Committente: COMUNE DI TORINO	Sondaggio: S2
Riferimento: VIA ENVIE - TORINO	Data: 18.09.18
Coordinate:	Quota:
Perforazione: CAROTAGGIO CONTINUO	

SCALA 1:100

## STRATIGRAFIA

Pagina 1/1

Ø mm	R v	A r	Pz	metri batt.	Standard Penetration Test			Campioni	prove in foro	LITOLOGIA	prof. m	DESCRIZIONE
					m	S.P.T.	N Pt					
				0,0				1) Dis < 0,10 1,00			0,1	Soletta calcestruzzo
				1,0	1,5	30-50/3cm	Rif A	2) Dis < 1,00 2,00				Sabbia e ghiaia centimetrica poligenica da arrotondata ad angolare (max 4-5cm) con abbondanti ciottoli centimetrici da centimetrici a decimetrici asciutta di colore grigio-marrone. Presenza di locali evidenze di alterazione di colore biancastro
				2,0								
				3,0	3,0	50/1cm	Rif A	3) Dis < 3,00 4,00				
				4,0								
				5,0								
				6,0	6,0	45-50/3cm	Rif A					
				7,0								
				8,0								
				9,0	9,0	50/4cm	Rif A					
				10,0								
				11,0								
131				12,0							12,0	

Prelevato per analisi chimiche dei volatili:

- 1 campione tra 0,00-1,00m
- 1 campione tra 1,00-2,00m
- 1 campione tra 3,00-4,00m

Prelevato per analisi chimiche dei terreni:

- 1 campione tra 0,00-1,00m
- 1 campione tra 1,00-2,00m
- 1 campione tra 3,00-4,00m

Committente: COMUNE DI TORINO

Sondaggio: S2

Riferimento: VIA ENVIE - TORINO

Data: 18.09.18

Fotografie - Pagina 1/2

Pagina 1



Sond. S2 cassa 1 da 0,00 a 5,00m



Sond. S2 cassa 2 da 5,00 a 10,00m

Committente: COMUNE DI TORINO

Sondaggio: S2

Riferimento: VIA ENVIE - TORINO

Data: 18.09.18

Fotografie - Pagina 2/2

Pagina 2



Sond. S2 cassa 3 da 10,00 a 12,00m



posizionamento su sondaggio S2 - via Envie

## INDAGINE GEOFISICA – MASW (EuroGeo s.r.l./Techgea s.r.l.)

Eurogeo S.r.l.

Sito di indagine:  
Via Cumiana 15, Torino



Indagine sismica con metodologia MASW finalizzata alla determinazione  
del parametro  $V_{s30}$  per la classificazione sismica dei suoli

## Relazione Tecnica

Relazione n.: 4141/18  
Revisione n.: 0  
Data: Settembre 2018  
Redatto da: Dott. Geol. Emmanuele Duò  
Controllato da: Dott. Geol. Mario Naldi

<b>1</b>	<b>Introduzione</b>	<b>pag. 1</b>
<b>2</b>	<b>Strumentazione utilizzata</b>	<b>pag. 1</b>
<b>3</b>	<b>Acquisizione ed elaborazione dati</b>	<b>pag. 1</b>
<b>4</b>	<b>Normativa sismica vigente</b>	<b>pag. 2</b>
<b>5</b>	<b>Risultati della prova MASW</b>	<b>pag. 4</b>

ALLEGATO A      Certificato esito prova MASW

ALLEGATO B      Cenni teorici sulla metodologia MASW

## 1 INTRODUZIONE

La presente relazione illustra e descrive le indagini geofisiche di tipo sismico (MASW – Multichannel Analysis of Surface Waves) realizzate presso:

Sito: Via Cumiana 15, Torino		Regione: Piemonte			
Norm. regione: D.G.R. n. 4-3084 del 12.12.2011 e s.m.i.		Zona sismica: 4			
Progetto: Interventi di ristrutturazione edilizia					
Coordinate GPS	Datum: WGS84	Proiezione: UTM	Zona: 32T	EST: 393260	NORD: 4991203

Scopo dell'indagine è definire il parametro  $V_{s30}$  per la classificazione sismica dei suoli (in accordo al D.M. 17.01.2018 e successivi aggiornamenti). In quanto segue si illustrano ed analizzano i risultati ottenuti.

## 2 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

L'acquisizione dei dati sismici è stata realizzata con un sismografo a 24 canali dotato di un convertitore analogico/digitale a 24 bit (unità Daq Link IV, Seismic Source Ltd.). Lo strumento è fornito di una connessione di rete standard 10/100 (base RJ45) per la comunicazione con un computer portatile su cui è installato un apposito programma (VibraScope® v.2.4.40) che gestisce la visualizzazione, l'analisi e la memorizzazione delle forme d'onda registrate.

I geofoni utilizzati (Weihai Sunfull) possiedono una frequenza di risonanza pari 4.5 Hz con distorsione inferiore allo 0.2%.

L'energizzazione si è ottenuta con massa battente da 10 Kg su piastra metallica. Per l'innesco (trigger) si è utilizzato uno "shock sensor" collegato alla mazza battente e connesso via cavo al sismografo.

Cenni relativi alla metodologia di indagine sono riportati in Appendice B.

## 3 ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI

Come detto nel capitolo introduttivo, l'indagine ha previsto la realizzazione di una prova MASW, la cui ubicazione viene riportata in Allegato A – pag. 1).

La prova, secondo quanto previsto dagli standard internazionali riportati nella Tabella 1 della pagina seguente, è stata eseguita con un set-up di acquisizione composto da:

Geofoni	Numero	Frequenza [Hz]	Interasse [m]	Lungh. linea [m]
	24	4.5	1.5	34.5
Energizzazioni	Mazza [Kg]	Punti energ. [n°]	Max dist.da G1 [m]	Min dist.da G1 [m]
	10	9	15	0

Per ogni punto di energizzazione sono stati generati almeno 3 impulsi sismici.

Tabella 1 - Disposizione geometrica ottimale su linea MASW in relazione alla profondità di indagine

Recommended Values in ( )														
Depth ( $Z_{max}$ ) <sup>1</sup> (m)	Source (S) <sup>2</sup> (lb)	Receiver (R) <sup>3</sup> (Hz)	Receiver Spread (RS) (m)				SR Move <sup>6</sup> (dx)			Recording <sup>8</sup>				
			Length <sup>4</sup> (D)	Source Offset <sup>5</sup> (X <sub>1</sub> )	Receiver Spacing (dx)		Lateral Resolution <sup>7</sup>			dt <sup>9</sup> (ms)	T <sup>10</sup> (sec)	Vertical Stack <sup>11</sup>		
					24-ch*	48-ch	High	Medium	Low			C	N	VN
≤ 1.0	≤ 1 (1)**	4.5-100 (40)	1-3 (2.0)	0.2-3.0 (0.4)	0.05-0.1 (0.1)	0.02-0.05 (0.05)	1-2 (1)	2-4 (2)	4-12 (4)	0.5-1.0 (0.5)	0.5-1.0 (0.5)	1-3 (3)	3-5 (5)	5-10 (10)
1-5	1-5 (5)	4.5-40 (10)	1-15 (10)	0.2-15 (2)	0.05-0.6 (0.5)	0.02-0.3 (0.25)	1-2 (1)	2-4 (2)	4-12 (4)	0.5-1.0 (0.5)	0.5-1.0 (0.5)	1-3 (3)	3-5 (5)	5-10 (10)
5-10	5-10 (10)	≤ 10 (4.5)	5-30 (20)	1-30 (4)	0.2-1.2 (1.0)	0.1-0.6 (0.5)	1-2 (1)	2-4 (2)	4-12 (4)	0.5-1.0 (0.5)	0.5-1.0 (1.0)	1-3 (3)	3-5 (5)	5-10 (10)
10-20	≥ 10 (20)	≤ 10 (4.5)	10-60 (30)	2-60 (10)	0.4-2.5 (1.5)	0.2-1.2 (1.0)	1-2 (1)	2-4 (2)	4-12 (4)	0.5-1.0 (0.5)	1.0-2.0 (1.0)	1-3 (3)	3-5 (5)	5-10 (10)
20-30	≥ 10 (20)	≤ 4.5 (4.5)	20-90 (50)	4-90 (10)	0.8-3.8 (2.0)	0.4-1.9 (1.5)	1-2 (1)	2-4 (2)	4-12 (4)	0.5-1.0 (1.0)	1.0-2.0 (1.0)	1-3 (3)	3-5 (5)	5-10 (10)
30-50	≥ 10 (20) or passive	≤ 4.5 (4.5)	30-150 (70)	6-150 (15)	1.2-6.0 (3.0)	0.6-3.0 (2.0)	1-2 (1)	2-4 (2)	4-12 (4)	0.5-1.0 (1.0)	1.0-3.0 (1.0)	1-3 (3)	3-5 (5)	5-10 (10)
> 50	≥ 10 (20) or passive	≤ 4.5 (4.5)	> 50 (150)	> 10 (30)	> 2.0 (6.0)	> 1.0 (4.0)	1-2 (1)	2-4 (2)	4-12 (4)	0.5-1.0 (1.0)	≥ 1.0 (2.0)	1-3 (3)	3-5 (5)	5-10 (10)

I dati acquisiti sono stati elaborati con il software Surfseis V. 6.4.1 (Kansas University, USA), che analizza la curva di dispersione sperimentale per le onde di Rayleigh. L'inversione numerica della curva, secondo un processo iterativo ai minimi quadrati, consente di ottenere un profilo di velocità delle onde di taglio nel sottosuolo.

#### 4 NORMATIVA SISMICA VIGENTE

La normativa vigente individua come parametro di riferimento per la classificazione sismica dei suoli la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio  $V_{S,eq}$  (in m/s) e viene calcolato mediante l'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

$h_i$  = spessore dello strato i-esimo (espresso in m)  
 $V_{S,i}$  = velocità delle onde di taglio dell'i-esimo strato (espressa in m/s)  
 $N$  = numero di strati  
 $H$  = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_S$  non inferiore a 800

Nella Tabella 2 riportata nella pagina seguente, si presenta la classificazione sismica prevista dal Decreto Ministeriale del 17.01.2018 (T.U. costruzioni).

Tabella 2 - Classificazione del tipo di suolo secondo la vigente normativa sismica italiana

TIPO DI TERRENO	PROFILO STRATIGRAFICO	$V_{S,eq}$ [m/s]
<b>A</b>	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore	<b>&gt; 800</b>
<b>B</b>	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.	<b>&lt; 800 &gt; 360</b>
<b>C</b>	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.	<b>&lt; 360 &gt; 180</b>
<b>D</b>	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 a 180 m/s.	<b>&lt; 180 &gt; 100</b>
<b>E</b>	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C e D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.	

Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 metri, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{S,eq}$  è definita dal parametro  $V_{S,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m. nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le suddette classi di suolo consentono il calcolo semplificato delle azioni sismiche secondo le indicazioni fornite al § 3.2.3 delle NTC 2018; per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

## 5 RISULTATI DELLA PROVA MASW

L'analisi del profilo stratigrafico, riportato in Allegato A – pag. 2, evidenzia un assetto sismo-stratigrafico descritto nella tabella seguente.

Livello	Profondità [m da p.c.]	Descrizione	Velocità Vs [m/s]
1	0 ÷ 9	Livello superficiale costituito da depositi da debolmente a mediamente addensati	200 ÷ 400
2	9 ÷ 30	Secondo sismostrato esteso oltre la massima profondità di indagine, costituito da depositi da mediamente addensati ad addensati; si rilevano possibili livelli cementati nell'intervallo di profondità -9 ÷ -16 metri.	280 ÷ 670

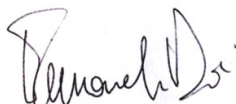
Il valore di  $V_{S,eq}$  calcolato al piano campagna è pari a 395 m/s. Pertanto è possibile definire il contesto geotecnico esaminato come suolo di classe sismica "B".

$V_{S,eq}$ [m/s]	Classe di suolo	Profilo stratigrafico
395	B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Techgea S.r.l.

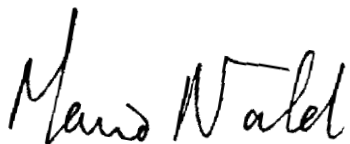
Relazione redatta da:

Dott. Geol. Emmanuele Duò




Controllata da:

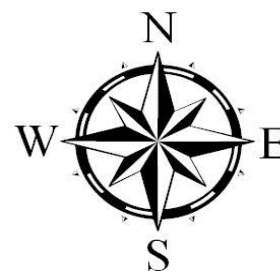
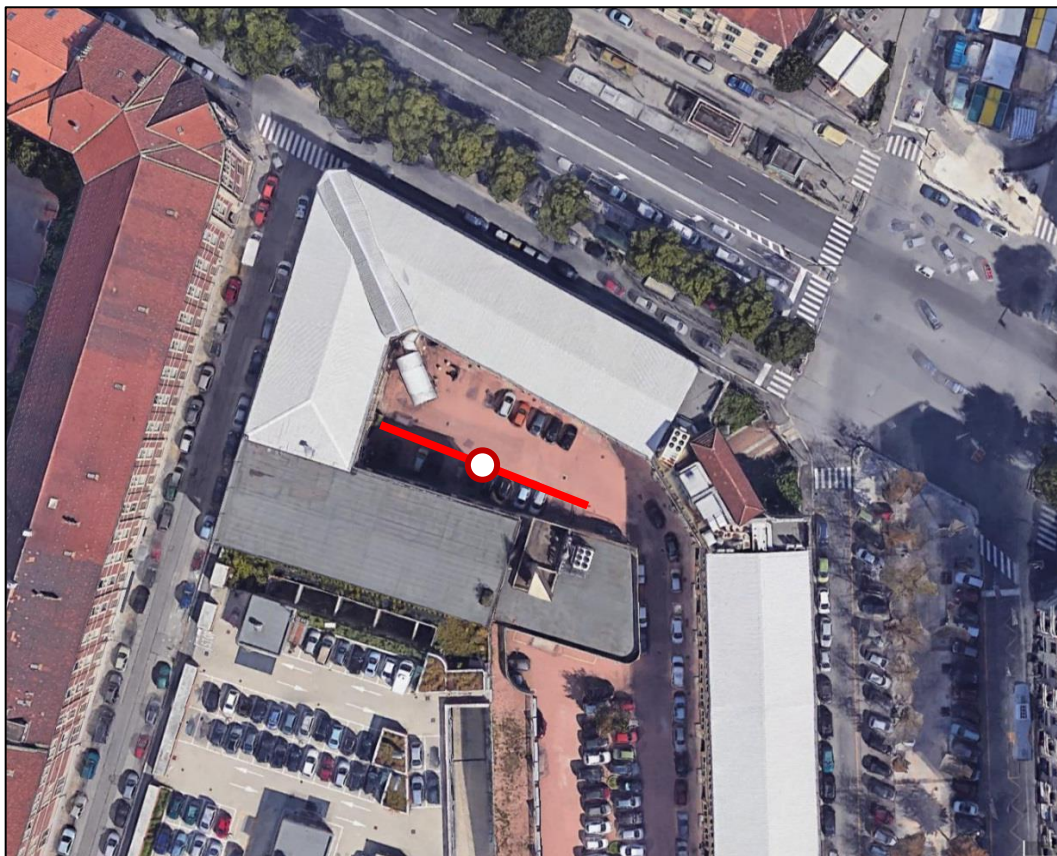
Dott. Geol. Mario Naldi



**ALLEGATO A**  
**Certificato esito prova MASW**

COMMITTENTE	Eurogeo S.r.l.	Azienda certificata UNI EN ISO 9001:2008 Certificato n. IT246983 Bureau Veritas Italia S.p.A.	
RELAZIONE	4141/18		
LOCALITA'	Via Cumiana 15, Torino		
DATA	Settembre 2018		
			ALLEGATO A
			Pagina 1

**UBICAZIONE INDAGINE MASW**



**LEGENDA**

- Stendimento linea MASW
- Centro linea MASW  
Ubicaz. profilo Vs<sub>30</sub>

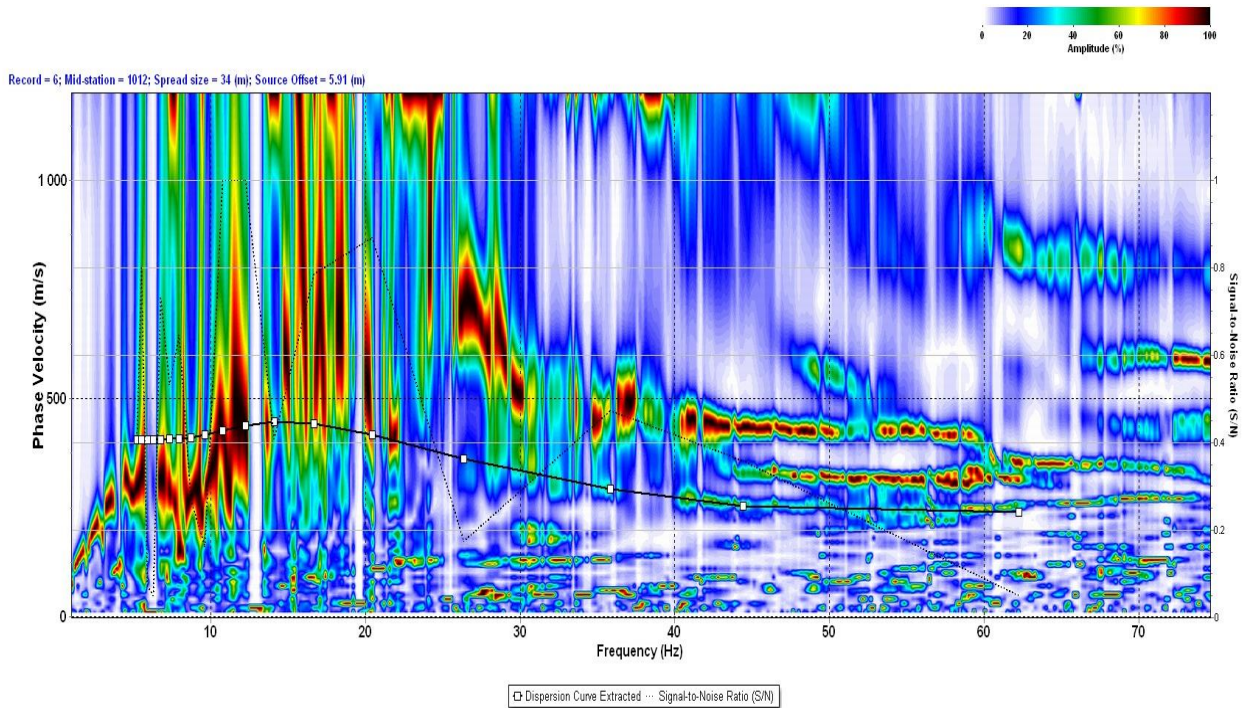
Ubicazione centro MASW	
Coordinate UTM WGS84	
Zona	32T
EST	393260
NORD	4991203

**DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**

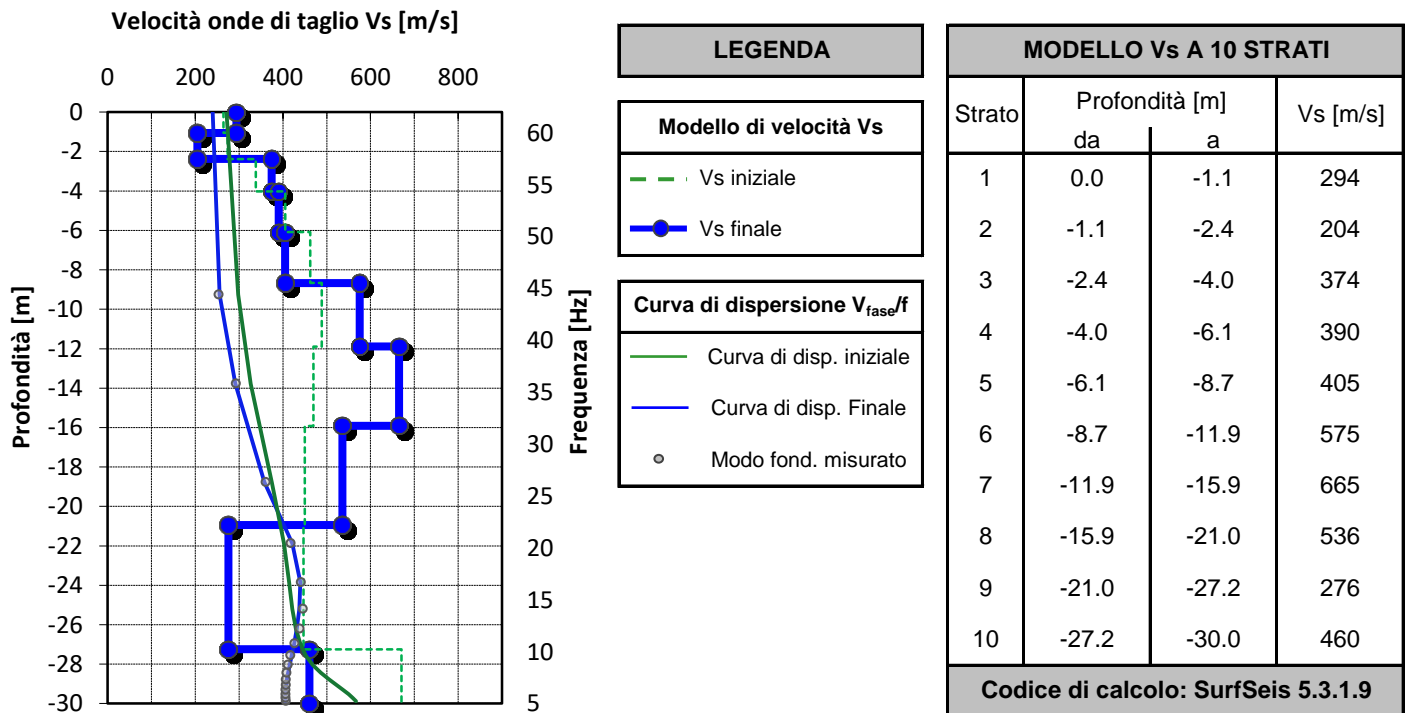


COMMITTENTE	Eurogeo S.r.l.	SISMOGRAFO	DAQ LINK IV	
RELAZIONE	4141/18	GEOFONI	24 (freq. 4.5 Hz)	
LOCALITA'	Via Cumiana 15, Torino	ACQUISITION TIME	1.0 s	ALLEGATO A
DATA	Settembre 2018	SAMPLE INTERVAL	0.50 ms	Pagina 2

PROVA MASW - CURVA DI DISPERSIONE DELLE ONDE DI RAYLEIGH



PROFILO DI VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO



SUOLO	DESCRIZIONE GEOTECNICA	$V_{s30}$ [m/s]
<b>B</b>	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.	395 (media pesata sugli spessori compresi tra 0 e -30 m)

## **ALLEGATO B**

### **Cenni sulla metodologia MASW**

## CENNI TEORICI SULLA METODOLOGIA DI INDAGINE MASW

La propagazione delle onde di Rayleigh in un mezzo verticalmente eterogeneo è un fenomeno multimodale: data una determinata stratigrafia, in corrispondenza di una certa frequenza, possono esistere diverse lunghezze d'onda. Di conseguenza, ad una determinata frequenza possono corrispondere diverse velocità di fase, ad ognuna delle quali corrisponde un modo di propagazione e differenti modi di vibrazione possono esibirsi simultaneamente.

La curva di dispersione ottenuta elaborando i dati derivanti dalle indagini sismiche col metodo SWM (Surface Waves Multichannel) è una curva apparente derivante dalla sovrapposizione delle curve relative ai vari modi di vibrazione, e che, per i limiti indotti dal campionamento, non necessariamente coincide con singoli modi nei diversi intervalli di frequenza campionati.

Il processo di caratterizzazione basato sul metodo delle onde superficiali, schematizzato nelle Figure 1, 2 e 3, può essere suddiviso in tre fasi:

- 1) Acquisizione dati (Figura 1);
- 2) Elaborazione dati (Figura 2);
- 3) Inversione numerica (Figura 3).

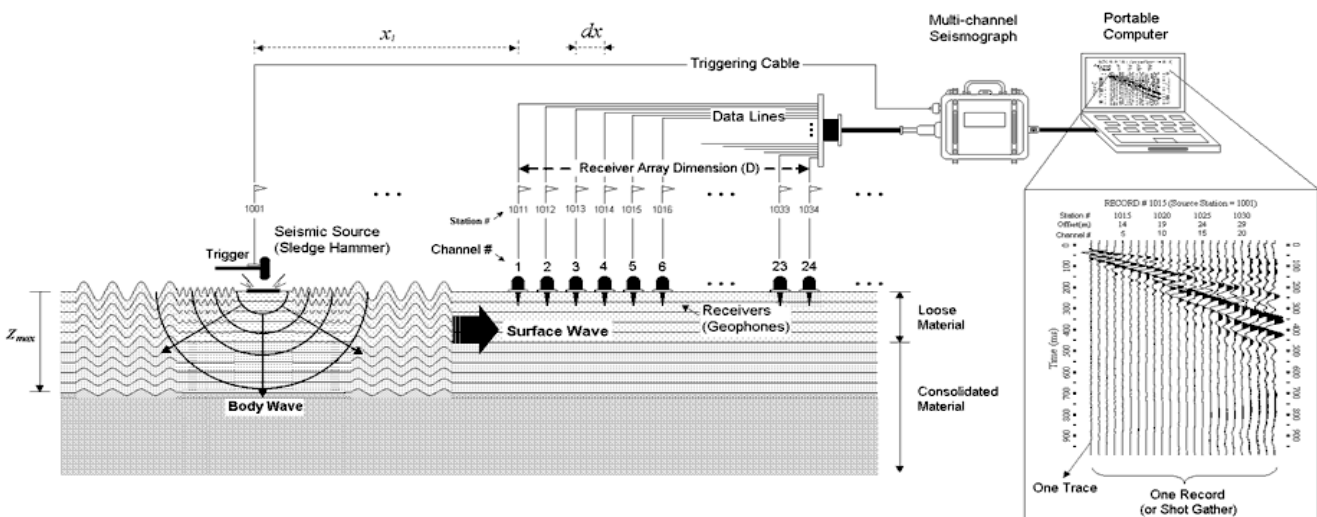


Figura 1 - Schema di acquisizione dati MASW

I dati acquisiti vengono sottoposti ad una fase di processing che consente di stimare la curva di dispersione caratteristica del sito in oggetto ovvero, la velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza (il codice di calcolo utilizzato è SurfSeis® versione 4.0.2, Kansas University USA).

Esistono diverse tecniche di processing per estrarre dai sismogrammi le caratteristiche dispersive del sito. La metodologia più diffusa è l'analisi spettrale in dominio f-k (frequenza-numero d'onda). I dati sismici registrati vengono sottoposti a una doppia trasformata di Fourier che consente di passare dal dominio x-t (spazio tempo) al dominio f-k. Lo spettro f-k del segnale consente di ottenere la curva di dispersione delle onde di Rayleigh, nell'ipotesi che, nell'intervallo di frequenze analizzato, le onde che si propagano con il maggiore contenuto di energia siano proprio le onde di Rayleigh, e che le caratteristiche del sito siano tali da consentire la propagazione delle onde superficiali, nonché un comportamento dispersivo delle stesse.

Si dimostra infatti che la velocità delle onde di Rayleigh è associata ai massimi dello spettro f-k; si può ottenere facilmente una curva di dispersione individuando ad ogni frequenza il picco spettrale, al quale è associato un numero d'onda k e quindi una velocità delle onde di Rayleigh  $V_R$ , determinabile in base alla teoria delle onde dalla relazione:

$$V_R(f) = 2\pi f/k$$

Riportando le coppie di valori  $(V_R, f)$  in un grafico, si ottiene la curva di dispersione utilizzabile nella successiva fase di inversione (Figura 2). La fase di inversione deve essere preceduta da una parametrizzazione del sottosuolo, che viene di norma schematizzato come un mezzo visco-elastico a strati piano-paralleli, omogenei ed isotropi, nel quale l'eterogeneità è rappresentata dalla differenziazione delle caratteristiche meccaniche degli strati.

Il processo di inversione è iterativo: a partire da un profilo di primo tentativo, costruito sulla base di metodi semplificati, ed eventualmente delle informazioni note a priori riguardo la stratigrafia, il problema diretto viene risolto diverse volte variando i parametri che definiscono il modello. Il processo termina quando viene individuato quel set di parametri di modello che minimizza la differenza fra il set di dati sperimentali (curva di dispersione misurata) e il set di dati calcolati (curva di dispersione sintetica). Usualmente, algoritmi di minimizzazione ai minimi quadrati vengono utilizzati per automatizzare la procedura (Figura 3).

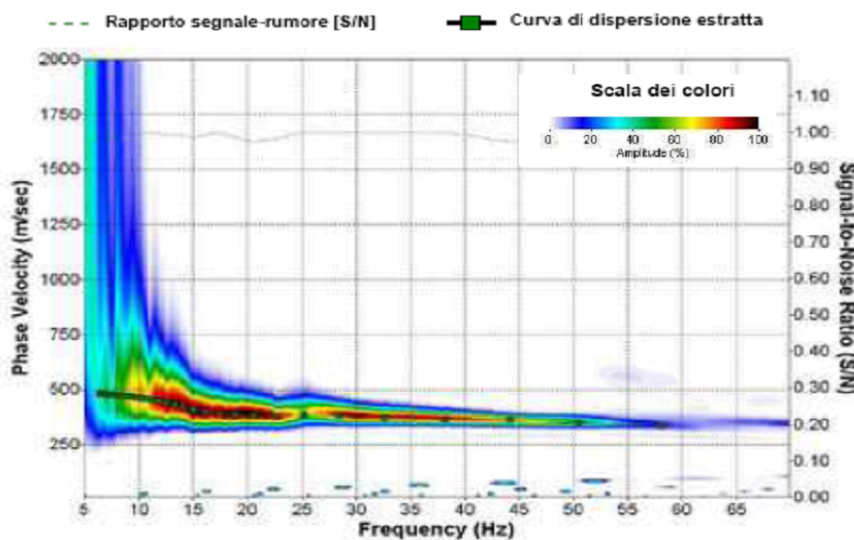


Figura 2 - Curva di dispersione della velocità Vs in funzione della frequenza e della velocità di fase

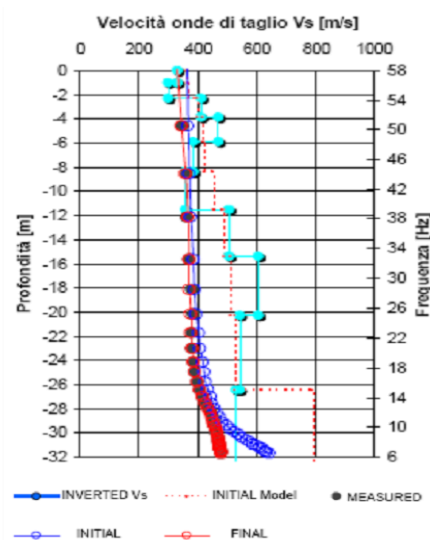


Figura 3 - Modello di propagazione delle velocità delle onde Vs